

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

5/353

2016

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

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

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

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

BULLETIN
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Lesnoy Zhurnal

(Forestry journal)

Scientific journal

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

5/353

2016

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

EDITORIAL STAFF:

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL STAFF:

Besschetnov V.P., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Nizhny Novgorod)
Bogdanovich N.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Van Heiningen A., PhD, Prof. (USA, Orono)
Voronin A.V., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Petrozavodsk)
Kamusin A.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Kishchenko I.T., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Petrozavodsk)
Kozhukhov N.I., Doctor of Economics, Prof., Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)
Kurov V.S., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Malygin V.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Severodvinsk)
Matveeva R.N., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Krasnoyarsk)
Merzlenko M.D., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Moscow)
Moiseev N.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)
Niemz P., PhD, Prof. (Switzerland, 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)
Saksa T., Doctor of Agriculture, Senior Researcher (Finland, Helsinki)
Sanaev V.G., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Selikhovkin A.V., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Sergeevichev V.V., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Sørensen O.J., PhD, Prof. (Norway, Steinkjer)
Sigurðsson B.D., PhD, Prof. (Iceland, Hvanneyri)
Tarakanov A.M., Doctor of Agriculture, Chief Research Scientist (Russia, Arkhangelsk)
Khakimova F.Kh., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Perm)
Holuša O., PhD, Prof. (Czech Republic, Brno)
Chernaya N.V., Doctor of Engineering, Prof. (Belarus, Minsk)
Chernykh V.L., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Shirnin Yu.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Shtukin S.S., Doctor of Agriculture, Prof. (Belarus, Minsk)
Engelmann H.-D., Doctor of Engineering, Prof. (Germany, Emden)

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>К.В. Дорохов, В.П. Шелуха, Г.А. Кистерный.</i> Сравнительное влияние антропогенных факторов на состав, трофическую структуру и плотность мезофауны...	9
<i>М.А. Николаева, А.В. Жигунов, А.М. Голиков.</i> 36-летний опыт изучения географических культур сосны обыкновенной в Псковской области.....	22
<i>Е.В. Волков.</i> Леса с участием кедра корейского в бассейне реки Буря.....	34
<i>В.Н. Коновалов, Л.В. Зарубина.</i> Оценка жизнеспособности ели в березняке черничном в процессе его возрастного развития.....	44
<i>С.Н. Сенькина.</i> Динамика водообмена хвои сосны в разных подзонах тайги.....	61
<i>А.С. Холманский, Ю.М. Кожевников.</i> Механизм генерации электрохимического потенциала дерева.....	73
<i>С.А. Корчагов, А.В. Миронов, И.Н. Лупанова.</i> Проблемы использования и воспроизводства лесов на землях лесного фонда Вологодской области.....	81
<i>А.К. Мухин.</i> Динамика лишайниково-зеленомошных сосняков в зоне прямого влияния Рыбинского водохранилища.....	97

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>Л.Я. Громская, М.В. Симоненков.</i> Современное состояние моделирования и оптимизации лесных дорог.....	108
<i>В.М. Дербин, М.В. Дербин.</i> Сортиментная заготовка древесины при выборочных рубках.....	123

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>А.А. Горяев, В.И. Мелехов, Н.Б. Баланцева, О.А. Калиничева.</i> Особенности сушки хвойных пиломатериалов при пониженном давлении среды.....	132
<i>В.И. Федюков.</i> Состояние и перспективы отбора, целевого использования и выращивания резонансной древесины в лесах России.....	142
<i>Л.В. Кремлева, В.И. Малыгин, К.К. Снегирева.</i> Режимы лазерного упрочнения дереворежущего инструмента из легированных сталей.....	157

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- Н.С. Никулина, Г.Ю. Вострикова, А.И. Дмитренко, О.Н. Филимонова, С.С. Никулин.* Нефтеполимерная смола на основе фракции С₉ – модификатор древесноволокнистых плит..... 167
- Е.В. Дернова, В.В. Гораздова, А.В. Гурьев.* Влияние условий прессования на формирование структуры и физико-механических свойств флютинга..... 177
-
-



CONTENTS

FORESTRY

<i>K.V. Dorokhov, V.P. Shelukho, G.A. Kisternyy.</i> Comparative Influence of Anthropogenic Factors on the Composition, Trophic Structure and Density of Mesofauna	9
<i>M.A. Nikolaeva, A.V. Zhigunov, A.M. Golikov.</i> 36 Years of Scots Pine Provenance Trials Experiment in the Pskov Region.....	22
<i>E.V. Volkov.</i> Forests with Korean Pine in the Bureya River Basin.....	34
<i>V.N. Konovalov, L.V. Zarubina.</i> Viability Evaluation of Spruce in a Bilberry Birch Forest in the Process of Its Developmental Age.....	44
<i>S.N. Sen'kina.</i> Dynamics of Water Exchange of Pine Needles in Different Taiga Sub-zones.....	61
<i>A.S. Kholmanskiy, Yu.M. Kozhevnikov.</i> Generation Mechanism of the Tree Electrochemical Potential.....	73
<i>S.A. Korchagov, A.V. Mironov, I.N. Lupanova.</i> Main Trends and Challenges of the Use and Reproduction of Forests on the Forest Lands of Vologda Region.....	81
<i>A.K. Mukhin.</i> Dynamics of Lichen-Green Moss Pine Forests in a Direct Impact Zone of the Rybinsk Reservoir.....	97

WOOD EXPLOITATION

<i>L.Ya. Gromskaya, M.V. Simonenkov.</i> Current Status of Modeling and Optimization of Forest Roads.....	108
<i>V.M. Derbin, M.V. Derbin.</i> Cut-to-Length Method in Selective Felling.....	123

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

<i>A.A. Goryaev, V.I. Melekhov, N.B. Balantseva, O.A. Kalinicheva.</i> Features of Softwood Lumber Drying Under Reduced Medium Pressure.....	132
<i>V.I. Fedukov.</i> State of the Art and Prospects of Sounding Timber Selection, Targeted Use and Cultivation in the Forests of Russia.....	142
<i>L.V. Kremleva, V.I. Malygin, K. K. Snegireva.</i> The Modes of Laser Hardening of Alloyed Steel Wood-Cutting Tools.....	157

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>N.S. Nikulina, G.Yu. Vostrikova, A.I. Dmitrenkov, O.N. Filimonova, S.S. Nikulin. C₉ Polymeric Petroleum Resin is a Fibreboard Modifier</i>	167
<i>E.V. Dernova, V.V. Gorazdova, A.V. Gur'ev. The Effect of Pressing on the Structure Formation and Physical and Mechanical Properties of Fluting.....</i>	177



УДК 630*114.6:630*22

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.9

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОСТАВ, ТРОФИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ И ПЛОТНОСТЬ МЕЗОФАУНЫ

К.В. Дорохов, асп.

В.П. Шелуха, д-р с.-х. наук, проф.

Г.А. Кистерный, канд. с.-х. наук, доц.

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, просп. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: dorokhovkirill@mail.ru

Анализ показателей комплексов почвенной мезофауны сосняков европейской части России представляет существенный интерес и имеет важное значение ввиду недостаточной изученности реакции мезофауны на различные виды и интенсивность антропогенных воздействий. Стандартными почвенно-зоологическими методами оценивали влияние пожаров, лесохозяйственной деятельности и рекреационного использования лесов (круглогодичной прогулочной активности на доступных и привлекательных участках леса) на параметры функционально-биоценотических комплексов почвенной мезофауны в условиях однородности лесоводственно-таксационных показателей насаждений. Для европейской подзоны широколиственных лесов установлена наибольшая степень снижения общей плотности поселения эпигео- и геобионтной мезофауны в результате сильных устойчивых низовых пожаров. Отмечена связь уменьшения общей плотности поселения с видом и интенсивностью рубок леса, стадией рекреационной дигрессии, определена степень снижения количества систематических групп мезофауны при влиянии как отдельного вида антропогенного воздействия, так и их комплекса. Уменьшается количество систематических групп мезофауны в результате всех изученных воздействий, особенно при воздействии низового пожара и последующей сплошной рубки древостоя. Проведена аналогия с выводами отечественных исследователей и результатами изучения проблемы за рубежом. В градиенте воздействий изучены тенденции изменения структуры трофических классов. Выявлено, что активные участники деструкции опада – сапрофаги – снижают участие в комплексе почвенной мезофауны при всех видах антропогенного воздействия. Сокращается плотность поселения большинства систематических групп мезофауны, выявлены изменения плотности основных групп в каждом трофическом классе, проведена оценка видового состава мезофауны. В отличие от пожаров и рубок леса, рекреация увеличивает α -разнообразие. Результаты исследований можно использовать в экологическом мониторинге и при планировании лесохозяйственных мероприятий.

Ключевые слова: почвенная мезофауна, плотность поселения, трофическая структура, видовое разнообразие, рубки леса, лесные пожары, рекреация.

Введение

В настоящее время природные элементы и комплексы становятся непосредственным объектом воздействия факторов антропогенной природы. Хозяйственная деятельность человека в лесу (рубки леса), нарушения правил санитарной безопасности, влекущие возникновение пожаров, и рекреационные нагрузки – одни из основных направлений воздействия человека на лесные биогеоценозы.

Устойчивость и стабильность лесных экосистем обеспечивается за счет сбалансированных процессов биогеохимических круговоротов веществ. Интенсивность обменных процессов между растительностью и почвой, а также эффективность процессов деструкции напрямую зависят от численности, видовой и функциональной структуры почвенной мезофауны, которая, как важнейшее звено в организации круговорота питательных элементов и деструкции опада, реагирует на изменения фитоценоза на ранних этапах процесса, в связи с чем признается важным индикатором изменения окружающей среды под влиянием антропогенных факторов [2, 8–10].

Среди мезофауны наибольшее значение в почве имеют люмбрициды, хилоподы и насекомые.

Цель исследования – оценка вариации плотности поселения, трофической структуры и видового разнообразия почвенной мезофауны в сосняках в связи с воздействием рубок леса различной интенсивности, рекреационного использования лесов в пределах допустимых нагрузок, а также динамики восстановления мезофауны после устойчивых низовых пожаров разной интенсивности.

Объекты и методика исследования

Применялись апробированные стандартные методы лесопатологических обследований насаждений и почвенно-зоологических учетов [5, 7]. Площадки для учета почвенной мезофауны в подкрановом пространстве закладывали в количестве 12...15 шт. на каждую пробную площадь (ПП), располагая их по диагоналям размерных площадей или на ленте безразмерных, на равном удалении друг от друга. Применяли метод ручной разборки почвенных проб. Площадь почвенной пробы принимали равной 0,25 м² [7]. Использовали ординацию по градиентам антропогенного воздействия.

Полученные результаты анализировали по функционально-трофическим классам почвенной мезофауны. Всех учетных эпигеобионтных и геобионтных беспозвоночных по характеру питания разделяли на фитофагов (личинки долгоносиков, щелкунов, хрущей, пилильщиков, совок), зоофагов (губоногие многоножки, имаго и личинки жуужелиц (кроме р. Amara) и стафилинов, муравьи, личинки двукрылых (кроме сем. Tipulidae и сем. Bibionidae)) и сапрофагов (виды подстилочных и земляных червей, кивсяки, тараканы). Общее количество беспозвоночных, учетных на 541 почвенной пробе, составляло 6085.

Сравнительная оценка видового разнообразия основана на индексах разнообразия (индексы Симпсона и Шеннона–Уивера). Выравненность определяли с использованием отношения (индекса) Хилла.

Базовое определение стадии рекреационной дигрессии проведено трансектным методом [6], уточнение стадии рекреационной дигрессии – с использованием существующей шкалы [4].

Исследования проведены в европейской подзоне широколиственных лесов. Объекты расположены в опытном отделе Государственного казенного учреждения (ГКУ) Брянской области (Учебно-опытное лесничество), в Думиничском и Каменском участковых лесничествах ГКУ Калужской области (Думиничское и Козельское участковые лесничества соответственно). Работы выполнены в течение 3 лет в летне-осенний период (июнь–сентябрь) в сосняках естественного и искусственного происхождения на свежих песчаных среднеподзолистых почвах на флювиогляциальных песках. При изучении влияния каждого антропогенного фактора соблюдено условие однообразия экотопов. Восстановление состава и трофической структуры почвенной мезофауны после пожаров на ПП (в том числе контрольных) исследовано преимущественно в брусничных борах III–V классов возраста при полноте 0,5...0,9, влияние рубок – в брусничных суборах V класса возраста при полноте 0,6...0,7, влияние рекреации – в суборах зеленомошной группы типов леса III–V классов возраста при полноте 0,7...0,9.

Результаты исследования и их обсуждение

Лесные пожары рассматриваются как мощный антропогенный (в большинстве случаев) фактор, влияющий на динамику и структуру почвенно-зоологических сообществ. Изменения в комплексе эпигео- и геобионтной мезофауны, происходящие после пожаров, в значительной степени зависят от интенсивности пожара [3], восстановительная сукцессия происходит по мере возобновления растительности [11].

После пожаров средней интенсивности нами отмечено снижение общей плотности мезофауны в сравнении с показателями на контроле (56,1 экз./м²) в 1,2 раза, после сильных пожаров – в 1,8 раза. В зависимости от давности пройденного пожара плотность изменяется от 17,4 экз./м² (в 3,2 раза меньше контроля) при 2-летней давности до 47,7 экз./м² при 5-летней (табл. 1). Спустя 4 года после пожара плотность составляет 0,96 от контроля (53,8 экз./м²), т. е. через 4 года плотность поселения мезофауны восстанавливается до пред-пожарного состояния. Вариация плотности мезофауны максимальна для всех ее групп после устойчивого низового пожара 5-летней давности, что связываем с низкой плотностью заселения почв.

Рубки леса, как фактор динамики лесных сообществ, сопровождаются трансформациями компонентов экосистемы и нарушениями их функциональной активности, изменением экологических условий и жизненного цикла почвенной биоты. После выборочных рубок интенсивностью 15...20 % плотность мезофауны составляет 19,6 экз./м², на контроле – 61,4 экз./м².

Таблица 1

Данные учета трофических классов мезофауны

Фактор антропогенного воздействия	№ ГПП	Количество площадок, шт.	Плотность функционально-трофических классов мезофауны, экз./м ²															
			Зоофаги				Фитофаги				Сапрофаги							
			М±m		%		М±m		%		М±m		%					
			С	Р	С	Р	С	Р	С	Р								
Устойчивый низовой пожар давностью, лет:																		
2	4, 5, 9	40	13,2±3,25	42,5	24,6	3,6±1,68	79,07	45,6	0,4±0,32	116,9	67,5							
3	5, 6, 19, 21, 25, 28	69	25,4±5,02	44,2	19,8	8,2±2,88	78,20	35,0	2,9±2,05	155,9	69,7							
4	7, 26, 27	41	32,0±6,98	37,7	21,8	14,5±5,34	63,60	36,7	7,2±2,11	50,80	29,3							
5	22	13	35,0±10,15	104,4	29,0	7,0±6,82	347,35	96,3	5,5±3,41	222,3	61,6							
Контроль	2, 8, 10, 0,23,24	78	32,7±4,21	31,5	12,8	14,3±8,05	137,90	56,3	8,9±2,08	56,9	23,2							
Рубки леса:																		
добробольно-выборочные (15...20%) сплошные (санитарные и спелых насаждений)	11, 13, 15	44	8,3±1,12	23,2	13,4	10,4±2,11	35,01	20,2	0,8±0,40	86,6	50,0							
Контроль	1, 17, 19	42	19,9±3,80	33,1	19,1	6,0±4,44	128,49	74,2	2,6±0,69	45,9	26,5							
	12, 14, 16, 18	58	35,9±9,18	51,0	25,5	19,9±3,78	37,87	18,9	5,4±1,99	73,2	36,6							
Стадия рекреационной дигрессии:																		
I	32, 33, 36, 38	52	40,2±10,93	54,3	27,1	15,1±2,28	30,2	15,1	7,7±0,89	23,0	11,5							
II	30, 31, 34, 39	52	40,3±10,26	50,9	25,5	12,7±2,15	33,8	16,9	6,2±1,05	34,1	17,0							
III	29, 35, 37, 40	52	29,1±6,56	45,1	22,5	7,9±1,04	26,1	13,1	2,8±2,85	45,6	22,8							

Примечание: М±m – средняя с ошибкой; С – вариация; Р – точность опыта определения средней.

Сплошные рубки леса, наряду с лесными пожарами, являются одним из важнейших антропогенных факторов динамики лесных сообществ.

Плотность поселения трофических классов зоо- и фитофагов в результате проведения сплошной рубки на участках, пройденных пожарами, меньше, чем на не поврежденном огнем участке с проведенной сплошной рубкой (рис. 1).

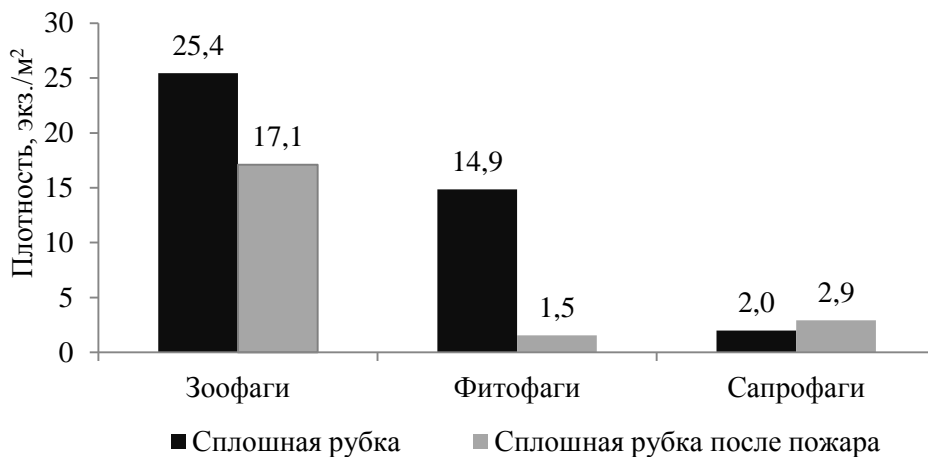


Рис. 1. Зависимость плотности трофических классов мезофауны от условий на участке до рубки леса

После сплошной рубки общая плотность почвенной мезофауны в 1,5 раза ниже контроля (42,3 экз./м²) и более чем в 2 раза превышает ее плотность после выборочных рубок интенсивностью 15...20 % (19,6 экз./м²). На участках, пройденных пожарами с последующим проведением сплошных рубок, общая плотность почвенной мезофауны составляет 21,6 экз./м², что подтверждает данные В.П. Бессчетнова [1]. Наши данные также подтверждают тенденции, отмеченные ранее при изучении вырубок и пожарищ в сосняках Швеции [12].

Рекреационная деятельность человека непосредственно и косвенно влияет на динамику эпигео- и геобионтной мезофауны.

В условиях I стадии рекреационной дигрессии общая плотность мезофауны (63,1 экз./м²) соответствует условиям контроля, при II стадии дигрессии она изменяется незначительно (59,2 экз./м²), при III стадии отмечено значительное снижение общей плотности мезофауны почв (39,9 экз./м²), которое количественно соответствует периоду восстановления плотности в условиях послепожарной сукцессии на 3-й год.

Функционирование лесного биогеоценоза зависит от соотношения скоростей накопления первичной продукции и ее разложения. Соотношение между трофическими классами мезофауны определяет темпы и характер процессов деструкции при влиянии различных антропогенных факторов. На рис. 2 изображены показатели плотности трофических классов в комплексе мезофауны.

В результате различных антропогенных воздействий комплекс первичных разрушителей (сапрофагов) сокращает плотность поселения и долю в трофической структуре. Наибольшее уменьшение вызывают рубки и сильные пожары. При рекреационном использовании лесов показатели функционально-трофического класса сапрофагов уменьшаются с ростом рекреационной нагрузки. Сильные устойчивые низовые пожары снижают плотность сапрофагов почти в 4 раза, пожары средней интенсивности – в 1,5 раза.

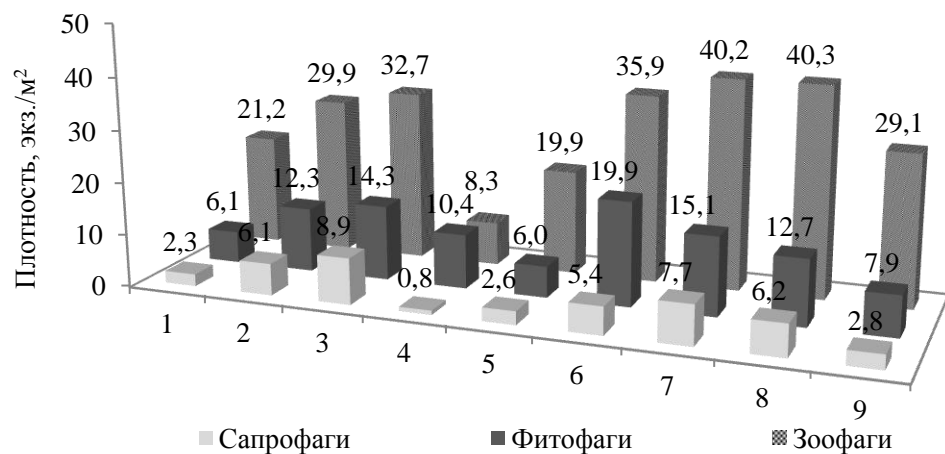


Рис. 2. Плотность трофических классов мезофауны в зависимости от вида антропогенного воздействия: 1 – устойчивый низовой пожар средней интенсивности; 2 – устойчивый низовой сильный пожар; 3 – контроль 1; 4 – выборочная рубка; 5 – сплошная рубка; 6 – контроль 2; 7 – I стадия дигрессии; 8 – II стадия дигрессии; 9 – III стадия дигрессии

Антропогенные воздействия также снижают общую плотность поселения трофического класса фитофагов. Их плотность особенно значительно уменьшается после сплошных рубок и сильных низовых пожаров (в 3,3 и 2,3 раза соответственно). Выборочные рубки леса – единственный вид антропогенного воздействия, при котором отмечено преобладание класса фитофагов в трофической структуре мезофауны.

Основной результат воздействия антропогенных факторов на комплекс зоофагов проявляется в снижении их плотности. Сплошные рубки снижают общую плотность зоофагов в 1,8 раза, выборочные – сильнее (в 4,3 раза). При пожарах и рекреационных нагрузках увеличивается их доля в комплексе мезофауны. При I и II стадиях дигрессии зафиксирована наибольшая плотность класса зоофагов.

Для фито- и сапрофагов характерна зависимость степени уменьшения плотности поселения от нарастания рекреационных нагрузок и интенсивности пожаров.

Все виды антропогенного воздействия снижают количество систематических групп мезофауны. Наиболее мощным фактором сокращения систематического разнообразия является комплексное воздействие лесного пожара и сплошной рубки (отмечено минимальное количество групп – 9-10 из 15 представленных на контрольных ПП).

Для характеристики видовой структуры мезофауны ПП использовали индекс видового (α -) разнообразия Симпсона и индекс разнообразия Шеннона–Уивера. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Видовое разнообразие и выравненность
в исследованных комплексах мезофауны**

Показатель	Фактор антропогенного воздействия								
	Пожар давностью, лет			Контрольные ПП	Рубка		Стадия рекреационной дигрессии		
	3	4	5		добровольно-выборочная интенсивностью 15...20 %	сплошная	I	II	III
Индекс:									
Симпсона	8,8	11,8	10,1	11,0	7,7	7,3	15,7	15,1	16,7
Шеннона–Уивера	2,5	2,8	2,7	2,7	2,3	2,4	3,1	3,1	2,4
Хилла	1,8	1,9	1,6	1,7	1,8	1,6	1,9	1,8	4,3
Количество видов	20	27	25	28	16	23	38	32	25

На гарях давностью 3 года происходит уменьшение видового разнообразия по сравнению с контролем. После сплошных и выборочных рубок интенсивностью 15...20 % зафиксированы наименьшие индексы видового разнообразия. Влияние рекреации отражается на увеличении видового разнообразия почвенной мезофауны, что приводит к изменению и росту разнообразия экологических условий при массовом отдыхе в лесонасаждениях и увеличению мозаичности биогеоценоза.

Видовое разнообразие контроля может достигаться в послепожарных условиях через 4–5 лет (табл. 2). Проведение различных рубок способствует наибольшему уменьшению α -разнообразия среди исследованных условий. Наивысший индекс α -разнообразия Симпсона отмечается при III стадии рекреационной дигрессии.

Расчет равномерности распределения видов по их обилию в сообществе (выравненности) показал, что в условиях контроля за счет наличия видов-доминантов с высоким обилием выравненность оказалась меньше (1,7), чем на пожарищах 3- и 4-летней давности (1,8 и 1,9 соответственно), где обилие относительно равномерно распределено между несколькими видами. Проведение выборочных рубок и рекреационное воздействие также способствовали увеличению выравненности по сравнению с контролем.

Воздействие антропогенных факторов по-разному влияет на динамику плотности отдельных систематических групп мезофауны. Основным эффектом проявляется в снижении плотности большинства групп (табл. 3).

Таблица 3

**Плотность отдельных групп мезофауны
в зависимости от вида антропогенного воздействия**

Группа мезофауны	Контроль 1	Устойчивый низовой пожар		Контроль 2	Рубка		Стадия рекреационной дигрессии		
		средней интенсивности	сильный		выборочная	сплошная	I	II	III
Губоногие многоножки	7,9	9,6	6,2	9,6	0,7	0,5	12,1	8,9	4,8
Кивсяки	0,2	0,4	0,1	0,1	0,0	0,1	3,7	1,9	0,2
Черви:									
подстилочные	1,6	0,7	0,6	0,8	0,4	0,0	0,5	0,8	0,3
земляные	2,5	1,0	0,5	1,5	0,1	0,3	1,0	1,3	2,1
Пауки	9,2	5,5	5,3	9,2	1,6	4,8	9,9	9,3	6,2
Тараканы	4,7	4,1	1,2	3,1	0,5	2,2	2,5	2,1	0,3
Жужелицы	4,4	2,3	2,2	3,2	0,6	5,0	2,1	2,7	3,4
Хрущи	0,9	0,6	0,8	1,1	0,6	0,2	2,1	2,4	0,7
Долгоносики	1,1	0,6	0,6	5,3	2,7	0,6	0,7	0,7	1,1
Щелкуны	10,1	9,3	4,2	10,2	6,6	4,7	10,9	8,0	3,3
Двукрылые	3,6	3,2	2,2	2,7	2,4	1,4	2,3	2,7	5,3
Пилильщики	1,5	1,6	0,9	3,3	0,6	0,3	1,0	1,6	2,7
Совки	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,4	0,0	0,1
Муравьи	4,5	8,0	4,7	6,3	2,0	6,7	10,8	13,8	8,0
Стафилины	3,5	1,5	1,9	5,0	1,0	1,5	3,1	2,9	1,5

Однако после пожаров средней интенсивности увеличиваются плотность поселения и встречаемость хрущей, тараканов, муравьев и губоногих многоножек. После сильных пожаров плотность хрущей не изменяется по сравнению

с контролем, муравьев – возрастает. При воздействии рубок леса плотность поселения большинства групп мезофауны уменьшается. После выборочных рубок данная тенденция характерна для всего комплекса, однако после сплошных рубок отмечено увеличение в 1,6 раза встречаемости муравьев, в 1,3 раза – шелкунов, а также незначительный рост плотности кивсяков и совок (табл. 3).

Увеличение плотности поселения наибольшего количества групп мезофауны характерно для условий перехода от слабой стадии рекреационной дигрессии к предельно допустимой нагрузке. Среди вредителей леса возрастает плотность поселения долгоносиков (в 1,7 раза) и пилильчиков (в 2,7 раза).

Таким образом, для каждого антропогенного воздействия отмечена своеобразная динамика таксономических групп мезофауны.

Щелкуны (личинки) – наиболее часто встречающееся семейство насекомых в песчаных почвах на всех ПП. На общую плотность семейства щелкунов низовые пожары влияют в зависимости от интенсивности: в результате сильных пожаров их плотность уменьшается в 2,4 раза, пожаров средней интенсивности – в 1,1 раза (табл. 3). Сплошная рубка, проведенная после пожара, влечет уменьшение плотности щелкунов в 16,7 раза по сравнению с контролем. Рекреационные воздействия снижают их плотность в 1,4–3,3 раза.

Пожары прошлых лет в местах проведения рубок леса способствуют некоторому увеличению плотности люмбрицид в сравнении с участками, не подвергшимися пожару перед рубкой леса. Воздействие сильных устойчивых низовых пожаров сравнимо по степени влияния на комплекс олигохет с проведением выборочных рубок: происходит более чем 4-кратное уменьшение их плотности по сравнению с контролем.

Увеличивающаяся рекреационная дигрессия насаждения сопровождается ростом встречаемости и плотности червей в комплексе мезофауны (табл. 3). При переходе от I к III стадии их плотность ($1,5 \text{ экз./м}^2$) и доля (2,4 % от общей плотности мезофауны) увеличиваются до $2,4 \text{ экз./м}^2$ и 5,9 %.

В результате проведения рубок, а также после низовых устойчивых пожаров различной интенсивности доля двукрылых в сообществе мезофауны отмечается не ниже показателей контроля. При этом общая плотность личинок двукрылых с увеличением интенсивности рубки уменьшается в 1,1...1,6 раза, с увеличением интенсивности пожара возрастает в 1,2...1,6 раза, но при усилении рекреации увеличивается в 2,3 раза (табл. 3).

В результате пожаров различной интенсивности не зафиксировано снижения плотности хрущей, после выборочных рубок их плотность уменьшилась с $1,1 \text{ экз./м}^2$ вдвое, после сплошных – изменения не отмечены. Рекреационные нагрузки мало влияют на плотность хрущей, но отмечена тенденция ее снижения при уничтожении подроста.

Для жужелиц характерно уменьшение плотности в 1,6–1,7 раза в связи с воздействием низовых пожаров, в 1,3 раза – после сплошных рубок древостоя, в 5,9 раза – после выборочной рубки. Комплексное воздействие пожара и после-

дующей сплошной рубки увеличивает плотность жуужелиц в 1,6 раза. Видовое разнообразие жуужелиц после пожаров не меньше, чем на контроле, так же как и при воздействии рекреации.

Комплекс стафилинов отреагировал на пожары различной интенсивности снижением плотности в 2,1 раза. Вследствие рубок леса это снижение было тем заметнее, чем выше интенсивность рубок (в 1,6–5 раза). При усилении рекреации плотность поселения стафилинов снизилась в 1,1–2,1 раза.

Все рассмотренные антропогенные факторы уменьшают количество видов стафилинов по сравнению с контролем, за исключением II стадии рекреационного воздействия, где отмечено их незначительное увеличение.

Выводы

1. Все изученные виды антропогенных воздействий приводят к снижению плотности поселения большинства систематических групп мезофауны, уменьшению их количества и сокращению доли в трофической структуре мезофауны (особенно при низовых устойчивых пожарах и рубках леса) наиболее значимой для деструкции опада группы – сапрофагов.

2. Наиболее мощный фактор снижения видового разнообразия мезофауны почв – комплексное воздействие низового пожара и последующей сплошной санитарной рубки – приводит к исчезновению до пяти таксономических групп. Наибольшее снижение α -разнообразия почвенной мезофауны происходит после рубок леса, максимальное уменьшение общей плотности – после устойчивых низовых пожаров. Видовое разнообразие достигает уровня контроля в послепожарных условиях через 4–5 лет.

3. При усилении рекреационного воздействия на леса (I–III стадии) отмечаются увеличение α -разнообразия почвенной мезофауны и возрастание плотности наибольшего количества систематических групп.

4. После рубок леса общая плотность мезофауны ниже контроля в 1,5–3,1 раза в зависимости от вида рубок. После сплошных рубок увеличивается плотность поселения отдельных таксономических групп (муравьев, щелкунов, кивсяков и совков).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Быченкова Т.Н., Клишина Л.И., Храмова О.Ю., Кориунова Е.Н., Печникова Н.Д. Особенности формирования почвенной энтомофауны после пожаров на территории Керженского заповедника // Лесное хозяйство–2013. Актуальные проблемы и пути их решения: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. Н. Новгород: НГСХА, 2014. С. 93–105.

2. Гиляров М.С. Почвенные беспозвоночные как индикаторы почвенного режима и его изменений под влиянием антропогенных факторов // Биоиндикация состояния окружающей среды Москвы и Подмосковья. М., 1982. С. 8–11.

3. Дорохов К.В., Шелуха В.П. Влияние антропогенных воздействий на динамику трофической структуры и плотности мезофауны // Вестн. Моск. гос. ун-та леса–Лесн. вестн. 2014. Т. 18, вып. 4. С. 103–111.

4. Мозолевская Е.Г., Катаев О.А., Соколова Э.С. Методы лесопатологического обследования очагов стволовых вредителей и болезней. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 152 с.
5. ОСТ 56-100–95. Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы / Всерос. НИИ лесоводства и механизации лесн. хоз-ва. Введ. 09.01.95. Режим доступа: <http://jurbase.ru/texts/sector154/tez54810.htm> (Дата обращения – 25.12.2011).
6. Фасулати К.К. Полевое изучение наземных беспозвоночных: учеб. пособие для ун-тов. М.: Высш. шк., 1971. 424 с.
7. Контроль и управление за состоянием окружающей среды: метод. указания к лаб. занятиям для студентов лесохоз. факультета специальности: лесн. хоз-во, сад.-парк. и ландшафт. стр-во / Сост. В.П. Шелухо, А.М. Бердов. Брянск, 2010. 42 с.
8. Beaudry S., Duchesne L.C., Cote B. Short-term effects of three forestry practices on carabid assemblages in a jack pine forest // *Canad. J. of Forestry Research*. 1997. Vol. 27(12). P. 2065–2071.
9. Malmström A. Effects of wildfire and prescribed burning on soil fauna in boreal coniferous forests: doctoral thesis. Uppsalla: Swedish University of Agricultural Sciences, 2006. 35 p.
10. Muona J., Rutanen I. The short-term impact of fire on the beetle fauna in boreal coniferous forest // *Annales Zoologici Fennici*. 1994. Vol. 1, N 31. P. 109–121.
11. Smith J. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on fauna / J. Smith ed. // Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42 of the U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Ogden, 2000. Vol. 1. 83 p.
12. Wikars L., Schimmel J. Immediate effects of fire-severity on soil invertebrates in cut and uncut pine forests // *Forest Ecology and Management*. 2001. Vol. 141(3). P. 189–200.

Поступила 07.09.15

УДК 630*114.6:630*22

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.9

Comparative Influence of Anthropogenic Factors on the Composition, Trophic Structure and Density of Mesofauna

K.V. Dorokhov, Postgraduate Student

V.P. Shelukho, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

G.A. Kisternyy, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Bryansk State Engineering Technological Academy, S. Dimitrov ave., 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: dorokhovkirill@mail.ru, sheluhovp@rambler.ru, kisterniy@mail.ru

The study of indicators of soil mesofauna complexes of pine forests in the European part of Russia is of great interest and important in view of the insufficient knowledge of the mesofauna reaction on different types and intensity of human impact. We evaluated the influence of fires, forestry activity and recreational using of forests (year-round walking activity in the accessible and attractive forest areas) on the parameters of the functional and bio-coenotic complexes of soil mesofauna by the standard soil and zoological methods in conditions of homogeneity of silvicultural and taxation indicators of plantations. We established

the highest degree of decrease in the total settlement density of epigeo- and geobiont mesofauna for the European subzone of broad-leaved forests as a result of the strong stable surface fires. The reduction of total settlement density and a form, intensity of wood logging, stage of recreational degradation are interconnected. The degree of reduction in the number of systematic groups of mesofauna under the influence of a single type or combined types of human impact is determined. The number of systematic groups of mesofauna decreases as a result of all the studied effects, especially under the influence of ground fires and subsequent clear felling. The analogy in the conclusions of native researchers and the results of the study of the problems abroad is demonstrated. We studied the trends in the structure changes of trophic classes in the gradient of impacts. The active participants of the litter degradation – saprophages – reduce the participation in the complex of soil mesofauna under all types of human impact. A settlement density of most mesofauna taxonomic groups is reducing; the changes in the density of major groups in each trophic class are revealed; the mesofauna species composition is evaluated. Unlike fires and logging, the recreation increases α -diversity. The research results can be used in an environmental monitoring and planning of forest management activities.

Keywords: soil mesofauna, settlement density, trophic structure, species diversity, wood logging, forest fires, recreation.

REFERENCES

1. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Bychenkova T.N., Klishina L.I., Khramova O.Yu., Korshunova E.N., Pechnikova N.D. Osobennosti formirovaniya pochvennoy entomofauny posle pozharov na territorii Kerzhenskogo zapovednika [Peculiarities of Formation of Soil Entomofauna after Fires on the Territory of the Kerzhensky Reserve]. *Lesnoe khozyaystvo–2013. Aktual'nye problemy i puti ikh resheniya: sb. st. mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Collection of Articles of the Intern. Sci. Practic. Conf. “Forestry – 2013. Actual Problems and Their Solutions”]. Nizhny Novgorod, 2014, pp. 93–105.
2. Gilyarov M.S. Pochvennye bespozvonochnye kak indikatory pochvennogo rezhima i ego izmeneniy pod vliyaniem antropogennykh faktorov [Soil Invertebrates as the Soil Regime Indicators and Its Changes under the Influence of Anthropogenic Factors]. *Bioindikatsiya sostoyaniya okruzhayushchey sredy Moskvy i Podmoskov'ya* [Bioindication of the Environmental Conditions of Moscow and Moscow Region]. Moscow, 1982, pp. 8–11.
3. Dorokhov K.V., Shelukho V.P. Vliyanie antropogennykh vozdeystviy na dinamiku troficheskoy struktury i plotnosti mezofauny [Influence of the Anthropogenic Impacts on the Dynamics of Trophic Structure and Density of Mesofauna]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2014, vol. 18, no. 4, pp. 103–111.
4. Mozolevskaya E.G., Kataev O.A., Sokolova E.S. *Metody lesopatologicheskogo obsledovaniya ochagov stvolovykh vrediteley i bolezney* [Methods of Forest Pathology Examination of Foci of Stem Pests and Diseases]. Moscow, 1984. 152 p.
5. OST 56-100–95. *Metody i edinitsy izmereniya rekreatsionnykh nagruzok na lesnye prirodnye komplekсы* [Industry Standard 56-100–95. Methods and Units of Recreational Pressure on Natural Forest Complexes]. Available at: <http://jurbase.ru/texts/sector154/tez54810.htm> (accessed 25.12.2011).

6. Fasulati K.K. *Polevoe izuchenie nazemnykh bespozvonochnykh* [Field Study of Terrestrial Invertebrates]. Moscow, 1971. 424 p.

7. Shelukho V.P., Berdov A.M. *Kontrol' i upravlenie za sostoyaniem okruzhayushchey sredy* [Control and Management of the Environment]. Bryansk, 2010. 42 p.

8. Beaudry S., Duchesne L.C., Cote B. Short-Term Effects of Three Forestry Practices on Carabid Assemblages in a Jack Pine Forest. *Can. J. Forest. Res.*, 1997, vol. 27(12), pp. 2065–2071.

9. Malmström A. *Effects of Wildfire and Prescribed Burning on Soil Fauna in Boreal Coniferous Forests*. Uppsalla, 2006. 35 p.

10. Muona J., Rutanen I. The Short-Term Impact of Fire on the Beetle Fauna in Boreal Coniferous Forest. *Annales Zoologici Fennici.*, 1994, vol. 1, no. 31, pp. 109–121.

11. Smith J. Wildland Fire in Ecosystems: Effects of Fire on Fauna. *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42 of the U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station*. Ogden, 2000, vol. 1. 83 p.

12. Wikars L., Schimmel J. Immediate Effects of Fire-Severity on Soil Invertebrates in Cut and Uncut Pine Forests. *Forest Ecology and Management*, 2001, vol. 141(3), pp. 189–200.

Received on September 07, 2015

УДК 630*232.12

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.22

36-ЛЕТНИЙ ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ПСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

М.А. Николаева¹, канд. с.-х. наук, ведущий инженер

А.В. Жигунов¹, д-р с.-х. наук, проф.

А.М. Голиков², канд. с.-х. наук, инженер 1 категории

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: marin.nikol_1060@mail.ru; a.zhigunov@bk.ru

²Филиал ФГУ «Рослесозащита» – «ЦЗЛ Новгородской области», ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 81, корп. 2, г. Великий Новгород, Россия, 173008; e-mail: toly.golikov@yandex.ru

Географические культуры сосны обыкновенной в Псковской области являются частью обширного эксперимента, организованного на территории бывшего СССР в 70-х гг. XX в. Исследования проводились в соответствии с методикой ВНИИЛМ (1972) и «Указаниями по лесному семеноводству в РФ» (2000). В 36-летних культурах определены сохранность, параметры роста, рассчитан запас стволовой древесины, учтено искривление стволов по каждому из вариантов. Анализ возрастной динамики сохранности потомств показал, что на протяжении всего периода испытаний потомства происхождением из таежной зоны и зоны смешанных лесов характеризуются лучшей сохранностью по сравнению с потомствами из лесостепной зоны. На данный момент средняя сохранность по объекту составляет 24,1 %. Высокая доля (80,0...85,0 %) прямоствольных без признаков заболеваний деревьев отмечена в потомствах псковских, тверского, новгородского, пензенского климатипов. Чем удаленнее местонахождение материнских насаждений от места испытания на юг и восток, тем выше доля искривленных стволов в потомстве. Между потомствами наблюдается значительная вариабельность параметров роста: по среднему диаметру на высоте груди – от 14,4 (архангельское) до 24,7...24,8 см (брянское, гродненское), по средней высоте – от 14,7...14,8 (архангельское, медвежьегорское) до 21,9 м (брянское). С удалением мест заготовок семян на север сохранность культур возрастает, однако ослабевает темп роста. При этом продуктивность молодого насаждения не имеет строгой зависимости от географической широты происхождения семян; с удалением мест заготовок семян на восток сохранность и рост потомств хуже, соответственно продуктивность ниже. Среди лучших по продуктивности выделены потомства московского (лидер), ленинградского, псковского, эстонского, тверского, брянского климатипов, которые могут быть рекомендованы для производства лесных культур в Псковско-Новгородском лесосеменном подрайоне. Таким образом, семенной материал, заготовленный в границах географических координат 53°15'...59°45' с.ш. и 26°15'...39°30' в.д. (ориентировочно), является наиболее перспективным для Псковско-Новгородского лесосеменного подрайона.

Ключевые слова: географические культуры, сосна, климатип, потомство, сохранность, рост, продуктивность, лесосеменное районирование.

Введение

Оценка географических опытов – один из наиболее перспективных подходов к изучению реакции лесообразующих видов на изменение физико-климатических условий местопроизрастания. Географические культуры потомства различных климатипов, растущих в одинаковых условиях и имеющих одинаковый возраст, изначально равномерно размещены по площади. Проводимые на различных возрастных этапах исследования дают возможность проследить динамику развития потомств и усовершенствовать лесосеменное районирование, определить внутривидовую дифференциацию и выявить популяции и формы, перспективные для целевого использования вне природных местообитаний. Интродукция инорайонных семян лучших, наиболее перспективных климатипов направлена на сохранение биоразнообразия и повышение продуктивности лесов. Опыты с географическими культурами лесных видов становятся важнейшим, а часто и единственным основанием для рекомендаций по использованию репродуктивного материала; подбор происхождений необходим для стабильности будущих популяций, для их долговременной сохранности [8, 12].

С 1972 г. в России осуществляется широкомасштабная программа по созданию и изучению географических культур основных лесообразующих пород. Данный эксперимент не имеет аналогов в мире по разнообразию и происхождению видов и площади [6]. Уникальность объектов, которым скоро исполнится 40 лет, заключается в использовании для их закладки единого семенного материала различных географических экотипов и популяций. По сосне обыкновенной серийный опыт охватил 33 объекта с общим участием 113 происхождений [13]. Культуры были заложены в Архангельской, Вологодской, Волгоградской, Воронежской, Владимирской, Калужской, Курганской, Ленинградской, Мурманской, Новосибирской, Нижегородской, Пензенской, Пермской, Псковской, Ростовской, Свердловской областях, в Республиках Карелия, Коми, Башкортостан, Татарстан, Бурятия, в Красноярском крае и др. Имея большую коллекцию генотипов одного вида, географические культуры обладают огромным потенциалом для разносторонних и долгосрочных исследований [5, 8–11, 13].

Изучение географических культур сосны как в странах Скандинавии, так и на Северо-Западе России, показывает высокую степень географической изменчивости вида. Потомства из семян северных климатипов растут медленнее и накапливают меньший запас древесины, но более устойчивы к неблагоприятным климатическим факторам и имеют большую долю высококлассных стволов. Напротив, насаждения из семян южных климатипов растут и изреживаются быстрее и имеют худшую форму стволов [9, 11, 14].

Цель данной работы – выявить особенности развития и роста сосны в 36-летних (биологический возраст сосны – 38 лет) географических культурах Псковской области.

Объекты и методы исследования

Исследованиям подлежит объект географических культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), который находится на территории казенного учреждения «Псковское лесничество» (57°50' с.ш. и 28°26' в.д.), относится к району хвойно-широколиственных лесов европейской части РФ и занимает площадь 14,0 га. Объект заложен в 1976 г. в 3-кратной повторности [1, 4]. Повреждение лосями и нарушение гидрологического режима почв привело к утрате одной из повторностей к концу 90-х гг. XX в. [4].

Посадку культур выполняли 2-летними сеянцами в пласт борозды, рядами. Схема посадки – 2,5 м × 1,0 м, густота посадки – 4,0 тыс. шт./га. Тип условий произрастания – чернично-кисличный на дренированных и недостаточно дренированных почвах, развитых на двучленных наносах. Почвы дерново-среднеподзолистые, глееватые, супесчаные на суглинке. Рельеф слабоволнистый с перепадом высот до 2 м.

Испытываются семенные потомства 38 климатипов, в том числе подвиды *Pinus sylvestris* L. ssp. *lapponica* Fr. (медвежьегорское) и *P. sylvestris* L. ssp. *kulundensis* Suk. (новосибирское). Географический диапазон испытания семян: от 62°54' с.ш. (Медвежьегорский лесхоз Республики Карелия) до 52°14' с.ш. (Гомельская обл.) и от 23°58' в.д. (Республика Литва) до 82°20' в.д. (Новосибирская обл.). Подробная характеристика географического происхождения климатипов и посевных качеств семян, использованных для создания объектов по программе 1972 г., приведена в монографии А.М. Шутяева [8].

Карело-сортавальское потомство (по государственному реестру – № 16), высаженное крайним рядом только в одной повторности, считалось выпавшим к 20-летнему возрасту [4]; на данный момент оно представлено несколькими особями, учет которых не проводился.

Работы выполнены в соответствии с методикой ВНИИЛМ [3]. Для определения сохранности учтены все посадочные места. В первой повторности выделены 3 категории деревьев: здоровые прямоствольные, слабо искривленные и искривленные, сильно искривленные ослабленные. Диаметры стволов на высоте 1,3 м замерены у 100 деревьев на варианте сплошь в пределах учетного ряда; в ульяновском, башкирском, оренбургском потомствах замерены все деревья. Высоты в количестве 50 шт. в каждом климатипе замерены пропорционально распределению числа деревьев по ступеням толщины. Объем ствола и запас стволовой древесины определены с применением таблиц Н.В. Третьякова и др. [7]. С помощью методов вариационной статистики дана оценка развития потомств [2].

Результаты исследований и их обсуждение

На основании анализа возрастной динамики сохранности потомств установлено, что культуры происхождения из таежной зоны и зоны смешанных лесов на разных возрастных этапах в большинстве случаев имели более

высокую сохранность, соответственно они более устойчивы к изменившимся условиям произрастания и менее зависимы от факторов климата, чем потомства из лесостепной зоны, за исключением потомств татарских климатипов (рис. 1).

В первые годы существования объекта культуры сосны страдали от повреждений лосем, зараженности сосновым вертуном, от зарастания травянистой растительностью и порослью лиственных пород [4]. Вследствие этого сохранность ряда вариантов к 4-летнему возрасту сократилась не менее чем наполовину. Самой высокой сохранностью как в 4-, так и в 22-летних культурах (70 и 63 % соответственно) отличалось московское потомство.

На разных возрастных этапах установлена устойчивая прямая связь сохранности с географической широтой местонахождения материнского климатипа (возраст культур 4 года – $r = 0,592 \pm 0,11$; 22 года – $r = 0,639 \pm 0,10$; 36 лет – $r = 0,492 \pm 0,12$): чем севернее район заготовки семян, тем выше сохранность в потомстве. Зависимость сохранности от географической долготы в 4-летних культурах очень слабая, но с возрастом она имеет тенденцию к усилению: в 22 года – $r = -0,270 \pm 0,15$; в 36 лет – $r = -0,401 \pm 0,14$.

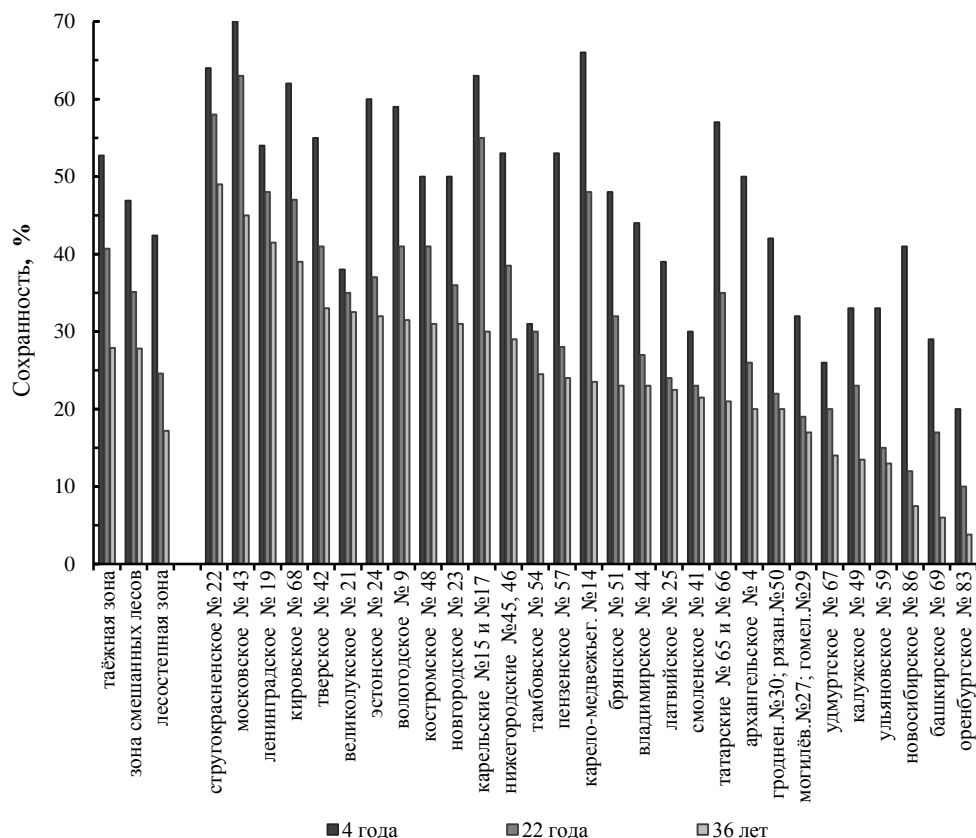


Рис. 1. Диаграмма возрастных изменений сохранности потомств

К концу II класса возраста в лидеры по сохранности вышло псковско-стругокрасненское потомство – 49 % (1,96 шт./га); у московского – 45 %, ленинградского – 41,5 %; практически не изменилась за последние 14 лет сохранность белорусского и литовского потомств – 16...19 %. Самый высокий отпад зафиксирован в культурах происхождением из наиболее удаленных на восток районов Новосибирской области и Республики Башкортостан; оренбургское потомство – на грани полного отмирания.

Анализ корреляционных зависимостей между факторами климата в районах заготовок семян и сохранностью потомств показал, что с возрастом влияние температурного режима постепенно ослабевает; влияние водного баланса, наоборот, усиливается. На данный момент прослежена закономерность: с уменьшением сумм эффективных температур и увеличением годовых осадков в районе материнского климатипа сохранность потомств в районе испытания при 95 %-м уровне значимости достоверно выше (соответственно $r = -0,393 \pm 0,14$; $r = 0,361 \pm 0,14$).

До 4-летнего возраста активнее росли саженцы происхождением из более северных, по отношению к местному, районов, за исключением архангельского варианта, который с момента посадки и по настоящее время является самым низкорослым и тонкомерным. К концу I класса возраста резко ухудшился рост ряда потомств, материнские насаждения которых находятся севернее 60° с.ш. и восточнее 43° в.д., в том числе ульяновского, которое в год посадки было лидером. В то же время отмечалось улучшение рангового положения в потомствах псковских климатипов и происхождением из смежных с Псковской областью районов – Ленинградской, Новгородской, Смоленской областей, а также из Тамбовской и Владимирской областей. В 22-летних культурах I–III ранги по росту занимали белорусские варианты – могилевский, гомельский и гродненский. Однако по продуктивности лидером был московский [1, 4], который и на данный момент сохраняет занятую позицию.

Сравнение результатов исследований географических культур Ленинградской и Псковской областей показало, что в Псковской области диапазон «лучших» по росту смещен южнее. В 36-летних культурах Псковской области по толщине стволов выделяются брянское и гродненское потомства, по высоте – брянское. Лучшее брянское потомство превосходит худшее архангельское по диаметру на 69 %, по высоте – на 49 % (см. таблицу).

В числе лучших по запасу, наряду с московским, отмечены стругокрасненское и ленинградское потомства. Новосибирское, оренбургское, башкирское потомства (сохранностью 3,8...7,5 %) сильно ослаблены и имеют самый низкий запас на объекте. Среди худших выделяется также архангельское (сохранность 20 %), оно является самым тонкомерным и низкорослым.

К 36-летнему возрасту культур установлено сохранение влияния факторов географического происхождения на рост потомств, но отмечено ослабление

этого влияния, что является проявлением признаков фенотипа в культурах с наиболее успешным ростом. Чем жестче конкурентные отношения между особями, тем хуже будет их рост (особенно по диаметру) независимо от факторов происхождения семян. Рост сосны тем хуже, чем дальше места заготовок семян на север и восток, особенно по диаметру (соответственно $r = -0,624 \pm 0,13$ и $r = -0,500 \pm 0,15$); по высоте связь немного слабее (соответственно $r = -0,541 \pm 0,14$ и $r = -0,418 \pm 0,15$). Продуктивность «перемещаемых» климатипов имеет прямую связь с сохранностью ($r = 0,848 \pm 0,09$).

**Таксационная характеристика потомств сосны
в 36-летних географических культурах**

№ пункта по государственному реестру	Район заготовки семян (республика, область, лесхоз)	Средние		Объем ствола, м ³	Запас стволовой древесины, м ³ /га	
		диаметр, см	высота, м			
<i>Таежная зона</i>						
19	Ленинградская, Тосненский	22,3	21,3	0,381	520	
4	Архангельская, Плесецкий	14,4	14,7	0,124	80	
14	Карелия: Медвежьегорский	16,5	14,8	0,162	130	
15		Пряжинский	19,1	17,4	0,242	230
17		Пудожский	17,1	15,5	0,183	185
47	Костромская: Мантуровский	22,2	18,7	0,342	215	
48		Костромской	19,0	18,4	0,250	255
68	Кировская, Слободской	18,2	18,1	0,229	295	
9	Вологодская, Тотемский	18,4	16,9	0,221	230	
67	Удмуртия, Воткинский	18,6	16,6	0,223	105	
<i>Среднее</i>		18,6	17,2	0,236	225	
<i>Зона хвойно-широколиственных лесов</i>						
21	Псковская: Великолукский	24,4	20,8	0,445	480	
22		Стругокрасненский	22,3	19,3	0,353	570
23	Новгородская, Крестецкий	21,0	20,9	0,336	345	
42	Тверская, Бежецкий	21,8	18,9	0,332	360	
44	Владимирская, Ковровский	21,0	18,8	0,307	235	
45	Нижегородская: Городецкий	21,5	18,6	0,320	325	
46		Первомайский	20,6	19,8	0,310	270
49	Калужская, Калужский	24,4	20,7	0,443	200	
41	Смоленская, Рославльский	22,2	19,4	0,351	250	
43	Московская, Куровской	24,0	21,4	0,444	660	
50	Рязанская, Солотчинский	20,7	18,7	0,297	205	
69	Башкортостан, Дюртюлинский	22,2	19,8	0,357	70	
<i>Среднее</i>		22,2	19,8	0,358	331	

Окончание таблицы

№ пункта по государственному реестру	Район заготовки семян (республика, область, лесхоз)	Средние		Объем ствола, м ³	Запас стволовой древесины, м ³ /га
		диаметр, см	высота, м		
<i>Республики Прибалтики и Беларусь</i>					
24	Эстония, Элвасский	22,8	21,2	0,397	420
25	Латвия, Яунелгавский	22,4	18,5	0,345	255
26	Литва, Пренайский	24,4	20,4	0,438	255
27	Могилевская, Осиповичский	22,9	19,6	0,376	205
28	Витебская, Россонский	22,2	18,8	0,343	185
29	Гомельская, Ленинский	24,2	19,7	0,419	235
30	Гродненская, Слонимский	24,7	20,8	0,455	290
<i>Среднее</i>		23,4	19,9	0,396	263
<i>Лесостепная зона</i>					
51	Брянская, Гаваньский	24,8	21,9	0,477	365
54	Тамбовская, Челнавский	23,5	21,1	0,420	340
57	Пензенская, Никольский	20,8	19,2	0,307	240
59	Ульяновская, Мелекесский	19,9	18,1	0,269	115
65	Татарстан: Зеленодольский	20,6	18,9	0,297	215
66	Камский	19,5	18,2	0,260	170
83	Оренбургская, Бузулукский	23,2	20,1	0,392	50
86	Новосибирская, Сузунский	16,0	15,3	0,155	40
<i>Среднее</i>		21,0	19,1	0,322	192

С учетом климатических характеристик районов происхождения прослежено позитивное влияние температурного и водного режимов на рост потомств: чем продолжительнее период с суммой эффективных температур в местах заготовок семян, тем успешнее на объекте рост сосны в толщину ($r = 0,853 \pm 0,09$) и высоту ($r = 0,744 \pm 0,11$). Обилие осадков менее значимо, но при сумме годовых осадков более 500...550 мм наблюдается тенденция лучшего роста.

Для культур сосны происхождение существенно отражается на качестве ствола [14]. Исследования показывают высокую (80...85 %) долю прямоствольных без признаков заболеваний деревьев в потомствах псковских климатипов, а также тверского, новгородского, пензенского (рис. 2).

В связи с повреждениями и болезнями культур на ранних стадиях развития по всей площади объекта и в каждом из вариантов, независимо от их происхождения, встречаются 2–3- и многовершинные и сильно искривленные особи. Однако в большинстве потомств доля сильно искривленных и угнетенных сосен не превышает 10 %; исключение составляют потомства новосибирское, у которого доля кривоствольных сосен достигает 17 %, и оренбургское,

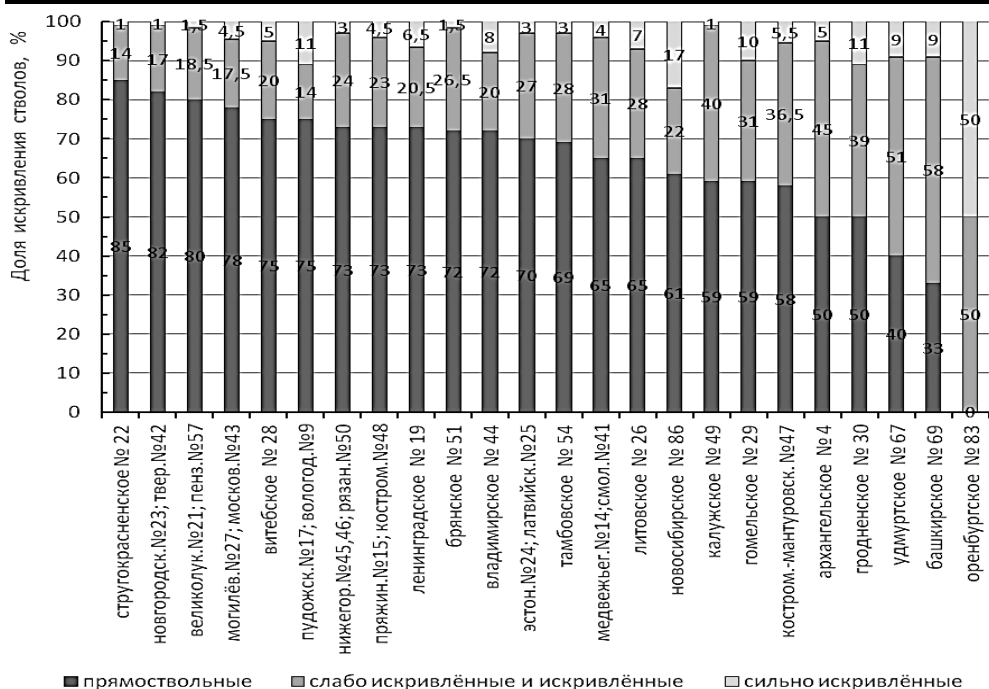


Рис. 2. Качество стволов в 36-летних географических культурах сосны

отличающееся максимальной кривизной стволов. Кроме того, повышенная суковатость, как негативный признак качества древесины, свойственна соснам южных и крайне восточных происхождений, в первую очередь белорусским потомствам и потомствам из лесостепной зоны.

Прослежено, что число здоровых деревьев сокращается в зависимости от удаленности районов происхождений на восток ($r = -0,403 \pm 0,15$) и юг ($r = -0,230 \pm 0,16$ – не достоверно). Чем выше сохранность в потомстве, тем выше в пределах этого потомства доля здоровых деревьев ($r = 0,711 \pm 0,13$).

На основании комплекса полученных данных выполнен кластерный анализ, в результате которого построена диаграмма сходств и различий между потомствами. Потомства сгруппированы в два глобально различающихся кластера. Один из них четко обособлен и включает в себя 4 самых перспективных потомства: московское, ленинградское и псковские (рис. 3); другой (в значительном отрыве от первого) разбит на два кластера, где более мелкий объединяет самые отстающие по своим характеристикам потомства, географически наиболее удаленные от места испытания на север (архангельское и медвежье-горское) и на восток (новосибирское, оренбургское, ульяновское, башкирское и удмуртское). Большинство оставшихся вариантов, как средние, группируются на менее значимом уровне и объединяются по такому же принципу сходств и различий. Здесь выделены относительно лучшие (тверское, новгородское, эстонское, брянское, тамбовское, нижегородско-городецкое) и худшие (вологодское, пяржинское, пензенское, владимирское) потомства.

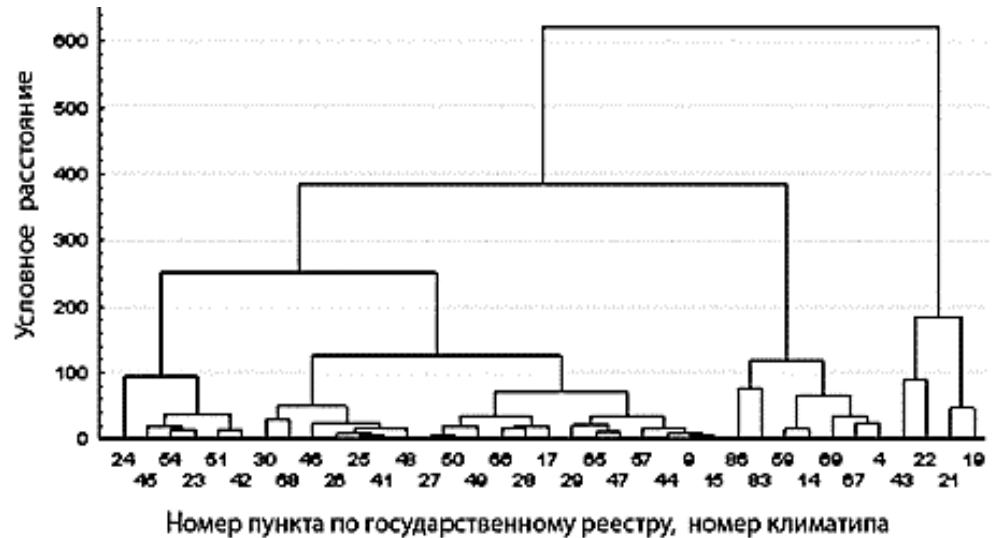


Рис. 3. Диаграмма сходств и различий между вариантами

Следующий этап оценки развития инорайонных климатипов и выделения среди них элитных будет сделан в возрасте культур старше $\frac{1}{2}$ возраста рубки.

Выводы

1. Семенной материал сосны обыкновенной происхождения из соседних регионов, таежной зоны и зоны смешанных лесов, заготовленный в пределах географических координат $53^{\circ}15' \dots 59^{\circ}45'$ с.ш. и $26^{\circ}15' \dots 39^{\circ}30'$ в.д. (ориентировочно), является наиболее устойчивым к изменению условий произрастания и перспективным для Псковско-Новгородского лесосеменного подрайона.

2. Среди лучших выделены московское (лидер), ленинградское, псковские (стружокрасненское и великолукское), эстонское, тверское, брянское потомства.

3. Потомство московского климатипа, как и 14 лет назад, является лидером и рекомендовано кандидатом в элиту. По запасу московское потомство превышает псковские (великолукское и стружокрасненское) на 16 и 39 %, по высоте – на 3 и 11 % соответственно, по диаметру стружокрасненское потомство уступает московскому на 8 %.

4. Допускается использование семян из районов, где сумма эффективных температур находится в пределах $2000 \dots 2400$ °С, сумма годовых осадков составляет не менее 550 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голиков А.М. Объекты лесного селекционного семеноводства Псковской области. Псков, 2012. 68 с.
2. Жигунов А.В., Маркова И.А., Бондаренко А.С. Статистическая обработка материалов лесокультурных исследований: учеб. пособие. СПб.: СПбГЛТА; СПбНИИЛХ, 2002. 86 с.
3. Изучение имеющихся и создание новых географических культур: Программа и методика работ / Под ред. Е.П. Проказина. Пушкино: ВНИИЛМ, 1972. 52 с.
4. Ковалев М.С. Стационарные опытные объекты опытного лесного хозяйства «Могутовский лес» // Тр. СПбНИИЛХ. Сер. «Стационарные объекты». СПб.: СПбНИИЛХ, 2005. Вып. 1 (13). 78 с.
5. Наквасина Е. Географические культуры сосны обыкновенной на Севере России. Закономерности роста и генетико-экологическое значение // LAMBERT Academic Publishing. 2013. 174 с.
6. Родин А.Р., Проказин А.Е. Географическая изменчивость основных лесобразующих пород // Экология, мониторинг и рациональное природопользование: науч. тр. М.: МГУЛ, 2000. Вып. 302 (I). С. 114–118.
7. Третьяков Н.В., Горский П.В., Самойлович Г.Г. Справочник таксатора. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. 854 с.
8. Шутяев А.М. Изменчивость хвойных видов в испытательных культурах Центрального Черноземья. М.: МПР РФ, 2007. 296 с.
9. Nikolaeva M.A., Pelevina N.N. Genetic specialties of coniferous tree geographical populations on the North-West of Russia // Assessment, Conservation and Sustainable Use of Forest Biodiversity: CBD Technical Series N 3. Montreal, 2001. P. 46–48.
10. Oleksin I., Giertych M. Results of a 70 years old scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenance experiment in Pulawy, Poland // *Silvae genetica*. 1984. Vol. 33, N 1. P. 22–27.
11. Persson B. Will climate change affect the optimal choice of *Pinus sylvestris* (L.) provenances? // *Silva Fennica*. 1998. Vol. 32. P. 121–128.
12. Schultze U. Klimaänderung neue Kriterien für Herkunftsempfehlungen (Votr.) // Klimaänderung Österreich: Herausforder. Forstgenet. und Waldbau: Simp. Wien, 9 Nov. 1994. FBVA, Berlin, 1994. N 8. S. 37–47.
13. Shutyaev A.M., Giertych M. Height Growth Variation in a Comprehensive Eurasian Provenance Experiment of *Pinus sylvestris* (L.) // *Silva Genetica*. 1997. Vol. 46, N 3. P. 332–349.
14. Ståhl E. Changes in wood and stem properties of *Pinus sylvestris* caused by provenance transfer // *Silva Fennica*. 1998. Vol. 32, N 2. P. 163–172.

Поступила 07.09.15

UDC 630*232.12

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.22

36 Years of Scots Pine Provenance Trials Experiment in the Pskov Region

*M.A. Nikolaeva*¹, Candidate of Agricultural Sciences, Management Engineer

*A.V. Zhigunov*¹, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, First Category Engineer

*A.M. Golikov*², Candidate of Agricultural Sciences

¹ Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: marin.nikol_1060@mail.ru, a.zhigunov@bk.ru

²Novgorod Centre of Forest Health, Branch of the Russian Centre of Forest Health, Bolshaya Sankt-Peterburgskaya str., 81/2, Velikiy Novgorod, 173008, Russian Federation; e-mail: toly.golikov@yandex.ru

Provenance trials of Scots pine in the Pskov region are a part of a vast experiment started on the territory of the former Soviet Union in the 1970s. The studies were conducted in accordance with the methods and procedures of the Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (1972) and Guidelines for a forest seed breeding in the Russian Federation (2000). Survival of trees, their growth parameters, timber volume, and bending of tree trunks were determined in the 36-year-old plantations. The analysis of age dynamics of progenies survival has shown the better survival of the progenies from the taiga zone and mixed forest zone as compared with those from the forest-steppe zone throughout the whole period of testing. Currently, the average survival in this plantation is 24.1 %. A high proportion (80,0...85,0 %) of straight-trunk trees with no signs of any disease are observed in the provenances of Pskov, Tver, Novgorod, and Penza climatypes. The farther is the provenance of the parent plants from the trial site to the south and east, the higher is the percentage of curved trunks in the progeny. A considerable variability in growth parameters is observed between the progenies: by the average diameter at a breast height – from 14.4 (Arkhangelsk) to 24.7...24.8 cm (Bryansk, Grodno); by an average height – from 14.7...14.8 (Arkhangelsk, Medvezhyegorsk) to 21.9 m (Bryansk). To the north the provenance survival increases, but their growth rate becomes slower. The productivity of the young plantation has no strict dependence on the latitude of seed origin. The farther is the provenance of the parent plants from the trial site to the east, the worse are survival and growth of their progenies, as well as the productivity. The progenies of Moscow (leader), Leningrad, Pskov, Estonia, Tver, Bryansk climatypes are among the best samples in terms of productivity. They can be recommended for the production of forest plantations in the Pskov-Novgorod forest seed subarea. Thus, the seeds harvested within 53°15'...59°45' N and 26°15'...39°30' E (approximately) are the most promising material for the Pskov-Novgorod forest seed subarea.

Keywords: provenance trial, Scots pine, climatype, progeny, capacity for survival, growth, productivity, forest seed zoning.

REFERENCES

1. Golikov A.M. *Ob"ekty lesnogo selektsionnogo semenovodstva Pskovskoy oblasti* [Objects of the Forest Selected Seed Breeding of the Pskov Region]. Pskov, 2012. 68 p.
2. Zhigunov A.V., Markova I.A., Bondarenko A.S. *Statisticheskaya obrabotka materialov lesokul'turnykh issledovaniy* [Statistical Analysis of Silvicultural Research Materials]. Saint Petersburg, 2002. 86 p.

3. *Izuchenie imeyushchikhsya i sozdanie novykh geograficheskikh kul'tur: Programma i metodika robot* [The Study of Existing and Creation of New Provenance Trials: a Program and a Working Procedure]. Ed. by E.P. Prokazin. Pushkino, 1972. 52 p.

4. Kovalev M.S. *Statsionarnye opytne ob"ekty opytnogo lesnogo khozyaystva "Mogutovskiy les"* [Stationary Experimental Facilities of the Experimental Forestry "Mogutovskiy Forest"]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva. Ser.: Statsionarnye ob"ekty* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Research Institute], 2005, no. 1(13). 78 p.

5. Nakvasina E. *Geograficheskie kul'tury sosny obyknovennoy na Severe Rossii. Zakonomernosti rosta i genetiko-ekologicheskoe znachenie* [Provenance Trials of Scots Pine in the North of Russia. The Patterns of Growth and Genetic and Ecological Significance]. Saarbrücken, Germany, 2013. 174 p.

6. Rodin A.R., Prokazin A.E. *Geograficheskaya izmenchivost' osnovnykh le-soobrazuyushchikh porod* [Geographic Variation of the Main Forest-Forming Species]. *Ekologiya, monitoring i ratsional'noe prirodopol'zovanie* [Ecology, Monitoring and Environmental Management]. Moscow, 2000, no. 302(I), pp. 114–118.

7. Tret'yakov N.V., Gorskiy P.V., Samoylovich G.G. *Spravochnik taksatora* [Taxator Reference Table]. Moscow; Leningrad, 1952. 854 p.

8. Shutyaev A.M. *Izmenchivost' khvoynnykh vidov v ispytatel'nykh kul'turakh Tsentral'nogo Chernozem'ya* [The Variability of Coniferous Species in the Test Plantations of the Central Black Earth Region]. Moscow, 2007. 296 p.

9. Nikolaeva M.A., Pelevina N.N. Genetic Specialties of Coniferous Tree Geographical Populations on the North-West of Russia. *Assessment, Conservation and Sustainable Use of Forest Biodiversity*. Montreal, 2001, CBD Technical Series no. 3, pp. 46–48.

10. Oleksin I., Giertych M. Results of a 70 Years Old Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Provenance Experiment in Pulawy, Poland. *Silvae genetica*, 1984, vol. 33, no. 1, pp. 22–27.

11. Persson B. Will Climate Change Affect the Optimal Choice of *Pinus sylvestris* (L.) Provenances? *Silva Fennica*, 1998, vol. 32, pp. 121–128.

12. Schultze U. Klimaänderung neue Kriterien für Herkunftssempfehlungen (Vortr.). *Klimaänderung Österreich: Herausforder. Forstgenet. und Waldbau: Simp. Wien, 9 Nov. 1994*. Berlin, 1994, no. 8, pp. 37–47.

13. Shutyaev A.M., Giertych M. Height Growth Variation in a Comprehensive Eurasian Provenance Experiment of *Pinus sylvestris* (L.). *Silva Genetica*, 1997, vol. 46, no. 3, pp. 332–349.

14. Ståhl E. Changes in Wood and Stem Properties of *Pinus sylvestris* Caused by Provenance Transfer. *Silva Fennica*, 1998, vol. 32, no. 2, pp. 163–172.

Received on September 07, 2015

УДК 630*187 (571.61)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.34

ЛЕСА С УЧАСТИЕМ КЕДРА КОРЕЙСКОГО В БАССЕЙНЕ РЕКИ БУРЕЯ*

Е.В. Волков, асп.

Приморская государственная сельскохозяйственная академия, просп. Блюхера, д. 44, г. Уссурийск, Россия, 692510; e-mail: les231975@mail.ru

Река Буряя является северо-западной границей ареала кедра (сосны корейской *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.). Кедрово-широколиственные леса этого района Б.П. Колесниковым отнесены к географической фации северных кедровников. Произрастающие на северо-западной границе ареала кедровники остаются практически не изученными в лесоводственном отношении. Цель исследования – определение лесоводственно-таксационных характеристик кедрово-широколиственных лесов, оценка их устойчивости и естественного возобновления, выделение и описание типов леса. На основе 6 пробных площадей впервые проанализированы таксационные характеристики, естественное возобновление, состав подлеска и кустарничково-травяного яруса кедрово-широколиственных лесов в бассейне р. Буряя. В обследованном районе кедрово-широколиственные леса и производные группировки размещаются только на горных склонах, преимущественно в средней их части. Выделено три типа леса: горный рододендровый кедровник с дубом, горный леспедецевый кедровник с дубом и горный лещиновый кедровник с пихтой. Выделение типов леса произведено на основе подходов генетического (географо-генетического, динамического) направления в лесной типологии Б.А. Ивашкевича–Б.П. Колесникова. Установление типов леса в районе исследований осложнено отсутствием коренных кедровых насаждений, развивающихся без антропогенного влияния. Северная географическая фация кедрово-широколиственных лесов отличается обедненным составом древостоев, подлеска и кустарничково-травяного яруса. Кедровые леса бассейна Бурей пройдены в прошлом рубкой и пожарами. Наименьшие огневые повреждения отмечены в лесах, произрастающих на склонах северных экспозиций. Даже в расстроенном состоянии кедрово-широколиственные леса являются убежищем для неморальной флоры. Влияние пожаров отражается на естественном возобновлении, в результате чего подрост хвойных пород представлен мелкими, реже средними особями. Подроста кедра на большинстве участков недостаточно для увеличения участия этой породы в древостое. В целом позиции кедрово-широколиственных лесов стабильны, при отсутствии пожаров кедр хорошо возобновляется в разреженных дубовых лесах. Большинство участков произрастания кедра вошло в организованный природный парк «Бурейский», что повысило их охранный статус. Кедрово-широколиственные леса бассейна р. Буряя нуждаются, прежде всего, в охране от пожаров.

Ключевые слова: кедрово-широколиственные леса, *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc., типы леса, р. Буряя.

* Автор выражает благодарность д-ру биол. наук, проф. Ю.И. Манько за предложения и замечания.

Введение

Северо-западной границей ареала кедра (сосны корейской *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) является р. Бурей. Леса с участием этого вида произрастают в бассейне левого притока Буреи – р. Дикан, а также выходят к побережью Бурейского водохранилища в районе заливов Третья Миндукачи, Левые Аголи и Кедровый. На правом берегу Буреи кедрово-широколиственных лесов нет, хотя отмечаются отдельные группы подроста сосны корейской [1]. Отсутствует кедр и выше по течению Буреи. В.Н. Васильев [2, с. 213] отмечал наличие единичных экземпляров молодых кедров под пологом ели на водоразделах между левыми (западными) верхними притоками р. Тьрма. Ближайшие кедровые массивы на водоразделе Тьрма–Урми при этом находились на расстоянии не менее 50 км.

Цель исследований

Изучение кедрово-широколиственных лесов имеет важное значение, что подчеркивал Б.П. Колесников [3, с. 7] словами: «...на юге Дальнего Востока любой вопрос, связанный с изучением лесов, неизбежно оказывается сопряженным в той или иной степени с различными сторонами “кедровой проблемы”». Однако до настоящего времени кедрово-широколиственные леса, произрастающие на северо-западной границе ареала, остаются практически не изученными в лесоводственном отношении. Цель исследования – определение лесоводственно-таксационных характеристик кедрово-широколиственных лесов, оценка их устойчивости, естественного возобновления, выделение и описание типов леса.

Объекты и методы исследований

В бассейне нижнего течения р. Бурей нами обследованы горные кедрово-широколиственные леса. Все обследованные участки имеют следы воздействия лесных пожаров и рубок. Долинных кедрово-широколиственных лесов не обнаружено, что, несомненно, связано с ярко проявляющейся температурной инверсией в долинах рек, создающей неблагоприятные условия для произрастания кедра корейского.

При проведении работ использовали метод изучения типов леса с закладкой временных пробных площадей (ПП) в соответствии с «Методическими указаниями...» [9]. На ПП производили перечислительную таксацию древостоев по 4-сантиметровым ступеням толщины, начиная с диаметра 8 см. Замеряли высоты деревьев в количестве, необходимом при определении разряда для входа в объемные таблицы [8]. Возраст деревьев устанавливали применительно к средней ступени толщины по табл. 70 и 72 «Справочника ...» [7] и корректировали по деревьям, срубленным на лесосеках. Для характеристики естественного возобновления древесных пород закладывали методом случайной выборки 25 учетных площадок размером 2×2 м по диагонали ПП. Названия высших растений приведены по С.К. Черепанову [11].

Выделение типов леса производили, основываясь на подходах генетического (географо-генетического, динамического) направления в лесной типологии Б.А. Ивашкевича–Б.П. Колесникова. Тип леса в генетической классификации – крупная по объему единица, отражающая этапы лесообразовательного процесса и включающая возрастные и коротко-восстановительные смены [6]. Установление типов леса в районе наших исследований осложнено отсутствием коренных кедровых насаждений, развивающихся без антропогенного влияния. Все обследованные древостои находятся на разных стадиях восстановительной динамики. Всего заложено 6 ПП размером 0,25...0,50 га, практически исчерпывающих разнообразие кедрово-широколиственных лесов (табл. 1).

Результаты исследований и их обсуждение

Леса с участием кедра корейского на левобережье Буреи располагаются преимущественно в средней части склонов, избегая долин, где застаивается холодный воздух. Кедровые леса в этом районе, согласно Б.П. Колесникову [3], следует отнести к географической фации северных кедровников, для которой характерно участие в древостоях пихты, ели и лиственницы. До настоящего времени для этой фации не построено сводной классификации типов леса, на необходимость создания, которой обращал внимание Б.П. Колесников [3, с. 160].

В обследованном районе нами выделено три типа леса: горный рододендровый кедровник с дубом, горный леспедцевый кедровник с дубом и горный лещиновый кедровник с пихтой. Если первые два типа леса достаточно хорошо идентифицируются, то в третьем типе эдификатором выступает лещина маньчжурская, имеющая достаточно большую экологическую амплитуду мест произрастания.

Горный рододендровый кедровник с дубом (PK) приурочен к узким гребням, верхним частям крутых склонов с выходом скальных пород преимущественно южной экспозиции. Тонкий слой смытого бурозема на массивно-кристаллической горной породе крутых южных склонов, испытывающих периодический дефицит влаги (ПП 10), мало подходит для полноценного развития кедра корейского. Однако имеющийся материал (табл. 2) показывает, что при отсутствии пожаров кедр достаточно хорошо возобновляется в разреженных дубовых лесах. Кроме кедра и дуба монгольского, сопутствующими породами выступают береза даурская, клен мелколистный. Несмотря на временами недостаточное увлажнение почвы на ПП 10 в подросте отмечена ель сибирская. Ель аянская избегает подобных местопроизрастаний. Подлесок не образует сомкнутого полога, беден по составу и представлен в основном *Rhododendron dauricum* L. Кустарничково-травяной ярус также развит слабо, не сомкнут. Характерными видами являются *Ajania pallasiana* (Fisch. ex Bess.) Poljak., *Calamagrostis brachytricha* Steud., *Sedum aizoon* L. Отсутствие подлеска и слабое развитие травяного покрова делают привлекательными такие участки для основного распространителя семян – кедровки, предпочитающей выносить семена кедра на участки либо вовсе лишенные семеносящих деревьев кедра, либо с их единичным присутствием [5, с. 48].

Таблица 1

Лесоводственно-таксационная характеристика древостоя

№ ПП	Местоположение, экспозиция и крутизна склона, географические координаты, высота над уровнем моря, м; площадь описания, га	Тип леса	Общая характеристика почвы	Состав по запасу	Состав по числу стволов	Порода	Количество стволов на пробе, шт.	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Бонитет	Сомкнутость	Запас, м³/га	
													общий	сухостоя
10	Бассейн kloча Татарский, приток 2-го порядка, верхняя часть склона Ю 30...32° N 49°48'42.8" E 130°14'11.4" 380 м; 0,25 га	Горный рододендровый кедровник с дубом	Бурозем смуглый на массивно-кристаллической горной породе	7Д2К1Бч +Ес, Бб	5Д3К2Ес+Бч	Д К Бч Ес	94 68 7 37	80 80 80 45	16 12 16 7	24 15 24 9	4	0,4	153	-
21	Бассейн kloча Татарский, приток 2-го порядка, верхняя часть склона Ю 30...32° N 49°48'19.6" E 130°14'13.4" 345 м; 0,25 га	Длительно-восстановительная смена горного лесопосевного кедровника с дубом	« «	10Д+Бч, Км, Ма, Лп	10Д+Км, Бч, Лп	Д	275	60	10	14	5	0,7	92	-
9	Бассейн kloча Татарский, приток 2-го порядка, средняя часть склона В 12° N 49°48'35.2" E 130°14'19.4" 328 м; 0,25 га	Горный лещиновый кедровник с пихтой	Бурозем иллювиально-гумусированный на плотной массивно-кристаллической породе	4,5П4К 1,5Лп ед. Ес, Км	8П1Лп1К	П К Лп	203 13 20	45 250 90	14 26 16	16 54 26	3	1,0	293	33
11	Бассейн р. Талая, приток 2-го порядка, верхняя часть склона СВ 5° N 49°50'56.70" E 130°16'49.61" 364 м; 0,5 га	Горный лещиновый кедровник с пихтой	Бурозем типичный на чехле склоновых отложений из массивно-кристаллических пород	6К2,5П1Бк 0,5Еа	5П1К1Еа 2Лп1Клм	К П Бк Еа	36 130 4 32	260 80 95 80	27 17 18 16	56 21 24 19	3	0,6	344	32

Окончание табл. 1

№ ПП	Местоположение, экспозиция и крутизна склона, географические координаты, высота над уровнем моря, м; площадь описания, га	Тип леса	Общая характеристика почвы	Состав по запасу	Состав по числу стволов	Порода	Количество стволов на пробе, шт.	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Боинтег	Сомкнутость	Запас, м³/га	
													общий	сухой
20	Бассейн р. Талая, приток 2-го порядка, верхняя часть склона СВ 3° N 49°50'11,3" E 130°21'42,5" 468 м; 0,25 га	« «	Бурозем типичный на элювии из массивно-кристаллической горной породы	5К2П1Ес 1Лп1Бб +Км, Бх	4К3П1Км1Ес 1Лп	К П Ес Лп Бб	44 41 8 8 3	160 80 100 100 100	22 16 22 22 22	30 20 32 36 40	3	0,6	255	5
22	Бассейн р. Талая, приток 2-го порядка, верхняя часть склона С 3° N 49°50'02,5" E 130°19'37,0" 372 м; 0,5 га	Длительно-восстановительная смена горного ледникового кедровника с пихтой	« «	3Лп2ДЕс 1Бч1Км1К +Бб, П	2Км2К2Лп1Ес1Д 1П1Бб	Лп Д Ес Бч Км К Еа	52 39 31 15 64 50 2	110 100 100 100 100 90 90	19 18 21 20 14 14 11	32 32 28 41 16 16 12	4	0,6	266	-

Принятые сокращения: Ес – ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.); Еа – ель аянская (*Picea ajatensis* (Lindl. et Gord.) Fisch. ex Samt.); К – сосна корейская (кедр) (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.); П – пихта белокорая (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.); Бб – береза плосколистная (белая) (*Betula platyphylla* Sukacz.); Бк – береза шерстистая (каменная) (*Betula lanata* (Rege) V. Vassil.); Бч – береза лаурская (черная) (*Betula davurica* Pall.); Бх – бархат амурский (*Phellodendron amurense* Rupr.); Д – дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.); Км – клен мелколистный (*Acer mono* Maxim.); Лп – липа амурская (*Tilia amurensis* Rupr.); Ма – Мааккия амурская (*Maackia amurensis* Rupr. et Maxim.) [11].

Таблица 2

Характеристика естественного возобновления под пологом кедрово-широколиственных лесов

Тип леса	№ ПП	Входы (состав / тыс. шт./га)	Распределение жизнеспособного подроста по высоте, м (состав / тыс. шт./га)		Всего, тыс. шт./га
			До 0,50 м	0,51...1,50 м	
РК	10	10К 0,3	5Д3Ес2К+КМ 1,5	3К3Ма2Ес1Д11КМ 0,7	2,8
ЛК*	21	7К3Д 0,4	6Д3К1Км.ел.Ес 3,6	4К3КМ2Ю0,5Ес0,5Ма 1,8	5,8
ЛцК	9	9ЛцК 31,0	7ЛцК 1,1	10Л 0,9	2,0
« «	11	–	7К3Ц 0,9	6Еа2П2КМ 0,5	2,0
« «	20	6П4К.ел.Д 6,1	4Д3П3КМ 1,3	8П2КМ 0,5	1,9
ЛцК*	22	7ЛцК 1,1	7КМ2Ма1Лц 0,9	–	0,9

* Данные типы леса представлены длительно-восстановительной стадией.

Горный леспедцевый кедровник с дубом (ЛК) находится в близких с первым типом леса условиях произрастания, но без выхода на поверхность скальных пород. Состав подлеска и кустарничково-травяного яруса аналогичен, но эдификатором является *Lespedeza bicolor* Turcz. Длительно-восстановительную стадию этого типа леса представляет дубняк редкопокровный, возникший после пожара 60-летней давности (ПП 21).

Бассейн нижнего течения р. Бурея расположен в зоне перехода горных систем хребта Турана к Зейско-Буреинской равнине. Рельеф имеет сглаженные мягкие формы. Возвышенности чаще всего с куполовидными или плоскими вершинами и длинными (до 2 км) склонами крутизной от 5 до 20° [10]. Поэтому два первых типа леса в районе исследования имеют крайне ограниченное распространение. Относительная сухость местообитания создает высокую пожарную опасность. Этот тип леса более страдает от огня по сравнению с рододендровым кедровником с дубом, где выходы скальных пород разбивают фронт огня на отдельные очаги. Поэтому растущие выше кедровники сохраняются немного лучше.

Горный лециновый кедровник с пихтой (ЛцК) приурочен к средней части склонов различных экспозиций. Обследование показало, что более сохранившимися являются кедровники, произрастающие на верных и северо-восточных склонах.

Позднее таяние снега и влажная подстилка сохраняют лес во время пожаров, происходящих преимущественно в мае. Почва – бурозем типичный на чехле склоновых отложений. В подлеске, с проективным покрытием от 10 до 50 %, в основном преобладает *Corylus mandshurica* Maxim. Также представлены *Philadelphus tenuifolius* Rupr. et Maxim., *Euonymus pauciflora* Maxim., реже – *Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim., *Sorbaria sorbifolia* (L.) A.Br. и *Rosa acicularis* Lindl. Единично может встречаться *Vitis amurensis* Rupr.

Развитие напочвенного покрова зависит от сомкнутости древостоя и может варьировать в широких пределах. Характерными видами являются *Mitella nuda* L., *Thalictrum filamentosum* Maxim., а также папоротники: *Leptorumohra amurensis* (Christ) Tzvel., *Dryopteris sichotensis* Kom.

Возобновление кедра в этом типе леса происходит неудовлетворительно. Кедр представлен в основном мелкими экземплярами, на ПП 20 он отсутствует. Это можно объяснить повышенной конкуренцией со стороны других древесных пород, в первую очередь пихты белокорой. На ПП 9, благодаря рыхлению лесной подстилки животными, наблюдается значительное количество всходов пихты и кедра (соответственно 27,3 и 3,7 тыс. шт./га). Однако в результате большой сомкнутости древостоя мелкий подрост угнетен, жизнеспособный крупный подрост отсутствует.

В составе древостоя чаще присутствует ель сибирская. Для ели аянской условия увлажнения в кедровниках менее благоприятны. Совместное произрастание двух видов ели не характерно. Из всех пробных площадей лишь на ПП 22 встречаются оба вида ели, при этом на 31 дерево ели сибирской приходится всего 2 тонкомерных дерева ели аянской. Вероятно, это связано с небольшой высотой горных систем изучаемого района. Абсолютные отметки вершин обычно не превышают 500 м. На Большом Хингане ель аянская начинает встречаться в составе смешанных лесов с высоты 450 м, вертикальный пояс образует на высоте 820...1 200 м [14].

Кленово-липовые леса по Б.П. Колесникову [4] – длительно и устойчиво производная формация, сменившая выгоревшие насаждения хвойно-широколиственных лесов. ПП 22, вероятно, является примером смены коренного типа – горного лещинового кедровника – пихтой. Средний и крупный подрост здесь уничтожен беглым пожаром в 2009 г. Однако наличие в составе древостоя кедра, а также его всходов в количестве 0,4 тыс. шт./га позволяет осторожно предположить, что смена может быть длительно-восстановительной.

Выводы

1. Обследованные леса относятся к северной географической фации кедрово-широколиственных лесов, отличающихся обедненным составом древостоев, подлеска и кустарничко-травяного яруса.

2. Кедрово-широколиственные леса и производные группировки размещаются только на горных склонах, преимущественно в средней их части.

3. Обследованные участки кедрово-широколиственных лесов постоянно испытывают влияние палов, в результате чего подрост хвойных пород представлен мелкими, реже – средними особями. На большинстве участков подрост кедрового дерева недостаточно для увеличения участия этой породы в древостое. В целом позиции кедрово-широколиственных лесов стабильны, при отсутствии пожаров кедр хорошо возобновляется в разреженных дубовых лесах. Возобновлению кедрового дерева в лещиновом кедровнике с пихтой может способствовать ветровал, приводящий к образованию окон в верхнем пологом. Подобная особенность отмечена для кедрово-широколиственных лесов северо-востока Китайской Народной Республики [12, 13].

4. В бассейне р. Бурей посадку лесных культур кедрового дерева корейского не производили. На Зейско-Буреинской равнине создавали культуры сосны обыкновенной, где эта порода отличалась хорошей приживаемостью и быстрым ростом. Наиболее перспективным способом усиления позиций кедрового дерева нам представляется посадка 5-летних саженцев этой породы в количестве 0,5...1,0 тыс. шт./га и последующий уход за ними, особенно в лещиновом кедровнике с пихтой, где хорошо развит кустарничково-травяной ярус.

5. Кедр находится на северо-западной границе ареала и даже в расстроенном состоянии кедрово-широколиственные леса являются убежищем для неморальной флоры. Большинство участков произрастания кедрового дерева вошло в организованный природный парк «Буреинский», что повысило их охранный статус. Кедрово-широколиственные леса бассейна р. Бурей нуждаются, прежде всего, в охране от пожаров. В качестве эффективного мероприятия хорошо зарекомендовало себя запрещение посещения лесов населением в период высокой горимости (апрель–май) с выставлением стационарного поста на единственной лесной дороге п. Новобуреинский–урочище Федоровка. Круглосуточное дежурство на данном посту осуществляют работники лесной охраны и полиции. Регистрация въезжающих и выезжающих лиц, осуществляющих деятельность в лесу, оказывает большое профилактическое воздействие на лесопользователей, повышает их ответственность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков Е.В. Река Бурей как ботанико-географический рубеж на примере распространения *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc. (Pinaceae) // Учен. зап. ЗабГУ. 2015. № 1. С. 6–10.
2. Васильев В.Н. Растительный покров Малого Хингана // Тр. Дальневост. фил. АН СССР. Сер. «Ботаника». М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937. Т. 2. С. 103–272.
3. Колесников Б.П. Кедровые леса Дальнего Востока // Тр. Дальневост. фил. АН СССР. Сер. «Ботаника». М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. Т. 2 (4). 261 с.
4. Колесников Б.П. Конспект лесных формаций Приморья и Приамурья // Академик В.Н. Сукачев (к 75-летию со дня рождения). М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 286–305.
5. Кудинов А.И. Широколиственно-кедровые леса Южного Приморья и их динамика. Владивосток, 2004. 369 с.
6. Манько Ю.И. Возникновение и становление генетической лесной типологии // Лесоведение. 2013. № 6. С. 40–55.

7. Справочник для таксации лесов Дальнего Востока / Сост. В.Н. Корякин. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1990. 526 с.
8. Справочник таксатора. Хабаровск, 1955. 133 с.
9. Сукачёв В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.
10. Терентьев А.Т. Почвы Амурской области и их сельскохозяйственное использование. Владивосток, 1969. 275 с.
11. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.:, 1995. 992 с.
12. Namikawa K., Wang F. Community structure of a mixed Korean pine (*Pinus koraiensis*) – hardwood forest in Xianobeihu Forestry Area, Ningan District, Heilongjiang Province, northeastern China // Japanese J. of Forest Environment. 1996. Vol. 38. P. 35–42.
13. Okitsu S. Growth characteristics and regeneration maner of the Korean Pine (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) on Mt. Changbai, Northeastern China // Natural Environmental Science Research. 1996. Vol. 9. P. 9–14.
14. Zhou Yiliang. Vegetation of da Hinggan ling in China. 1991. 264 p. (на кит. яз.).

Поступила 07.04.16

UDC 630*187 (571.61)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.34

Forests with Korean Pine in the Bureya River Basin

E.V. Volkov, Postgraduate Student

Primorskaya State Academy of Agriculture, Blukher ave., 44, Ussuriysk, 692510, Russian Federation; e-mail: les231975@mail.ru

The Bureya river is the north-western border of the Korean pine growth area (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.). Cedar and broadleaved woodlands of this district are attributed by B.P. Kolesnikov to the geographic facies of the northern cedar forests. The cedar forests growing in the northwestern border of the area are practically unexplored in silvicultural terms. The purpose of the study was to determine the silvicultural and forest inventory characteristics of cedar and broadleaved woodlands, to assess their sustainability and natural regeneration, to identify and describe the forest types. Forest inventory characteristics, natural regeneration, the undergrowth and shrub and herbaceous layer composition of cedar and broadleaved woodlands in the Bureya river basin were analyzed for the first time on the basis of 6 test areas. In the surveyed area the cedar and broadleaved woodlands and derived groups are located only on the mountain slopes, mainly in their central part. Three forest types were determined: a mountain rhododendron Korean pine forest with oak, a mountain bush-clover Korean pine forest with oak and a mountain hazel Korean pine forest with fir. The allocation of forest types was carried out on the basis of genetic trend approaches (geographic and genetic, dynamic) in the forest typology of B.A. Ivashkevich – B.P. Kolesnikov. The forest types determination in the study area was complicated by the lack of indigenous pine plantations, developing without human influence. The northern geographical facies of broadleaved-Korean pine forests was notable for depleted composition of stands, an understory and a shrub and herbaceous layer. The Korean pine forests in the Bureya river basin suffered from logging and fires in the past. The least fire damages were observed in the forests on the slopes of the northern expositions. Even in the unbalanced state the broadleaved-Korean pine forests are a shelter for nemoral flora. The impact of fires is reflected on natural regeneration, resulting in the small, rarely medium-sized individuals of coniferous species

undergrowth. The undergrowth of Korean pine on most plots is not enough to increase the composition of this species in the forest stands. The positions of broadleaved-Korean pine forests are stable; in the absence of fires the Korean pine is well regenerated in the thinned oak forests. Most of the Korean pine growth plots are included in the Bureyskiy Nature Park that increased their protective status. The broadleaved-Korean pine forests in the Bureya River basin especially require the protection from fires.

Keywords: broadleaved-Korean pine forest, *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc., forest type, Bureya river.

REFERENCES

1. Volkov E.V. Reka Bureya kak botaniko-geograficheskiy rubezh na primere rasprostraneniya *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc. (Pinaceae) [The Bureya River as the Botanical and Geographical Border in Terms of *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc. (Pinaceae) Distribution]. *Uchenye zapiski Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Scholarly Notes of Transbaikal State University], 2015, no. 1, pp. 6–10.
2. Vasil'ev V.N. Rastitel'nyy pokrov Malogo Khingana [The Vegetation Cover of the Little Khingnan Mountains]. *Trudy Dal'nevostochnogo filiala AN SSSR. Ser.: Botanika*, 1937, vol. 2, pp. 103–272.
3. Kolesnikov B.P. Kedrovye lesa Dal'nego Vostoka [Pine Forests of the Far East]. *Trudy Dal'nevostochnogo filiala AN SSSR. Ser.: Botanika*, 1956, vol. 2(4). 261 p.
4. Kolesnikov B.P. Konspekt lesnykh formatsiy Primor'ya i Priamur'ya [Abstract of Forest Formations of Primorye and the Amur Region]. *Akademik V.N. Sukachev (k 75-letiyu so dnya rozhdeniya)* [Academician V.N. Sukachev (to the 75th Anniversary)]. Moscow; Leningrad, 1956, pp. 286–305.
5. Kudinov A.I. *Shirokolistvenno-kedrovye lesa Yuzhnogo Primor'ya i ikh dinamika* [Broadleaved and Cedar Woodlands of the Southern Primorye and Their Dynamics]. Vladivostok, 2004. 369 p.
6. Man'ko Yu.I. Vozniknovenie i stanovlenie geneticheskoy lesnoy tipologii [The Origin and Formation of the Genetic Forest Typology]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2013, no. 6, pp. 40–55.
7. Koryakin V.N. *Spravochnik dlya taksatsii lesov Dal'nego Vostoka* [A Reference Table for Forest Inventory of the Far East]. Khabarovsk, 1990. 526 p.
8. *Spravochnik taksatora* [A Taxator's Reference Table]. Khabarovsk, 1955. 133 p.
9. Sukachev V.N., Zonn S.V. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Guidelines for the Forest Types Study]. Moscow, 1961. 144 p.
10. Terent'ev A.T. *Pochvy Amurskoy oblasti i ikh sel'skokhozyaystvennoe ispol'zovanie* [Soils of the Amur Region and Their Agricultural Use]. Vladivostok, 1969. 275 p.
11. Cherepanov S.K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv* [Vascular Plants of Russia and Neighboring Countries]. Saint Petersburg, 1995. 992 p.
12. Namikawa K., Wang F. Community Structure of a Mixed Korean Pine (*Pinus koraiensis*) – Hardwood Forest in Xianobeihu Forestry Area, Ningan District, Heilongjiang Province, Northeastern China. *Japanese J. of Forest Environment*, 1996, vol. 38, pp. 35–42.
13. Okitsu S. Growth Characteristics and Regeneration Manner of the Korean Pine (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) on Mt. Changbai, Northeastern China. *Natural Environmental Science Research*, 1996, vol. 9, pp. 9–14.
14. Zhou Yiliang. *Vegetation of Da Hinggan Ling in China*. 1991. 264 p.

Received on April 07, 2016

УДК 630*: 582.475

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.44

ОЦЕНКА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ЕЛИ В БЕРЕЗНЯКЕ ЧЕРНИЧНОМ В ПРОЦЕССЕ ЕГО ВОЗРАСТНОГО РАЗВИТИЯ

В.Н. Коновалов¹, д-р с.-х. наук, проф.

Л.В. Зарубина², канд. с.-х. наук, доц.

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;

e-mail: v.konovarov@narfu.ru

²Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина, ул. Шмидта, д. 2, с. Молочное, г. Вологда, Вологодская обл., Россия, 160555;

e-mail: Liliva270975@yandex.ru

Изучена динамика физиологических и ростовых процессов у подпологовой ели при возрастной смене березняка черничного. Установлено, что при этом рост и формирование еловой популяции обуславливаются совместным онтогенезом производного (березового) древостоя и восстанавливающейся популяции ели, полнотой и сомкнутостью листового полога. На начальных этапах формирования березового древостоя скорость физиологических процессов и рост ели в основном зависят от факторов среды. Максимальных значений прирост верхушечных побегов и интенсивность физиологических процессов у подростка ели достигают в березняке 6–8-летнего возраста на начальных этапах заселения листовых пород. В березняке такого возраста интенсивность фотосинтеза у подростка ели в 3–4 раза выше, чем под пологом взрослого древостоя. В этих условиях у ели активнее протекает водный обмен, интенсивнее работает корневая система. При дальнейшем возрастном развитии березового древостоя в связи с образованием верхнего листового полога и ухудшением светового режима физиологическая и ростовая активность у подпологовой ели начинает ослабевать. Уже в 13-летнем березняке подрост ели испытывает неблагоприятное экологическое воздействие со стороны березы. С 20–25-летнего возраста начинается полное биологическое угнетение ели березой, которое продолжается вплоть до выхода ели в первый ярус. Несмотря на высокое содержание пигментов, интенсивность фотосинтеза у подростка ели в насаждении такого возраста не превышает 5...8 мг СО₂/(г·ч), что в 3–4 раза ниже, чем в 8-летнем березняке, и значительно слабее, чем в 13-летнем насаждении. Для улучшения состояния ели и повышения ее биологической устойчивости необходимо своевременное осуществление мер содействия путем проведения рубок ухода. Уже в возрасте березы 20...25 лет требуется проводить осветление ели. В спелых древостоях первый прием постепенных рубок целесообразно начинать в 50...60 лет, второй – через 8...10 лет.

Ключевые слова: подрост ели, формирующийся березняк, физиологические процессы, световой режим.

Введение

Образование верхнего полога при формировании березового древостоя на месте вырубков приводит к уменьшению поступления под его полог

солнечной радиации и тепла [1, 14, 34, 35]. В результате недостатка солнечной радиации у елового подроста ухудшается работа корневой системы и ассимиляционного аппарата, задерживаются отток от листа и передвижение по растению ассимилятов, нарушаются скорость ростовых процессов, морфогенез и филогенез кроны [2–4, 9, 12–14, 29, 30, 32]. Выборочные и постепенные рубки, усиливая поступление света и тепла под полог древостоев, у подпологовой ели и сосны приводят к улучшению жизненного состояния, усилению физиологических процессов. Такие рубки положительно влияют также на морфоструктуру хвои, активизируют лесовосстановительные процессы [2, 4, 9–11, 13, 21, 25].

Другой причиной низкой физиологической активности и слабого роста, обычно отмечаемых у подроста ели в березняках черничных типов лесорастительных условий, является крайняя бедность почв минеральными элементами, особенно азотом [26, 28]. Вносимый в почву минеральный азот усиливает у подроста работоспособность корневой системы, повышает его физиологическую активность и корнеобеспеченность, активизирует ростовые процессы [12, 14, 19, 23, 26]. В березняках черничных азот ослабляет корневую конкуренцию между березой и елью.

Цель исследования состояла в изучении динамики светового режима, физиологических и ростовых процессов у подроста ели при возрастном развитии березняка черничного.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования служил подрост ели (*Picea abies* Karst. (*Pinacea*)) в березняке черничном (*Betuletum myrtillosum*) на разных возрастных этапах его формирования (от вырубki до спелого древостоя). Полнота насаждения в ходе формирования древостоя менялась от 0,2 на вырубке до 1,0 в 23-летнем насаждении, оставаясь практически постоянной при дальнейшем увеличении его возраста.

Измерение интенсивности видимой радиации (освещенности) проводили в конце июня и в июле, в период полного облиствления березы и осины, на высоте 1,5 м с помощью двух люксметров Ю-116М по 35–40 постоянным точкам, закрепленным в натуре деревянными кольшками, в околополуденные часы (13 ч.) одновременно в лесу и на открытом месте [1, 14, 34, 35]. В основу методики изучения потенциального фотосинтеза и оттока ассимилятов положен радиометрический метод. Удельная радиоактивность газовой смеси ($^{14}\text{CO}_2 + \text{CO}_2$) в замкнутой системе при изучении фотосинтеза и оттока ассимилятов составляла 0,2 и 8,0 МБк/л соответственно [7]. Интенсивность транспирации определяли путем 2-кратного быстрого взвешивания [15], интенсивность дыхания корней и хвои – методом Бойсен–Йенсена [6]. При изучении содержания пластидных пигментов пользовались спектрофотометрическим методом [31]. Массу хвои у подроста ели определяли в сухом виде.

Результаты исследований и их обсуждение

Известно, что в лиственно-еловых лесах ежегодная смена ассимиляционного аппарата у лиственных пород вносит свои коррективы в общий световой режим леса. Результаты наших исследований показали, что наибольшее количество света еловый подрост получает на свежих вырубках и в 6–8-летних березовых насаждениях, когда лиственные породы еще не создают для него серьезного верхнего затемнения (рис. 1). По мере поселения и роста на вырубке быстрорастущих пород осины и березы световые условия для подполовой ели начинают постепенно ухудшаться. В 13-летних березово-еловых насаждениях береза и осина для ели еще не являются серьезными конкурентами за свет. В околополуденные часы ясных безоблачных дней июня-июля в условиях Севера под полог такого насаждения проникает около 65 % приходящего к кронам верхнего яруса солнечного света, количества которого вполне достаточного для нормального развития ели [1, 29]. При дальнейшем разрастании и укреплении эдафических позиций береза и осина постепенно начинают вытеснять ель во второй ярус, где условия для ее возобновления и роста становятся менее благоприятными. Продолжительность дневного освещения для ели значительно сокращается.

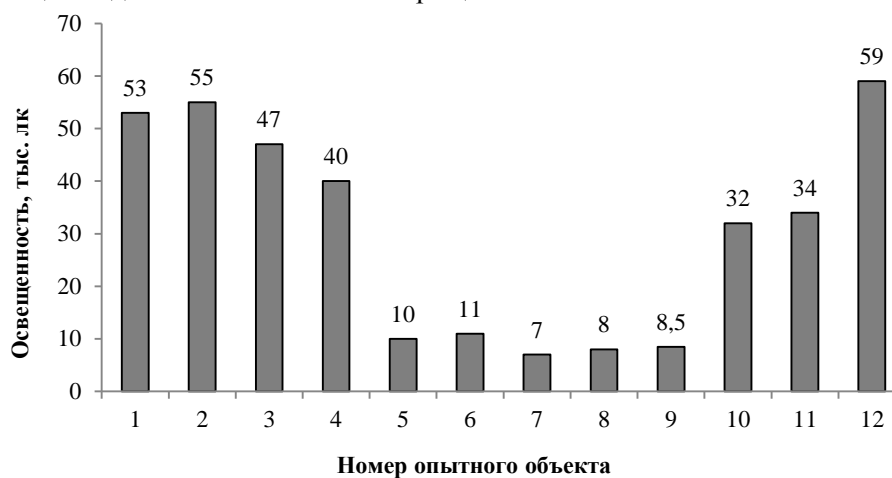


Рис. 1. Освещенность на опытных объектах: вырубки (1 – свежая, 2 – 1-летняя); березняки (3 – 8 лет; 4 – 13 лет; 5 – 23 года; 6 – 33 года; 7 – 53 года; 8 – 80 лет; 10 – 53 года с вырубкой 50 % запаса); осинники (9 – 53 года; 11 – 53 года с вырубкой 45 % запаса); 12 – открытое место

В северотаежной подзоне уже к 23-летнему возрасту березы в дневное время под полог проникает не более 10...12 % приходящего к верхнему лиственному пологу света. С этого возраста березы начинается полное биологическое угнетение ели березой, продолжающееся вплоть до выхода ели в первый ярус [14]. В то же время, согласно литературным данным [1, 29], необходимый

минимум света для формирования перспективного подроста ели не должен быть ниже 25...40 % от открытого места. После вырубки в 53-летних березняке и осиннике черничных до 45...50 % запаса освещенность под пологом древостоев увеличилась до 49 тыс. лк и стала соответствовать значениям, которые считают для ели оптимальными.

Дыхание корней. Корням принадлежит ведущая роль в жизнедеятельности растения. Корневая система, как орган, наделенный многообразными синтетическими функциями, не только снабжает растения питательными веществами и водой, но и сам участвует во многих обменных процессах, в синтезе весьма специфических веществ. Нормальная работа корня возможна лишь при благоприятных почвенных условиях. Она в значительной мере зависит также от текущего фотосинтеза и количества ассимилятов, поступающих в корни из надземной части [8, 12, 17, 36].

Наши исследования показали, что наиболее интенсивное выделение углекислого газа (CO_2) корнями у подроста ели наблюдается на осветленных участках формирующегося березняка черничного, в которых фотосинтез не лимитируется недостатком световой энергии. Так, в 53-летнем березняке в июле мелкие всасывающие корешки у подроста ели в нетронутым рубкой древостоем при температуре $+20\text{ }^\circ\text{C}$ дышали с активностью $0,39\text{ мг CO}_2/(\text{г сух. массы}\cdot\text{ч})$, на участках постепенной рубки – от $0,48$ до $0,72\text{ мг CO}_2/(\text{г}\cdot\text{ч})$ (табл. 1).

Таблица 1

Фотосинтез и интенсивность дыхания ($\text{мг CO}_2/(\text{г}\cdot\text{ч})$) мелких корней у подроста ели в 53-летнем березняке черничном через 2 года после постепенной рубки

Интенсивность рубки, %	Фотосинтез			Дыхание корней		
	$M\pm m$	%	t	$M\pm m$	%	t
Контроль	$10,6 \pm 1,8$	100	–	$0,39 \pm 0,03$	100	–
35	$12,6 \pm 1,9$	143	2,9	$0,48 \pm 0,2$	123	2,3
50	$15,1 \pm 1,7$	162	3,4	$0,67 \pm 0,04$	172	4,9
70	$17,2 \pm 1,9$	170	4,0	$0,72 \pm 0,03$	185	5,7

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, $M\pm m$ – среднее значение процесса с ошибкой определения; t – достоверность разницы между средними значениями.

В июле на разреженном участке 59-летнего березняка черничного всасывающие корни подроста на контрольном участке насаждения дышали с интенсивностью ($0,71 \pm 0,12$) $\text{мг CO}_2/(\text{г}\cdot\text{ч})$, проводящие – ($0,39 \pm 0,12$) $\text{мг CO}_2/(\text{г}\cdot\text{ч})$, на участке с рубкой – ($1,08 \pm 0,13$) и ($0,67 \pm 0,03$) $\text{мг CO}_2/(\text{г}\cdot\text{ч})$ соответственно. По данным Ю.Л. Цельникер [30], при увеличении освещенности в 10 раз интенсивность дыхания корней у древесных растений увеличивается в 3 раза.

Как показали наши исследования по оттоку ^{14}C -ассимилятов, повышенная интенсивность дыхания корней у подроста ели на участках с рубкой в обоих опытах была обусловлена более активным поступлением в них фотоассимилятов из кроны в результате повышенного фотосинтеза. Так, в 59-летнем березняке (в расчете на 1 г сухой массы) за 8 сут после подкормки его радиоуглекислотой ($^{14}\text{CO}_2 + \text{CO}_2$) на контрольном участке в корни подроста поступило $0,03 \cdot 10^3$ имп./мин, на участке с рубкой – $0,26 \cdot 10^3$ имп./мин, за 17 сут соответственно $0,17 \cdot 10^3$ и $0,38 \cdot 10^3$ имп./мин. В другом аналогичном опыте, заложенном нами в 53-летнем березняке, за первые сутки в корни контрольных растений притекло 22 имп./мин, на участках с интенсивностью рубки 35, 50 и 70 % – 212, 434, 403 имп./мин, за 8 сут – 819, 1207, 1532, 1417 имп./мин соответственно [14].

Водный режим ели. Высокая обводненность клеток является необходимым условием для нормальной работы ассимиляционного аппарата. Наши исследования в березняке черничном на разных возрастных этапах его формирования показали, что хвоя подроста ели наиболее активно транспирирует в 8-летнем березняке (343 мг H_2O / (г свежей хвои·ч), когда отсутствует отенение его со стороны березы. На свежей и однолетней вырубках, из-за слабой работы корневой системы, интенсивность водоотдачи у подроста предварительных генераций еще достаточно низкая – не более 170 мг H_2O /(г·ч) (рис. 2). Затем с заселением на вырубке быстрорастущих пород (береза и осина) и в связи с появлением верхнего оттеняющего полога у подпологовой ели происходит постепенное снижение интенсивности транспирации. Уже в 13-летнем насаждении хвоя подроста ели транспирирует в 1,5 раза слабее, чем в 8-летнем. Дальнейшее увеличение возраста березового древостоя приводит к еще большему ухудшению светового режима для подроста и дальнейшему снижению у него интенсивности транспирации.

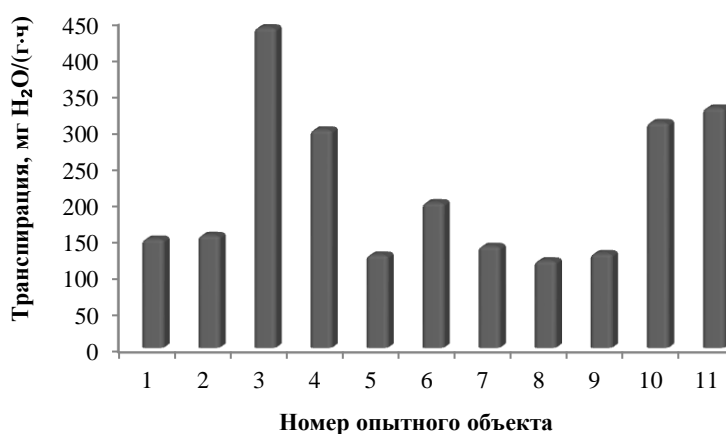


Рис. 2. Интенсивность транспирации хвои у подроста ели высотой 1,5 м (см. обозначения с 1 по 11 на рис. 1)

Самая низкая интенсивность транспирации (не более 150 мг H₂O/(г·ч)) у хвой подроста ели обнаружена в спелом березняке. По данным В.Г. Карпова [16], причиной торможения транспирации у подроста под пологом леса является высокая корневая конкуренция со стороны крупных деревьев. Исключение конкуренции со стороны взрослых деревьев путем обрубки корней, по данным автора, у сеянцев ели повышало интенсивность транспирации почти в 3 раза, при этом одновременно увеличивалась обводненность хвои.

Другой причиной, способной вызвать нарушение водного режима у подроста ели, является часто наблюдающееся в березовых лесах иссушение корнеобитаемого слоя почвы вокруг подроста ели корнями березы [5].

Согласно нашим исследованиям, в молодом березняке наиболее интенсивно транспирируют мелкие категории подроста, в 60-летнем березняке все категории подроста транспирируют слабо и примерно с одинаковой скоростью. Так, в 13-летнем березняке мелкий подрост ели в течение 1 ч в процессе транспирации в среднем расходует 296...319 мг H₂O/г свежей массы хвои, крупный подрост – 232 мг H₂O/г, или на 22...27 % меньше (табл. 2).

Таблица 2

**Интенсивность транспирации (мг H₂O / (г·ч))
у подроста ели в березняках черничных**

Категория подроста ели	Возраст березняка, лет			
	60		13	
	<i>M±m</i>	<i>M±m</i>	t	%
Крупный (более 1,5 м)	148 ± 22	232 ± 23	4,9	155
Средний (0,6...1,5 м)	145 ± 16	240 ± 23	5,2	165
Мелкий (0,5 м и менее)	146 ± 16	296 ± 15	7,1	202
Всходы	155 ± 17	319 ± 19	7,0	206

В 60-летнем березняке транспирация у подроста ели раньше заканчивается и позже начинается, чем в 13-летнем. В июне в ясную солнечную погоду за 1 сут 1 г хвои у подроста ели высотой 1,5 м на транспирацию в 13-летнем березняке расходует 3,02 г влаги, в 60-летнем – 2,03 г.

Пигменты. Изменение светового режима при возрастной смене березняка черничного у подпологовой ели вызвало соответствующие изменения и в концентрации пигментов. Исследования показали (рис. 3), что наименьшее количество зеленых пигментов в хвое елового подроста содержится на 1-летней вырубке (0,40 мг хлорофилла *a* и 0,15 мг хлорофилла *b* на 1 г свежей массы). Это в 1,5–2 раза ниже, чем в спелых березняках черничных. На 10-дневной вырубке концентрация зеленых пигментов у подроста дорубочных генераций на 24 % меньше, чем в древостое, но их содержание в хвое все еще продолжает оставаться значительно (на 36 %) выше, чем на 1-летней вырубке.

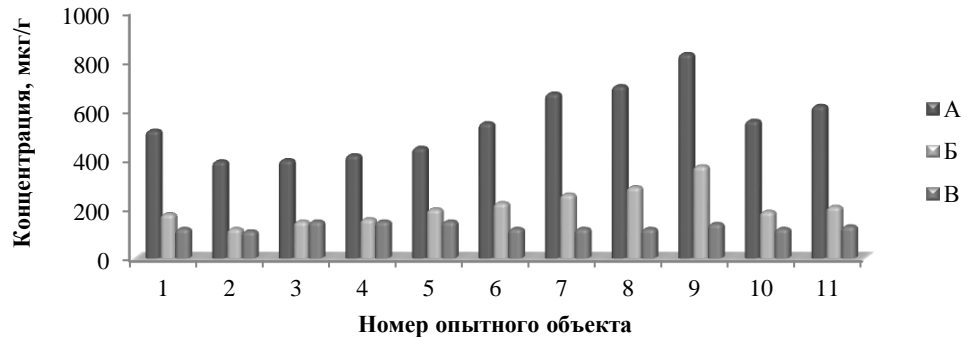


Рис. 3. Содержание хлорофилла *a* (А), хлорофилла *b* (Б), суммы каротиноидов (В) у подростка ели (см. обозначения с 1 по 11 на рис. 1)

Появление на вырубке лиственных пород и образование верхнего отгораживающего полога у подростка привели к усилению процессов, связанных с синтезом хлорофилла, и к накоплению его в хвое. Первые признаки усиления синтеза зеленых пигментов у ели начинают проявляться в 8-летнем березняке. К 23-летнему возрасту березы хвоя подростка содержит зеленых пигментов уже на 29 % больше, чем на 1-летней вырубке. Особенно активно в этот период начинает накапливаться хлорофилл *b*. Наблюдаемое при этом снижение соотношения хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (с 2,6...3,0 на вырубке до 2,4...2,5 в 23-летнем березняке) может свидетельствовать об ослаблении жизненных позиций у молодой ели по отношению к березе, а также о возможной переориентации метаболических процессов у нее с синтеза клетчатки на биосинтез дополнительного количества пигментов.

Процесс накопления зеленых пигментов у подростка продолжается вплоть до формирования полнодревесного березового насаждения. Самое большое количество зеленых пигментов (986 мкг/г) подросток накапливает при достижении березой 60–80-летнего возраста. Фонд каротиноидных пигментов у подростка при возрастной смене березняка черничного изменяется мало.

Фотосинтез. Являясь относительно самостоятельным и слабо контролируемым генетическим кодом, фотосинтетический аппарат растений развивается в соответствии с факторами среды [18]. Исследования показали, что на свежих и 1-летних вырубках, несмотря на высокую освещенность, интенсивность фотосинтеза у вышедшего из-под полога леса подростка ели не превышает 11...15 мг CO₂/(г сухой массы хвои·ч), что в 2–3 раза ниже, чем в 8-летнем березняке (рис. 4). Согласно литературным источникам [24, 29, 33], наращиванию фотосинтеза на свежих вырубках у вышедшей из-под полога молодой ели препятствует высокая солнечная инсоляция, которая, разрушая фотосинтетические пигменты, ингибирующе воздействует на способность хлоропластов к связыванию CO₂ в строме, вызывая при этом повреждения биомембран и инактивируя ферменты хлоропластных систем.

Самая высокая интенсивность фотосинтеза у подростка ели отмечена в 8-летнем насаждении (35,6 мг CO₂/(г·ч)), в котором условия светового режима в связи со слабым развитием листового полога еще не лимитируют нормальное развитие ели. Однако уже в 13-летнем насаждении фотосинтез у ели начинает лимитироваться недостатком световой энергии. Опережающий рост лиственных пород, по сравнению с елью, постепенно приводит к формированию плотного верхнего полога и изоляции от солнечных лучей находящегося под пологом елового подростка.

К 23-летнему возрасту березы способность елового подростка к ассимиляции атмосферной углекислоты, несмотря на достаточно высокое содержание в хвое хлорофилла (0,70 мг), остается в 3–4 раза ниже, чем в 8-летнем березняке, и в 2–3 раза слабее, чем в 13-летнем насаждении. Дальнейшее увеличение возраста березы (33 года и старше) уже мало изменяет фотосинтетическую активность подростка.

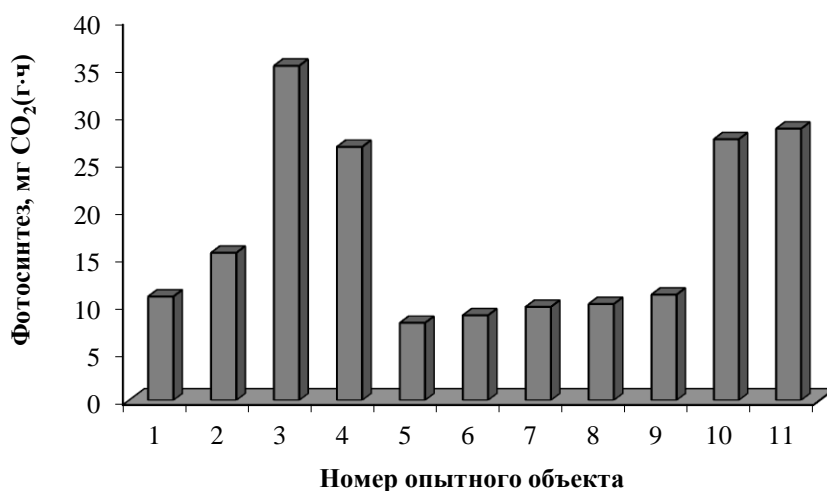


Рис. 4. Интенсивность потенциального фотосинтеза у подростка ели (см. обозначения с 1 по 11 на рис. 1)

Наши данные по оттоку ¹⁴C-ассимилятов показывают, что низкий фотосинтез у ели ограничивает нормальную работу корневых систем в результате недостаточной выработки и недопоставки в корни энергетического материала из кроны (фотоассимилятов), сдерживает выработку корнями специфических продуктов обмена, необходимых для нормальной жизнедеятельности всего растения, ведет к снижению продуктивности растений.

Отток и распределение ¹⁴C-ассимилятов. Известно, что среди физиологических проблем, связанных с продуктивностью растений, центральное место отводится проблеме интеграции фотосинтеза и накоплению органического вещества, взаимосвязи листового и корневого питания. На уровне

целого растения эти взаимосвязи опосредованы процессами транспорта органических веществ из фотосинтезирующей клетки к местам их потребления и реализуются через систему донорно-акцепторных взаимоотношений [20, 22, 27].

Первые опыты по изучению влияния светового режима на скорость накопления и оттока ^{14}C -ассимилятов у подростка ели нами были поставлены в 13-летнем березняке и 130-летнем елово-березовом древостое черничного типа 12 июня 1992 г. (стационар «Луковецкий леспромхоз», Архангельская область). Состав древостоев в 13-летнем березняке – 8Б2Е, в елово-березовом древостое – 6Е4Б+Ос. Освещенность во время опыта в 13-летнем березняке была близка к полной, в 130-летнем древостое колебалась от 7,8 до 9,1 тыс. лк. В день насыщения (подкормки) радиоактивными препаратами ($^{14}\text{CO}_2 + \text{CO}_2$) лист на березе был почти полным. Молодые побеги у ели были свободны от почечных чешуек.

Данные радиохимического анализа хвои ели показали, что за время подкормки (0,5 ч) радиоуглекислотой 1–3-летней хвои у подростка ели в елово-березовом древостое было ассимилировано $173,9 \cdot 10^3$ имп./мин, в 13-летнем березняке – $262,2 \cdot 10^3$ имп./мин, т. е. в березняке в 1,6 раза больше. Максимальное количество радиоуглеродных соединений было ассимилировано хвоей 2-го года вегетации. В спелом насаждении хвоей этого возраста таких соединений было накоплено $83,4 \cdot 10^3$, в молодом березняке – $118,4 \cdot 10^3$ имп./мин. Радиоактивность молодой хвои сразу после подкормки составляла $13,1 \cdot 10^3$ и $49,6 \cdot 10^3$ имп./мин соответственно (табл. 3).

После окончания подкормки у подростка началось активное перемещение ассимилированных радиоуглеродных соединений из старой хвои в зоны их потребления – в молодую хвою, луб, древесину, корни. В спелом древостое за сутки из ассимилированных 2–3-летней хвоей $160,8 \cdot 10^3$ имп./мин в другие органы оттекло $25,3 \cdot 10^3$ имп./мин, в 13-летнем березняке радиоактивность данной хвои за этот период уменьшилась на $125,0 \cdot 10^3$ имп./мин.

Таблица 3

Скорость накопления и передвижения ^{14}C -ассимилятов ($\times 10^3$ имп./мин) у подростка ели высотой 1,5...1,7 м

Объект исследований	130-летнее елово-березовое насаждение				13-летний березняк черничный			
	Время, прошедшее после экспозиции							
	0,5 ч	24 ч	8 сут	83 сут	0,5 ч	24 ч	8 сут	83 сут
Хвоя								
массой, г:								
1	13,1	33,4	168,3	49,6	45,7	79,1	66,0	13,2
2	83,4	80,5	24,5	5,7	118,4	55,7	14,9	3,0
3	77,4	55,0	25,6	2,5	98,1	45,8	16,1	2,2
Кора	0	0	1,0	0,3	0	0	0,8	1,4
Луб	0	0	4,0	0,8	0	3,0	0,4	1,2
Древесина	0	0	3,7	0,9	0	4,6	2,0	0,2
Корни	0	0	1,1	2,2	0	1,9	0,5	0,1

За 8 сут в спелом древостое из старой хвои в другие органы у подроста оттекло 69 % имеющейся к тому времени удельной радиоактивности, в молодом березняке – 86 %, т. е. в абсолютных показателях в последнем их оттекло в 1,7 раза больше. В 13-летнем березняке во второй декаде июня активной акцепторной зоной у подпологовой ели становятся корни, а также молодая хвоя. В этих условиях меченый углерод уже через сутки поступил в ее корни. В елово-березовом древостое первые признаки присутствия радиоуглеродных соединений в корнях подроста ели обозначились лишь на 2-е сутки, причем концентрация радиоуглеродных соединений в его корнях в этот период была небольшой и не превышала 218 имп./мин (в 13-летнем березняке – 2184 имп./мин). Принимая во внимание, что фотоассимиляты (сахароза) в ситовидных трубках передвигаются со скоростью 40...150 см/ч [27], этот процесс идет с затратой энергии, можно заключить, что в молодом березняке у ели процесс транспорта углеводов соединений протекает более активно, чем в спелом еловом древостое. Из приведенных выше данных видно, что при недостатке освещенности ассимиляты задерживаются в транспортных путях и не достигают нужных точек для их использования. Эти результаты свидетельствуют также о значительном ускорении формирования молодого ассимиляционного аппарата у ели в 13-летнем березняке по сравнению с ельником и более раннем переходе его на самостоятельное углеродное питание.

Высоким содержанием радиоуглеродных соединений у опытной ели в березняке отличались также луб и древесина. Спустя сутки после окончания подкормки у подроста в 13-летнем березняке радиоактивность луба составляла $3,0 \cdot 10^3$, древесины – $4,6 \cdot 10^3$ имп./мин. В елово-березовом древостое радиоактивный углерод в этот период в указанные органы дерева еще не поступил. Только на 8-е сутки радиоактивность этих частей оказалась достаточно высокой (около $4 \cdot 10^3$ имп./мин) и была значительно выше, чем в 13-летнем березняке. Можно полагать, что снижение радиоактивности тканей у подпологовой ели в молодом березняке к этому сроку было обусловлено влиянием радиоактивных метаболитов на процессы ксилогенеза и поддержание дыхания, поскольку суммарная радиоактивность этих тканей у ели в данном березняке до этого срока была достаточно высокой ($7,6 \cdot 10^3$ имп./мин).

После окончания подкормки (12 июня) радиоактивность молодой хвои ввиду ее недостаточного развития к началу опыта стала быстро возрастать. Через сутки радиоактивность молодой хвои у подроста в спелом еловом древостое из-за ее недоразвитости к этому сроку возросла почти в 3 раза (от $13,1 \cdot 10^3$ до $33,4 \cdot 10^3$ имп./мин), в 13-летнем березняке в связи с ее более активным развитием она увеличилась лишь в 1,7 раза (от $45,7 \cdot 10^3$ до $79,1 \cdot 10^3$ имп./мин). В 130-летнем елово-березовом древостое у подроста за первые 8 сут из 2–3-летней хвои из имеющихся радиоуглеродных соединений (сахарозы) оттекло в другие органы 34 %, в 13-летнем березняке – 48 % (соответственно $43,7 \cdot 10^3$ и $62,1 \cdot 10^3$ имп./мин).

Под пологом 130-летнего елово-березового древостоя основная масса продуктов фотосинтеза во вторую декаду июня молодой елью расходовалась преимущественно на формирование нового ассимиляционного аппарата. В 13-летнем березняке значительная часть ^{14}C -ассимилятов у ели в этот период уже направлялась в ствол и корни.

Через 83 дн. у ели в елово-березовом древостое общая остаточная радиоактивность 1–3-летней хвои в подкормленных мутовках узла введения составляла $57,8 \cdot 10^3$ имп./мин, в 13-летнем березняке черничном – лишь $18,4 \cdot 10^3$ имп./мин, или 34 и 7 % от ее первоначальных значений. В этот же период радиоактивность молодой хвои у подростка в 13-летнем березовом насаждении оставалась почти в 4 раза ниже, чем в 130-летнем елово-березовом древостое (соответственно $13,2 \cdot 10^3$ и $49,6 \cdot 10^3$ имп./мин).

Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют об ускоренном формировании нового ассимиляционного аппарата у подростка ели в молодом березняке черничном в условиях хорошей освещенности и о значительной задержке его формирования в спелом березняке при явно выраженном дефиците света. Кроме того, они указывают на усиление донорно-акцепторных взаимодействий у ели на начальных стадиях формирования березняка черничного в условиях лучшего светового режима, а также о положительном действии на этот процесс накапливающихся под действием света фитогормонов-стимуляторов – ауксинов, цитокининов, гиббереллинов [12].

Морфологическая характеристика побегов. Для ее изучения на каждой пробной площади было взято по 5–7 внешне перспективных моделей подростка ели примерно одинаковой высоты в соответствии с лесорастительными условиями. Как показали исследования, адаптация подростка к экологическим условиям местопроизрастания на морфологическом уровне происходит через изменение целого ряда биометрических показателей. На основании анализа имеющихся материалов установлено, что при возрастной смене березняка черничного у подпологовой ели наряду с физиологическими процессами в соответствии со световым режимом изменяются также длина главных и боковых побегов, количество и масса хвои на них [14]. Опыты показали, что наибольшая длина верхушечных побегов (22,4 см) и самая большая масса хвои на побегах (0,4 г) у подростка ели содержится в 8-летнем березняке. В 13-летнем насаждении из-за создаваемого березой небольшого отенения масса хвои на побегах у подростка ели снижается на 20 %. В 53-летнем березняке черничном на однолетних побегах содержится не более 0,10...0,12 г хвои, т. е. в 3–4 раза меньше, чем в 8-летнем березняке.

Наибольшая длина 100 шт. хвоинок (139 см) на побегах подростка обнаружена в 13-летнем насаждении. В данном березняке подрост ели на годовых побегах накапливает и самое большое количество хвоинок (до 105 шт.). Самая короткая хвоя (8,8...9,3 мм) и наименьшее количество хвоинок на побегах (59...62 шт.) у подростка ели отмечены в спелых древостоях. В хорошо возобновившемся 8-летнем березняке каждая хвоинка у подростка, по сравнению с 13-летним березняком, на 12 % короче, но по массе на 40 % тяжелее.

В результате общей массы хвои на побегах у ели в 8-летнем березняке на 25 % больше, чем в 13-летнем. Статистическая проверка с помощью показателя t подтвердила высокую достоверность разницы средних данных по длине и количеству хвоинок между 13- и 53-летними насаждениями в пользу первого ($t_{\text{факт}} = 17,3$ и $5,7$ соответственно). На разреженных участках спелого березняка масса хвои на побегах возросла в 3 раза по сравнению с контролем, количество хвоинок на них почти удвоилось.

Самая высокая насыщенность побегов хвоей у подростка в 65-летнем древостое. Здесь на 1 см побегов содержится от 18 до 21 хвоинки, в то время как в 8-летнем березняке на 1 см побега у ели имеется не более 13 шт.

Максимальная масса 100 шт. хвоинок у подростка в 8-летнем насаждении – 4,21 г. В березняке 53- и 65-летнего возраста она не превышает 1,9...2,0 г. [14]. При уменьшении общей массы хвои на побегах и в целом на деревце в худших условиях существования (т. е. при увеличении возраста древостоя и ухудшении световых условий), следует отметить, что доля хвои в общей массе кроны с увеличением его возраста и ухудшением освещенности также снижается. В 8-летнем насаждении в общей массе деревца на долю вегетирующей хвои приходится 27 %, в 65-летнем березняке – не более 12 %. Следует отметить, что и высота кроны у подростка с ухудшением условий произрастания также уменьшается (от 172 см в 8-летнем насаждении до 76 см в 65-летнем древостое). В связи с ее уплотнением ухудшаются условия для фотосинтеза [14]. Ширина годичного кольца у подростка ели в 59-летнем березняке черничном ниже ($(0,41 \pm 0,02)$ мм), чем на участке с вырубкой 52 % запаса древесины ($(0,63 \pm 0,03)$ мм) [14].

Заключение

Максимальных значений интенсивность физиологических и ростовых процессов при возрастной смене березняка черничного у ели достигает в 8-летнем березняке. Дальнейшее увеличение возраста березы вызывает дефицит солнечной радиации и слабый прогрев почвы у подпологовой ели, что приводит к ослаблению физиологических и ростовых процессов и появлению в морфоструктуре дерева изменений, ухудшающих его функциональную деятельность. Самый низкий фотосинтез и уко-роченные побеги у елового подростка отмечены в березняке, достигшем возраста спелости. Для сохранения высокого жизненного состояния ели в березняке при его возрастном развитии необходимо своевременное осуществление мер содействия путем проведения рубок ухода. Уже в возрасте березы 20...25 лет требуется проводить осветление ели. В спелых древостоях первый прием постепенных рубок целесообразно начинать в 50...60 лет, второй – через 8...10 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.А. Световой режим леса. М.: Наука, 1975. 280 с.
2. Беляева Н.В. Оценка жизненного состояния популяций подростка ели на парцеллярном уровне // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2013. № 35. С. 38–41.

3. *Беляева Н.В., Грязькин А.В.* Особенности структуры подроста ели после сплошных рубок: науч. обозрение. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. № 35. С. 19–24.
4. *Беляева Н.В., Казы И.А., Ицук Т.А.* Влияние рубок ухода разной интенсивности на появление подроста ели на вырубках и под пологом леса // Лесоведение. 1985. № 3. С. 7–14.
5. *Богатырев Ю.Г., Васильева И.Н.* Водный режим почв и подроста ели на вырубках и под пологом леса // Лесоведение. 1985. № 2. С. 16–25.
6. *Вальтер О.А., Пиневич Л.М., Варасова Н.Н.* Практикум по физиологии растений с основами биохимии. М.; Л.: Сельхозиздат, 1957. 341 с.
7. *Вознесенский Л.В., Заленский О.В., Семихатова О.А.* Методы исследования фотосинтеза и дыхания растений. М.; Л.: Наука, 1965. 305 с.
8. *Головки Т.К.* Дыхание растений. Физиологические аспекты. СПб.: Наука, 1999. 204 с.
9. *Григорьева А.А.* Оценка состояния подроста ели под пологом древостоев в разных типах леса // Изв. СПбГЛУ. 2008. № 183. С. 7–13.
10. *Дружинин Ф.Н., Постовский А.С.* Лесоводственная эффективность длительно-постепенных рубок в Вологодской области // Вестн. КрасГАУ. 2014. № 2. С. 131–136.
11. *Зарубина Л.В.* Состояние естественного возобновления ели в мелколиственных лесах на Севере России // Лесн. журн. 2016. № 3. С. 52–65. (Изв. высш. учеб. заведений).
12. *Зарубина Л.В., Коновалов В.Н.* Влияние прореживания и азота на сезонную динамику дыхания корней сосны и ели // Лесн. журн. 2016. № 1. С. 100–114. (Изв. высш. учеб. заведений).
13. *Зарубина Л.В., Коновалов В.Н.* Влияние рубок ухода на фотосинтез и отток ¹⁴C-ассимилятов у подроста ели в березняках черничных // Вестн. ПГУ. Сер. «Естеств. науки». 2011. № 3. С. 49–54.
14. *Зарубина Л.В., Коновалов В.Н.* Эколого-физиологические особенности ели в березняках черничных. Архангельск: Изд-во САФУ, 2014. 378 с.
15. *Иванов Л.А., Силина А.А., Цельникер Ю.Л.* О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях // Ботан. журн. 1950. Т. 35, вып. 2. С. 171–185.
16. *Карпов В.Г.* Факторы регуляции экосистем еловых лесов. Л.: Наука, 1983. 318 с.
17. *Коновалов В.Н., Зарубина Л.В.* Эколого-физиологические особенности хвойных на удобренных почвах. Архангельск: Изд-во САФУ, 2011. 338 с.
18. *Лайск А.Х.* Соответствие фотосинтезирующей системы условиям среды // Физиология фотосинтеза. М.: Наука, 1982. С. 221–234.
19. *Мельников Е.С., Беляева Н.В.* Функциональные изменения в лесном биогеоценозе после комплексных уходов за лесом // Лесоведение. 2008. № 8. С. 22–29.
20. *Мокронос А.Т.* Донорно-акцепторные отношения в онтогенезе растений // Физиология фотосинтеза. М.: Наука, 1982. С. 235–250.
21. *Помазеньюк В.А., Залесов А.С., Магосумова А.Г.* Влияние полостно-постепенных рубок на лесовозобновление в производных березняках Новоляинского лесхоза // Хвойные бореальной зоны. Красноярск: СибГТУ, 2012. Т. 30, № 3-4. С. 303–306.
22. *Роньжина Е.С., Мокронос А.Т.* Донорно-акцепторные отношения и участие цитокининов в регуляции транспорта и распределения органических веществ в растениях // Физиология растений. 1994. Т. 41, вып. 3. С. 448–459.
23. *Сарнацкий В.В.* Ельники: формирование, повышение продуктивности и устойчивости в условиях Беларуси. Минск: Тэхнолѳія, 2009. 240 с.

24. Семеновко В.Е. Механизмы эндогенной регуляции фотосинтеза и адаптивные свойства хлоропласта // Физиология фотосинтеза. М.: Наука, 1982. С. 164–187.
25. Судницина Т.Н. Влияние рубок на морфоструктуру хвои, рост и азотное питание сохраненного подроста ели в березняках южной тайги // Лесоведение. 2006. № 4. С. 61–67.
26. Судницина Т.Н., Озрина Р.Д. Особенности азотного и углеродного питания подроста ели при адаптации его к условиям вырубок // Лесоведение. 1983. № 4. С. 19–30.
27. Тарчевский И.А. Основы фотосинтеза: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1970. 253 с.
28. Федорец Н.Г. Трансформация азота в почвах лесных биогеоценозов Северо-Запада России: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 1997. 41 с.
29. Цельникер Ю.Л. Физиологические основы теневыносливости древесных растений. М.: Наука, 1978. 215 с.
30. Цельникер Ю.Л. Дыхание корней и его роль в углеродном балансе древостоя // Лесоведение. 2005. № 6. С. 11–18.
31. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений. М.: Наука, 1971. С. 154–169.
32. Юзбеков А.К., Замолодчиков Д.Г., Иващенко А.Н. Фотосинтез у ели европейской в лесных экосистемах экспериментального полигона «Лог Таежный» // Вестн. МГУ. Сер. «Биология». 2014. № 4. С. 32–35.
33. Lechowski Z., Bialczyk J. Fotoinaktywacja procesu fotosyntezy // Wiad. Bot. 1989. Vol. 33, N 4. S. 153–170.
34. Lieffers V.J., Messier C., Stadt K.J., Gendron F. et al. Predicting and managing light in the understory of boreal forestes // Can. J. Forest Res. 1999. Vol. 29, N 6. S. 796–811.
35. Lieffers V.J., Stadt K.J. Growth of understory Picea glauca, relation to overstory light transmission // Can. J. Forest Res. 1994. Vol. 24, N 6. S. 1193–1198.
36. Sword M.A., Kuehler F.A., Tang Z. Seasonal fine root carbohydrate relation of plantation loblolly pine after thinning: Pap. Frontiers of Forest Biology: Proceedings of the joint Meeting of the North American Forest Biology Workshop and the Weste Forest Genetics Association. 1998. Pt. 2 // Sustainable Forest. 2000. Vol. 10, N 3-4. S. 295–305.

Поступила 19.05.15

UDC 630* : 582.475

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.44

Viability Evaluation of Spruce in a Bilberry Birch Forest in the Process of Its Developmental Age

V.N. Konovalov¹, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

L.V. Zarubina², Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: v.konovalov@narfu.ru

²Vologda State Diary Farming Academy by N.V. Vereshchagin, Schmidt str., 2, Molochnoe, Vologda region, 160555, Russian Federation; e-mail: Liliva270975@yandex.ru

The paper studies the dynamics of physiological and growth processes of understory spruce at the age changing of a bilberry birch forest. The growth and formation of spruce populations are caused by a joint ontogeny of the secondary forest (birch) growth and restoring population

of spruce, and a leaf canopy density. In the initial stages of birch stand growing the rate of physiological processes and the growth of spruce largely depend on the environmental factors. The increment of terminal shoots and the intensity of physiological processes of the spruce undergrowth reach the maximum values in a birch forest of 6–8 years of age in the early stages of hardwood stocking. In a birch forest of this age the intensity of photosynthesis in the spruce undergrowth is higher by a factor of 3–4 than under the canopy of a mature stand. Under these conditions, the spruce water exchange and the root system are more intense. With further developmental age of a birch stand at the formation of the upper leaf canopy and deteriorating of light conditions the physiological and growth activity of understory spruce begins to weaken. Already in the 13-year-old birch forest the spruce undergrowth experiences a negative environmental impact from birch. A total biological oppression of spruce by birch begins from the age of 20–25 years, which continues until the period of spruce releasing into the first story. Despite the high pigment content, the rate of photosynthesis in the spruce undergrowth in plantations of this age does not exceed 5...8 mg CO₂/(g·h), which is 3–4 times lower than in the 8-year-old birch forest, and considerably less than in the 13-year-old plantation. To improve the condition of spruce and increase its biological stability it is necessary to facilitate the timely implementation of thinning. At the birch age of 20–25 years it is required to carry out the lightening of spruce. In mature stands it is advisable to start the first gradual felling at the age of 50...60 years, the second – in 8...10 years.

Keywords: young spruce, forming birch forest, physiological process, light regime.

REFERENCES

1. Alekseev V.A. *Svetovoy rezhim lesa* [Forest Light Regime]. Moscow, 1975. 280 p.
2. Belyaeva N.V. Otsenka zhiznennogo sostoyaniya populyatsiy podrosta eli na partsel-yarnom urovne [Assessment of the State of Life of the Spruce Populations Undergrowth on the Cropping Level]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, 2013, no. 35, pp. 38–41.
3. Belyaeva N.V., Gryaz'kin A.V. *Osobennosti struktury podrosta eli posle sploshnykh rubok: nauch. obozrenie* [Features of the Structure of Spruce Undergrowth After Clear Cutting: Scientific Review]. St. Petersburg, 2013, no. 35, pp. 19–24.
4. Belyaeva N.V., Kazi I.A., Ishchuk T.A. Vliyanie rubok ukhoda raznoy intensivnosti na poyavlenie podrosta eli na vyrubkakh i pod pologom lesa [Influence of Thinning of Varying Intensity on the Spruce Undergrowth in the Clearings and Under the Canopy of the Forest]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1985, no. 3, pp. 7–14.
5. Bogatyrev Yu.G., Vasil'eva I.N. Vodnyy rezhim pochv i podrosta eli na vyrubkakh i pod pologom lesa [Water Regime of Soils and Spruce Undergrowth in the Clearings and Under the Forest Canopy]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1985, no. 2, pp. 16–25.
6. Val'ter O.A., Pinevich L.M., Varasova N.N. *Praktikum po fiziologii rasteniy s osnovami biokhimii* [Workshop on Plant Physiology with the Fundamentals of Biochemistry]. Moscow; Leningrad, 1957. 341 p.
7. Voznesenskiy L.V., Zalenskiy O.V., Semikhatova O.A. *Metody issledovaniya fotosinteza i dykhaniya rasteniy* [Methods of Study of Photosynthesis and Respiration of Plants]. Moscow; Leningrad, 1965. 305 p.
8. Golovko T.K. *Dykhaniye rasteniy. Fiziologicheskie aspekty* [Breath of Plants. Physiological Aspects]. St. Petersburg, 1999. 204 p.
9. Grigor'eva A.A. Otsenka sostoyaniya podrosta eli pod pologom drevostoev v raznykh tipakh lesa [Assessment of Spruce Undergrowth under the Canopy of Stands in

Different Forest Types]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo lesotekhnicheskogo universiteta*, 2008, no. 183, pp. 7–13.

10. Druzhinin F.N., Postovskiy A.S. Lesovodstvennaya effektivnost' dlitel'no-postepennykh rubok v Vologodskoy oblasti [Silvicultural Efficiency of Two-Pass Cutting Systems in the Vologda Region]. *Vestnik KrasGAU* [the Bulletin of KrasGAU], 2014, no. 2, pp. 131–136.

11. Zarubina L.V. Sostoyanie estestvennogo vozobnovleniya eli v melkolistvennykh lesakh na Severe Rossii [Natural Regeneration of Spruce in Small-Leaved Forests in the North of Russia]. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 3, pp. 52–65.

12. Zarubina L.V., Konovalov V.N. Vliyaniye prorezhivaniya i azota na sezonnyuyu dinamiku dykhaniya korney sosny i eli [Impact of Thinning and Nitrogen on Seasonal Dynamics of Pine and Spruce Root Respiration]. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 1, pp. 100–114.

13. Zarubina L.V., Konovalov V.N. Vliyaniye rubok ukhoda na fotosintez i ottok ^{14}C -assimilyatov u podrosa eli v bereznyakakh chernichnykh [Influence of Thinning on Photosynthesis and the Outflow of ^{14}C -Assimilates of Spruce Undergrowth in Bilberry Birch Forests]. *Vestnik Pomorskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki*, 2011, no. 3, pp. 49–54.

14. Zarubina L.V., Konovalov V.N. *Ekologo-fiziologicheskie osobennosti eli v bereznyakakh chernichnykh* [Ecological and Physiological Features of Spruce in Bilberry Birch Forests]. Arkhangelsk, 2014. 378 p.

15. Ivanov L.A., Silina A.A., Tsel'niker Yu.L. O metode bystrogo vzveshivaniya dlya opredeleniya transpiratsii v estestvennykh usloviyakh [The Method of Rapid Weighing to Determine the Transpiration Under Natural Conditions]. *Botanicheskiy zhurnal*, 1950, vol. 35, no. 2, pp. 171–185.

16. Karpov V.G. *Faktory regulyatsii ekosistem elovykh lesov* [Factors of Ecosystems Regulation of Spruce Forests]. Leningrad, 1983. 318 p.

17. Konovalov V.N., Zarubina L.V. *Ekologo-fiziologicheskie osobennosti khvoynykh na udobrennykh pochvakh* [Ecological and Physiological Features of Conifers on Fertilized Soils]. Arkhangelsk, 2011. 338 p.

18. Laysk A.Kh. Sootvetstvie fotosinteziruyushchey sistemy usloviyam sredy [Compliance of the Photosynthetic System to the Environmental Conditions]. *Fiziologiya fotosinteza* [Physiology of Photosynthesis]. Moscow, 1982, pp. 221–234.

19. Mel'nikov E.S., Belyaeva N.V. Funktsional'nye izmeneniya v lesnom biogeotsenoze posle kompleksnykh ukhodov za lesom [Functional Changes in the Forest Ecosystems After the Forest Total Care]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2008, no. 8, pp. 22–29.

20. Mokronosov A.T. Donorno-aktseptornye otnosheniya v ontogeneze rasteniy [Donor-Acceptor Relationship in Plant Ontogenesis]. *Fiziologiya fotosinteza* [Physiology of Photosynthesis]. Moscow, 1982, pp. 235–250.

21. Pomazenyuk V.A., Zalesov A.S., Magosumova A.G. Vliyaniye polostno-postepennykh rubok na lesovozobnovlenie v proizvodnykh bereznyakakh Novolyainskogo leskhozha [The Impact of the Gradual Cuttings on Reforestation in the Secondary Growth Birch Forests in the Novolyainsk Forestry]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2012, vol. 30, no. 3–4, pp. 303–306.

22. Ron'zhina E.S., Mokronosov A.T. Donorno-aktseptornye otnosheniya i uchastie tsitokininov v regulyatsii transporta i raspredeleniya organicheskikh veshchestv v rasteniyakh [Donor-Acceptor Ratio, and Cytokinins in the Regulation of Transport and Distribution of Organic Matters in Plants]. *Fiziologiya rasteniy*, 1994, vol. 41, no. 3, pp. 448–459.

23. Sarnatskiy V.V. *El'niki: formirovanie, povyshenie produktivnosti i ustoychivosti v usloviyakh Belorusi* [Spruce Forests: Formation, Increasing of Productivity and Sustainability in Belarus]. Minsk, 2009. 240 p.
24. Semenenko V.E. Mekhanizmy endogennoy regulyatsii fotosinteza i adaptivnye svoystva khloroplasta [Mechanisms of Endogenous Regulation of Photosynthesis and Adaptive Properties of Chloroplast]. *Fiziologiya fotosinteza* [Physiology of Photosynthesis]. Moscow, 1982, pp. 164–187.
25. Sudnitsina T.N. Vliyanie rubok na morfostrukturu khvoi, rost i azotnoe pitanie sokhranennogo podrosta eli v bereznyakakh yuzhnoy taygi [Effect of Logging on the Needles Morphostructure, Growth and Nitrogen Nutrition of the Saved Spruce Undergrowth in Birch Forests of the Southern Taiga]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2006, no. 4, pp. 61–67.
26. Sudnitsina T.N., Ozrina R.D. Osobennosti azotnogo i uglerodnogo pitaniya podrosta eli pri adaptatsii ego k usloviyam vyrubok [Features of Nitrogen and Carbon Nutrition of Spruce Undergrowth in Adapting It to the Felling Conditions]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1983, no. 4, pp. 19–30.
27. Tarchevskiy I.A. *Osnovy fotosinteza* [Fundamentals of Photosynthesis]. Moscow, 1970. 253 p.
28. Fedorets N.G. *Transformatsiya azota v pochvakh lesnykh biogeotsenozov Severo-Zapada Rossii*: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk [The Nitrogen Transformation in Soils of the Forest Ecosystems of the North-West of Russia: Dr. Biol. Sci. Diss. Abs.]. St. Petersburg, 1997. 41 p.
29. Tsel'niker Yu.L. *Fiziologicheskie osnovy tenevynoslivosti drevesnykh rasteniy* [Physiological Basis of Woody Plants Shade Tolerance]. Moscow, 1978. 215 p.
30. Tsel'niker Yu.L. Dykhanie korney i ego rol' v uglerodnom balanse drevostoya [Root Respiration and Its Role in the Carbon Balance of the Forest Stands]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2005, no. 6, pp. 11–18.
31. Shlyk A.A. Opredelenie khlorofillov i karotinoidov v ekstraktakh zelenykh list'ev [Determination of Chlorophylls and Carotenoids in Extracts of Green Leaves]. *Biokhimicheskie metody v fiziologii rasteniy* [Biochemical Methods in Plant Physiology]. Moscow, 1971, pp. 154–169.
32. Yuzbekov A.K., Zamolodchikov D.G., Ivashchenko A.N. Fotosintez u eli evropeyskoy v lesnykh ekosistemakh eksperimental'nogo poligona "Log Tazhnyy" [Photosynthesis of Norway Spruce in the Forest Ecosystems of the Demonstration Trail "Log Tazhnyy"]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya* [Moscow University Biological Sciences Bulletin], 2014, no. 4, pp. 32–35.
33. Lechowski Z., Bialczyk J. Fotoinaktywacja Procesu Fotosyntezy. *Wiad. Bot.*, 1989, vol. 33, no. 4, pp. 153–170.
34. Lieffers V.J., Messier C., Stadt K.J., Gendron F. et al. Predicting and Managing Light in the Understory of Boreal Forests. *Can. J. Forest Res.*, 1999, vol. 29, no. 6, pp. 796–811.
35. Lieffers V.J., Stadt K.J. Growth of Understory *Piceaglauca*, *Calamagrostiscanadensis*, and *Epilobiumangustifolium* in Relation to Overstory Light Transmission. *Can. J. Forest Res.*, 1994, vol. 24, no. 6, pp. 1193–1198.
36. Sword M.A., Kuehler E.A., Tang Z. Seasonal Fine Root Carbohydrate Relations of Plantation Loblolly Pine After Thinning. *Sustainable Forestry*, 2000, vol. 10, no. 3–4, pp. 295–305.

Received on May 19, 2015

УДК 581.1:582.475:581.45

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.61

ДИНАМИКА ВОДООБМЕНА ХВОИ СОСНЫ В РАЗНЫХ ПОДЗОНАХ ТАЙГИ

С.Н. Сенькина, канд. биол. наук, ст. науч. сотр.

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 167610; e-mail: senkina@ib.komisc.ru

Одним из параметров, который управляет продукционным процессом и формированием древостоев таежной зоны, является влагообеспеченность. Комплексная оценка водообмена включает в себя ряд показателей, характеризующих содержание и дефицит влаги в хвое, а также интенсивность расхода воды посредством транспирации. Рассмотрены результаты наблюдений за водным режимом хвои деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в сфагновых сосняках средней и северной подзон тайги. Установлены закономерности временной организации процессов водного обмена, выявлены взаимосвязи с другими физиологическими процессами и факторами внешней среды. Исследования водного режима сосны на территории Республики Коми проводились ранее только в сосняках зеленомошной группы типов леса средней подзоны тайги. Целью данной работы было изучить и дать сравнительную характеристику водообмена заболоченных сосняков сфагновых. Исследования выполняли с 2008 г. по 2011 г. Показатели водного режима хвои сосны измеряли с помощью традиционных методов полевых экофизиологических исследований с применением газоанализатора Li-Cor 6400. В период, когда проводили суточные наблюдения (июль), процесс транспирации не прекращался в течение суток. В сосняке сфагновом в ночное время отмечается невысокая зависимость интенсивности транспирации от освещенности, в то время как в сосняке осоково-сфагновом (северная тайга) между данными параметрами есть тесная корреляция. Это связано с тем, что в северной тайге вегетационный период отстает примерно на 2 недели. В это время здесь наблюдаются «белые ночи», и сумма солнечной радиации в ночные часы превышает таковую в средней подзоне тайги почти в 2 раза. В течение суток в средней подзоне тайги разброс коэффициентов транспирации (отношение интенсивности транспирации к интенсивности фотосинтеза) имеет более широкий диапазон, чем в северной, что свидетельствует о тесной зависимости этих процессов от внешних факторов в сосняке сфагновом (средняя тайга). Оводненность хвои в исследуемых сосняках близка к полной ее влагоемкости. Водный дефицит хвои в сосняках обоих типов находится в пределах 16...18 %. В целом фотосинтетический аппарат сосны обыкновенной в заболоченных сосновых фитоценозах характеризуется стабильным содержанием влаги и небольшим водным дефицитом. Изменения интенсивности транспирации и фотосинтеза в течение суток в них аналогичны.

Ключевые слова: Европейский Север, хвойные фитоценозы, хвоя сосны, интенсивность транспирации, экологические факторы.

Устойчивость лесных сообществ в условиях Севера во многом определяется динамикой физиологических процессов, которые протекают в древесных рас-

тениях и зависят от лесорастительных условий места произрастания. Никакой другой фактор не играет такой важной роли в жизни растений и формировании растительного покрова, как влага [25, 26]. Основные факторы внешней среды, влияющие на интенсивность водного обмена при достаточной почвенной влагообеспеченности, – активность солнечной радиации, температура и влажность воздуха [17, 21, 22]. По степени значимости и информативности одним из главных показателей водного обмена является транспирация, как важнейшее звено в цепи обменных процессов, играющих существенную роль в формировании древостоев таежной зоны [1, 8].

На Европейском Северо-Востоке сосновые леса занимают четвертую часть лесопокрытой площади и стоят на втором месте после ельников. В средней подзоне тайги сфагновые типы сосновых лесов составляют 26,3 %, в северной – 37,3 % [4, 5, 16].

Исследования водного режима сосны на территории Республики Коми проводились нами ранее только в сосняках зеленомошной группы типов леса средней подзоны тайги, развитых на автоморфных подзолистых почвах [24]. В связи с этим целью работы было исследовать и дать сравнительную характеристику водообмена заболоченных (сфагновых) сосняков средней и северной подзон тайги.

Материалы и методы

Исследования проводили на территории Ляльского (62°17' с.ш. и 50°40' в.д.) и Зеленоборского (64°30' с.ш. и 55°30' в.д.) стационаров Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Ляльский стационар находится на территории Княжпогостского района Республики Коми. И.В. Забоевой [11] здесь выделены подзолистые (занимают почти 80,0 %), болотно-подзолистые и торфяно-болотные типы почв. Гидротермические свойства почв обеспечивают активную жизнедеятельность корней в верхнем (60 см) слое. Влагозапасы теплого периода держатся в доступной форме [12]. Периодическое снижение влажности в верхней части органического горизонта почвы не оказывает отрицательного влияния на водный режим ввиду значительных запасов влаги в минеральной части почвы.

Вегетационный период в этом районе длится приблизительно 142 дня. В течение мая–сентября выпадает почти половина годовой нормы осадков (332 из 693 мм). Коэффициент увлажнения равен 1,6. Средняя месячная температура января составляет –15,2 °С, июля – +16,3 °С [4, 10].

Зеленоборский стационар расположен в южной части Печорского административного района Республики Коми, в подзоне северной тайги. Территория стационара входит в Ижмо-Печорский округ северотаежной подзоны глеево-подзолистых почв [3]. В условиях северной тайги почвы полностью оттаивают в первой-второй декадах июня, однако их прогревание происходит медленно. В сфагновых сосняках верхние слои почвы обычно большую часть вегетационного периода находятся в зоне затопления [5].

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев								
Тип леса (подзона)	Состав древостоя	Возраст, лет	Количество деревьев, шт./га	Бонитет	Полнота	Средние		Тип почвы
						диаметр, см	высота, м	
Сосняк сфагновый (средняя)	10Сед.Б	50...60	700	III	0,7	24	16	Торфянисто-подзолисто-глебовая Торфяно-глебовая иллювиально-гумусово-железистая на песках, подстилаящая суглинками [9]
	9С1Е+Б	70	1933	V	0,8	11	10	
	С	40	87			10	10	

Вегетационный период длится приблизительно 121 дн. Количество осадков в среднем за год составляет 642 мм, из них 417 мм выпадает в теплый период (апрель–октябрь). Коэффициент увлажнения 2,4. Средняя температура января составляет $-17,9^{\circ}\text{C}$, июля – $+14,6^{\circ}\text{C}$ [10].

Исследования проводили с 2008 г. по 2011 г. В качестве объектов исследования выступали деревья сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающие в сфагновых типах леса средней и северной подзон тайги. Таксационная характеристика древостоев приведена в табл. 1. Травяно-кустарничковый ярус на изучаемом объекте в средней тайге представлен черникой, брусникой, осокой, единично встречаются морозка и хвощ. Моховой покров почти сплошь образован сфагновыми мхами, встречается также кукушкин лен (*Polytrichum commune* Hedw.). В северной тайге видовой состав травяно-кустарничкового яруса отличается большим разнообразием: черника, брусника, голубика, клюква, багульник, водяника, морозка, осока, кассандра. Из мхов преобладают сфагновые, встречаются также пятна плеурициума (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.) и *Polytrichum commune* Hedw.

Измерение транспирации проводили с помощью газоанализатора Li-Cor 6400 на интактных побегах с хвоей второго года жизни из средней части кроны дерева. Этим же прибором фиксировали температуру и влажность воздуха, солнечную радиацию, устьичную проводимость и интенсивность фотосинтеза. Общее содержание воды в хвое определяли термовесовым методом, посредством высушивания ее в сушильном шкафу при температуре $100...105^{\circ}\text{C}$ в течение 24 ч. Оводненность выражали в процентном отношении к общей сырой массе образца. Повторность опытов 2–3-кратная. Водный дефицит хвои определяли как разность между наибольшим содержанием воды после насыщения и реальным ее содержанием в хвое. Водный потенциал измеряли компенсационным методом [18] с помощью рефрактометра марки УРЛ. Устьичное сопротивление оценивали расчетным путем [23]. Полученные данные обрабатывали с помощью стандартных статистических методов [14], а также компьютерных программ MS OFFICE EXCEL и STATISTICA.

Результаты и их обсуждение

В течение суток наиболее высокие значения интенсивности транспирации хвой сосны в средней подзоне тайги выявлены в период с 14 до 18 ч., в северной тайге – с 13 до 16 ч. (42,7 и 35,1 ммоль·м⁻²·с⁻¹ соответственно). Ночью интенсивность процесса значительно снижалась и составляла соответственно 12 и 8 % от дневной. Транспирация находится в тесной зависимости от таких факторов внешней среды, как солнечная радиация, температура и влажность воздуха. На рис. 1 хорошо видно, что в течение суток кривые изменения транспирации следуют за кривыми изменения перечисленных факторов, причем они практически идентичны в сосняках сфагновом и осоково-сфагновом.

В условиях средней подзоны тайги в период с 19 до 10 ч., отмечается довольно тесная зависимость интенсивности транспирации от температуры воздуха, в дневное время суток – лишь заметная связь. В сосняке осоково-сфагновом достаточно тесная корреляция с температурой воздуха установлена с 6 до 22 ч., в ночные часы она ослабевает. Плотные корреляционные отношения интенсивности транспирации с освещенностью в обоих сосняках выявлены в утренние и вечерние часы. В сосняке сфагновом в ночное время отмечается невысокая зависимость интенсивности транспирации от освещенности, в то время как в сосняке осоково-сфагновом между интенсивностью транспирации и освещенностью есть тесная корреляция. Это можно объяснить тем, что в северной тайге вегетационный период отстает примерно на 2 недели, в это время здесь наблюдаются «белые ночи», и сумма солнечной радиации в ночные часы превышает таковую в средней подзоне тайги почти в 2 раза. Наибольшая связь между интенсивностью транспирации и дефицитом водяного пара в воздухе (влажность воздуха) отмечается в вечерние и ночные часы (табл. 2). В целом за все годы наблюдений в северной и средней подзонах тайги нами выявлены тесные связи с освещенностью (коэффициент корреляции $R = +0,9 \pm 0,1$ и $+0,8 \pm 0,1$) и температурой воздуха ($R = +0,9 \pm 0,1$ и $+0,7 \pm 0,2$). Зависимость интенсивности транспирации от влажности воздуха – средняя, причем в северной тайге она сильнее в 2 раза ($R = +0,3 \pm 0,2$ и $+0,6 \pm 0,2$), несмотря на то, что влажность воздуха в обоих сосняках в период наблюдений держалась на одном и том же уровне (56...73 %). Видимо, особое значение в суточном ходе транспирации играет как совокупное действие метеофакторов, так и внутренняя регуляция этого процесса самим растением.

Таблица 2

**Корреляция между интенсивностью транспирации и метеофакторами
в течение суток**

Время суток	Температура воздуха	Влажность воздуха	Освещенность
6...10 ч. (утро)	1,0±0,001 / 0,7±0,3	0,1±0,4 / -0,5±0,3	0,9±0,1 / 0,9±0,1
11...18 ч. (день)	0,5±0,3 / 0,8±0,1	-0,2±0,3 / -0,6±0,2	0,5±0,3 / 0,4±0,3
19...22 ч. (вечер)	0,9±0,1 / 1,0±0,001	-0,8±0,2 / -1,0±0,02	0,9±0,1 / 1,0±0,01
23...5 ч. (ночь)	1,0±0,3 / 0,5±0,3	-0,8±0,2 / 0,8±0,2	-0,1±0,4 / 1,0±0,01

Примечание. В числителе приведены данные для сосняка сфагнового, в знаменателе – для осоково-сфагнового.

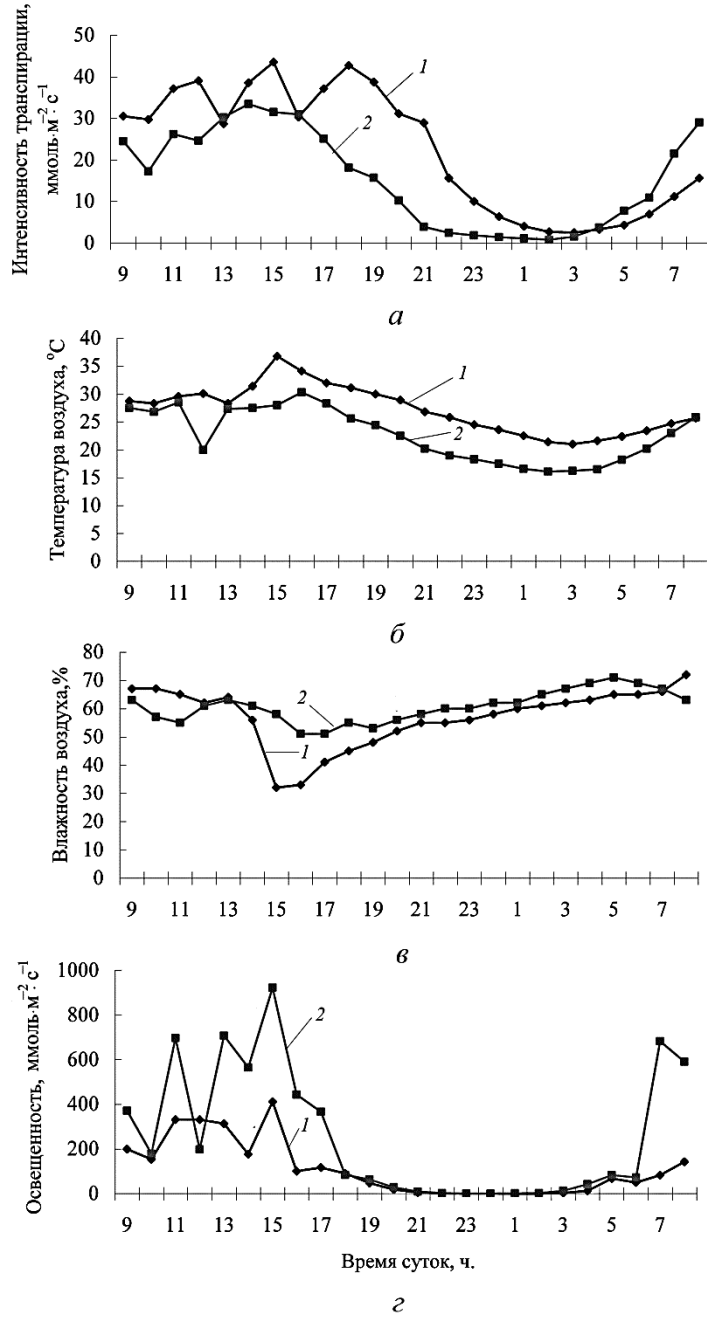


Рис. 1. Суточный ход интенсивности транспирации хвои сосны и основных метеофакторов: а – интенсивность транспирации; б – температура; в – влажность воздуха; г – освещенность; 1 – сосняк сфагновый; 2 – сосняк осоково-сфагновый

В растительных организмах для обеспечения оптимального функционирования физиологической системы создаются специфические механизмы, которые поддерживают их работу несмотря на изменение внешних условий [2]. Так, интенсивность транспирации во многом регулируется движением устьиц. Регуляция происходит на уровне целого растения. Результаты одновременного наблюдения за ходом транспирации, фотосинтеза, устьичной проводимости и устьичного сопротивления в течение суток показаны на рис. 2.

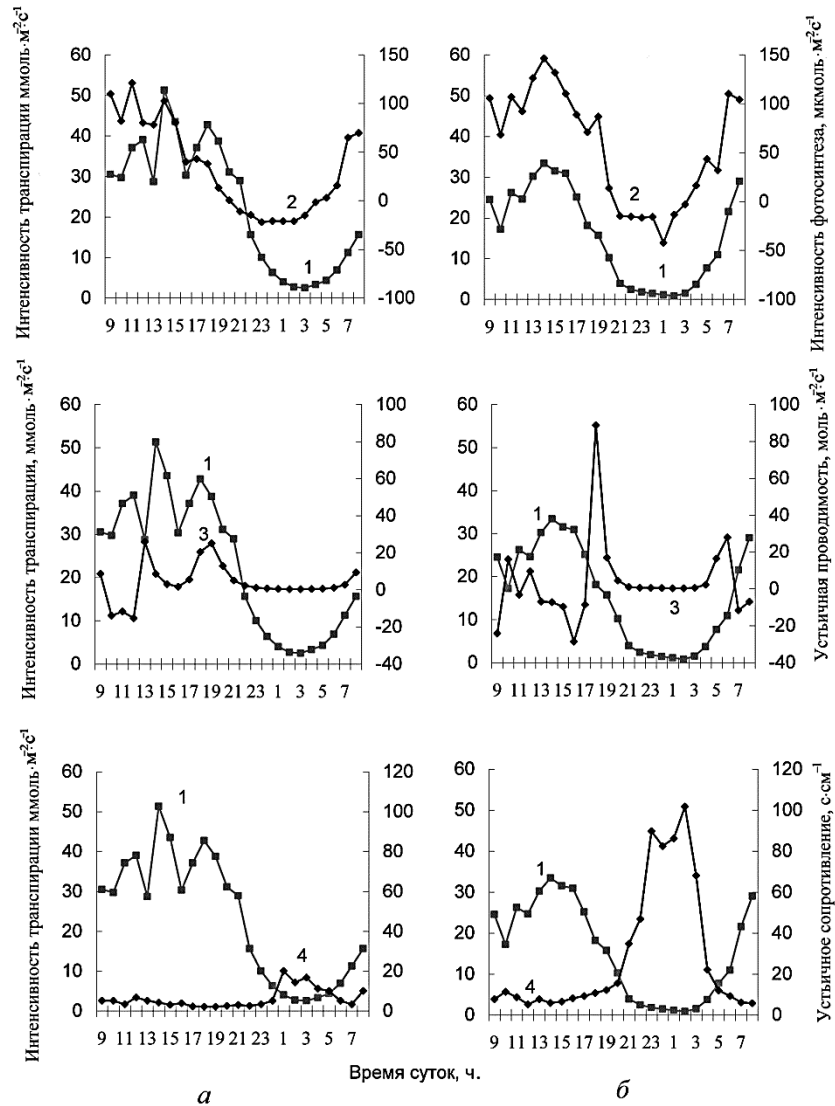


Рис. 2. Суточный ход интенсивности транспирации хвои сосны (1), интенсивности фотосинтеза (2), устьичной проводимости (3) и устьичного сопротивления (4): а – сосняк сфагновый; б – сосняк осоково-сфагновый

Фотосинтез и транспирация – взаимосвязанные процессы, зависящие от диффузионного сопротивления листа. Любой фактор внешней среды, ускоряющий газообмен листа, одновременно ускоряет и транспирацию. Обычно взаимосвязь фотосинтеза и транспирации выражают через коэффициент транспирации, т. е. отношение интенсивности транспирации к интенсивности фотосинтеза [11, 15]. Подсчитанные коэффициенты транспирации в двух типах сосняков показывают, что в течение суток в средней подзоне тайги разброс коэффициентов имеет более широкий диапазон (0,1...3,0), чем в северной (0,03...0,9). Это свидетельствует о более тесной зависимости данных процессов от внешних факторов в сосняке сфагновом. Устьичное сопротивление является практически единственной характеристикой, объясняющей механизм биологической регуляции переноса водяного пара от растения в атмосферу. Основным фактор, влияющий на устьичное сопротивление, – степень открытости устьичных отверстий, которая контролируется в значительной мере интенсивностью света и водным потенциалом листьев, в меньшей – влажностью воздуха и концентрацией углекислого газа (CO_2) [6, 13]. Как видно из рис. 2, в сосняке сфагновом с 9 до 22 ч. наблюдается многовершинный характер интенсивности транспирации, кривая фотосинтеза имеет более сглаженный характер. Устьичная проводимость в этот период времени варьирует от 1,6 до 25,9 моль·м⁻²·с⁻¹, причем с 10 до 12 ч. значения были отрицательными, возможно, за счет повышенной влажности воздуха. Устьичное сопротивление колеблется от 1,5 до 6,7 с·см⁻¹. В период с 23 до 8 ч. кривые транспирации и фотосинтеза плавные, без видимых пиков. Интенсивность транспирации снижается до 3 ч., затем увеличивается, не достигая нулевых значений. Интенсивность фотосинтеза с 21 до 4 ч. утра имеет отрицательные значения, возможно, в это время происходит процесс дыхания. Проводимость устьиц незначительная, она начинает увеличиваться к 8 ч. утра. Устьичное сопротивление также невелико, исключением является период с 1 до 4 ч. (11...20 с·см⁻¹). В условиях северной тайги в сосняке осоково-сфагновом кривые интенсивности транспирации и фотосинтеза в течение суток идентичны. Процесс транспирации происходит круглосуточно, дыхание приходится на период с 21 до 3 ч. Устьичная проводимость с 7 до 17 ч. имеет отрицательные значения, однако интенсивность транспирации в это время выше, чем в то время, когда проводимость была положительной. С устьичным сопротивлением связь более выраженная: при маленьком сопротивлении интенсивность транспирации выше, с повышением устьичного сопротивления интенсивность транспирации снижается. В северной подзоне тайги коэффициенты корреляции транспирации хвой сосны составили: с фотосинтезом – $R = +0,8 \pm 0,2$, с устьичной проводимостью – $R = -0,3 \pm 0,3$, с устьичным сопротивлением – $R = -0,8 \pm 0,2$, в средней подзоне – соответственно $+0,7 \pm 0,1$; $+0,3 \pm 0,2$; $-0,6 \pm 0,2$.

Недостаток влаги в растении изменяет характер многих протекающих в нем физиологических процессов. Оводненность хвой второго года жизни в сосняке сфагновом колеблется от 47 до 58 %, в сосняке осоково-сфагновом – от 52 до 54 %, при этом влагоемкость хвой в обоих сосняках примерно одинакова и составляет порядка 57 %.

Таким образом, средняя оводненность хвои в исследуемых сосняках близка к полной ее влагоемкости. Значения водного дефицита хвои, который отражает количество свободной воды, расходуемой на транспирацию, в сосняках обоих типов находится в пределах 16...18 %. Для сравнения, в зеленомошном сосняке черничном средней подзоны тайги оводненность хвои второго года жизни составляет 50...55 %, водный дефицит – 15...20 %. Было установлено, что коэффициенты корреляции между оводненностью и интенсивностью транспирации, температурой и влажностью воздуха низкие и составляют от $+0,1 \pm 0,01$ до $+0,5 \pm 0,1$, т. е. связь между ними умеренная. Водный дефицит характеризуется более существенной зависимостью от перечисленных выше факторов: R варьирует от $+0,2 \pm 0,1$ до $+0,8 \pm 0,2$.

Градиенты водного потенциала создают движущую силу во всей системе почва–растение–атмосфера. Как показали проведенные исследования, водный потенциал хвои второго года жизни сосны в сосняке сфагновом колеблется от $-1,6$ до $-1,8$ МПа, в сосняке осоково-сфагновом – от $-1,8$ до $-2,2$ МПа. Нужно отметить, что в зеленомошных сосняках значения этого показателя в средней тайге изменяются в тех же пределах, что и в сосняках сфагновых [20]. Для сравнения, в условиях Карелии водный потенциал хвои сосны составляет $-0,7...-1,6$ МПа [19]. В таежной зоне водный потенциал хвои может варьировать от $-1,5$ до $-3,5$ МПа [7]. Ранее нами также было установлено, что между водным потенциалом и влажностью воздуха существует тесная обратная зависимость ($R = -0,8 \pm 0,2$). С интенсивностью транспирации коэффициент корреляции положительный ($R = +0,6 \pm 0,2$), что указывает на заметную связь между этими показателями.

Выводы

1. В течение суток период с наиболее интенсивной транспирацией в сосняке сфагновом (средняя подзона тайги) длится в течение 4 ч, в сосняке осоково-сфагновом (северная подзона тайги) он на 1 ч короче.
2. Максимальное значение интенсивности транспирации в средней подзоне тайги в 1,2 раза выше по сравнению с северной.
3. В обоих сосняках выявлены тесные связи интенсивности транспирации с температурой воздуха (0,7; 0,9) и освещенностью (0,8; 0,9).
4. В исследуемых сосняках процесс отдачи воды не прекращается круглосуточно и характеризуется высокими коэффициентами корреляции с фотосинтезом (0,7; 0,8) и устьичным сопротивлением ($-0,6$; $-0,8$).
5. Оводненность хвои в обоих типах сосняков имеет средние значения (53 %), которые близки к полной ее влагоемкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрашко В.И.* Водный режим сообществ еловых лесов: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 1998. 46 с.
2. *Баевский Р.М., Геллер Е.С.* О роли колебательных процессов в механизмах адаптации биологических систем // Метеорологические вопросы биоклиматики. М.: Наука, 1974. С. 162–166.

3. *Беляев С.В., Верхованцева Л.А., Попов В.А., Рубцов Д.М., Чебыкина Н.В.* Почвенно-географическое районирование Коми АССР // Изв. Коми филиала ВГО. 1960. Вып. 1. С. 21–35.
4. Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / Под ред. К.С. Бобковой, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2001. 280 с.
5. *Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
6. *Варлагин А.В., Выгодская Н.Н.* Влияние эколого-морфологических факторов на устьичное сопротивление ели европейской // Лесоведение. 1993. № 3. С. 48–60.
7. *Веретенников А.В.* Физиология растений с основами биохимии. Воронеж: ВГУ, 1987. 255 с.
8. *Веретенников А.В.* Физиология растений. Воронеж: ВГЛТА, 2002. 272 с.
9. *Верхованцева Л.А., Бобкова К.С.* Влияние почвенных условий на корневые системы древесных пород в еловых насаждениях подзоны северной тайги // Науч. докл. 1972. Вып. 6. 54 с.
10. *Галенко Э.П.* Фитоклимат и энергетические факторы продуктивности хвойного леса Европейского Севера. Л.: Наука, 1983. 128 с.
11. *Забоева И.В.* Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1975. 344 с.
12. *Забоева И.В.* Почвенно-экологические условия еловых сообществ // Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. СПб.: Наука, 2001. С. 112–131.
13. *Крамер П., Козловский Т.* Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 458 с.
14. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высш. шк., 1980. 293 с.
15. *Леопольд А.* Рост и развитие растений. М.: Мир, 1968. 496 с.
16. Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. М.: Дизайн. Информация. Картография, 1999. 332 с.
17. *Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.* Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-ть, 1974. 121 с.
18. *Максимов Н.А., Петин Н.С.* Определение сосущей силы листьев методом компенсации с помощью рефрактометра // Докл. АН СССР. 1948. Т. 62, № 4. С. 537–540.
19. *Сазонова Т.А., Придача В.Б.,* Жизнедеятельность хвойных растений в условиях Северо-Запада России // Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI в.: материалы Всерос. конф. Петрозаводск: Изд-во Карел. НЦ, 2008. С. 102–104.
20. *Сенькина С.Н.* Водный режим сосны и ели в фитоценозах Севера. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2013. 102 с.
21. *Феклистов П.А., Гош Е.Ф.* Динамика транспирации сосны и ее зависимость от внешних факторов // Проблемы экологии на Европейском Севере: сб. науч. тр. Архангельск: Изд-во АГТУ, 1992. С. 52–54.
22. *Хашес Ц.М.* К физиологии дневного ритма транспирации древесных растений // Экология. 1971. № 6. С. 52–54.
23. *Цельникер Ю.Л.* Физиологические основы теневыносливости древесных растений. М.: Наука, 1978. 125 с.
24. Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов Европейского Северо-Востока / Под ред. К.С. Бобковой. Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 1993. 174 с.
25. *Walter H.* Die Vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung. Die tropischen und subtropischen Zonen. Jena: VEB Gustav Fischer, 1964. Band 1. 592 S.

26. Walter H. Die Vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung. Die gemasigten und arktischen Zonen. Jena: VEB Gustav Fischer, 1968. Band 11. 1001 S.

Поступила 10.11.16

UDC 581.1:582.475:581.45

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.61

Dynamics of Water Exchange of Pine Needles in Different Taiga Subzones

S.N. Sen'kina, Candidate of Biological Sciences, Senior Research Officer

Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division of the Russian Academy of Sciences, Kommunisticheskaya str., 28, Syktyvkar, Komi Republic, 167610, Russian Federation; e-mail: senkina@ib.komisc.ru.

One of the parameters controlling the production process and the formation of the taiga zone stands is the moisture content. The integrated assessment of water exchange includes a number of indicators describing the content and limited needles water, and the water flow rate by transpiration. The results of observations of water regime of Scots pine needles (*Pinus sylvestris* L.) growing in sphagnum pine forests of the middle and northern taiga subzone are presented in the article. The regularities of the temporal organization of the processes of water exchange, the relationship with the other physiological processes and environmental factors are identified. The study of the water regime of pine on the territory of the Republic of Komi previously was carried out only in the pine forests of the *Piceetum hylocomiosum* forest type groups of the middle taiga subzone. The work objective was to investigate and give a comparative description of water exchange of waterlogged sphagnum pine forests. The research was conducted from 2008 to 2011. The measurements of the water regime of pine needles were carried out by conventional methods of ecophysiological field studies using a gas analyzer Li-Cor 6400. In the period of daily observations (July), the process of transpiration did not stop during a day. We registered a low dependence of the intensity of transpiration on a shade density in a sphagnum pine forest at night, and a close correlation in a sedge-sphagnum pine forest (northern taiga) between these parameters. This is due to the fact that the vegetation period in the northern taiga is behind by about two weeks. At this time there is a period of “white nights”, and the amount of solar radiation at night exceeds than that in the middle taiga subzone of almost twice. During the day the variation of transpiration coefficients (the ratio of transpiration rate to the rate of photosynthesis) in the middle taiga subzone has a wider range than in the North. This indicates a stronger dependence of these processes from external factors in the sphagnum pine forests (middle taiga). Needles water content in the investigated pine stands is close to its maximum water-holding capacity. Needles water deficit in the pine forests of both types is in the range of 16...18 %. In general, the photosynthetic apparatus of Scots pine in the waterlogged pine plant communities is characterized by stable moisture content and low water deficit. Changes in the intensity of transpiration and photosynthesis during the day have the same character.

Keywords: European North, coniferous plant community, pine needles, transpiration rate, environmental factors.

REFERENCES

1. Abrazhko V.I. *Vodnyy rezhim soobshchestv elovykh lesov*: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk [Water Regime of Spruce Forest Communities: Dr. Biol. Sci. Diss. Abs.]. St. Petersburg, 1998. 46 p.
2. Baevskiy R.M., Geller E.S. O roli kolebatel'nykh protsessov v mekhanizmax adaptatsii biologicheskikh sistem [On the Role of Oscillatory Processes in the Adaptation Mechanisms of Biological Systems]. *Meteorologicheskie voprosy biokibernetiki* [Meteorological Issues of Biocybernetics]. Moscow, 1974, pp. 162–166.
3. Belyaev S.V., Verkholantseva L.A., Popov V.A., Rubtsov D.M., Chebykina N.V. Pochvenno-geograficheskoe rayonirovanie Komi ASSR [Soil and Geographical Regionalization of the Komi ASSR]. *Izvestiya Komi filiala VGO*, 1960, no. 1, pp. 21–35.
4. *Bioproduktsionnyy protsess v lesnykh ekosistemakh Severa* [Biological and Production Process in the Forest Ecosystems of the North]. Ed. by K.S. Bobkova, E.P. Galenko. St. Petersburg, 2001. 280 p.
5. Bobkova K.S. *Biologicheskaya produktivnost' khvoynykh lesov Evropeyskogo Severo-Vostoka* [Biological Productivity of Coniferous Forests of the European North-East]. Leningrad, 1987. 156 p.
6. Varlagin A.V., Vygodskaya N.N. Vliyanie ekologo-morfologicheskikh faktorov na ust'ichnoe soprotivlenie eli evropeyskoy [Influence of Ecological and Morphological Factors on the Stomatal Resistance of Norway Spruce]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1993, no. 3, pp. 48–60.
7. Veretennikov A.V. *Fiziologiya rasteniy s osnovami biokhimii* [Plant Physiology with the Fundamentals of Biochemistry]. Voronezh, 1987. 255 p.
8. Veretennikov A.V. *Fiziologiya rasteniy* [Plant Physiology]. Voronezh, 2002. 272 p.
9. Verkholantseva L.A., Bobkova K.S. Vliyanie pochvennykh usloviy na kornevye sistemy drevesnykh porod v elovykh nasazhdeniyakh podzony severnoy taygi [Influence of Soil Conditions on Root Systems of Trees in Spruce Stands of the Northern Taiga Subzone]. *Nauch. dokl.* [Sci. Rep.], 1972, no. 6. 54 p.
10. Galenko E.P. *Fitoklimat i energeticheskie faktory produktivnosti khvoynogo lesa Evropeyskogo Severa* [Phytoclimate and Energy Factors of Productivity of Coniferous Forests of the European North]. Leningrad, 1983. 128 p.
11. Zaboeva I.V. *Pochvy i zemel'nye resursy Komi ASSR* [Soils and Land Resources of the Komi ASSR]. Syktyvkar, 1975. 344 p.
12. Zaboeva I.V. Pochvenno-ekologicheskie usloviya elovykh soobshchestv [Soil and Environmental Conditions of Spruce Communities]. *Bioproduktsionnyy protsess v lesnykh ekosistemakh Severa* [Biological and Production Process in the Forest Ecosystems of the North]. St. Petersburg, 2001, pp. 112–131.
13. Kramer P., Kozlovskiy T. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of Woody Plants]. Moscow, 1983. 458 p.
14. Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, 1980. 293 p.
15. Leopold A. *Rost i razvitie rasteniy* [The Growth and Development of Plants]. Moscow, 1968. 496 p.
16. *Lesy Respubliki Komi* [The Forests of the Republic of Komi]. Ed. by G.M. Kozubov, A.I. Taskaev. Moscow, 1999. 332 p.
17. Lir Kh., Pol'ster G., Fidler G. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of Woody Plants]. Moscow, 1974. 121 p.

18. Maksimov N.A., Petinov N.S. Opređenje sosushchey sily list'ev metodom kompensatsii s pomoshch'yu refraktometra [Determination of the Suction Force of the Leaves by the Compensation Method by a Refractometer]. *Dokl. AN SSSR* [Report of the USSR Academy of Sciences], 1948, vol. 62, no. 4, pp. 537–540.

19. Sazonova T.A., Pridacha V.B., Zhiznedeyatel'nost' khvoynykh rasteniy v usloviyakh Severo-Zapada Rossii [Vital Functions of Coniferous Plants in the North-West of Russia]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy botaniki v nachale 21 v. Materialy Vseros. Konf. Ch. 6* [Fundamental and Applied Problems of Botany at the Beginning of the 21st Century]. Proc. All-Rus. Conf. Part 6. Petrozavodsk, 2008, pp. 102–104.

20. Sen'kina S.N. *Vodnyy rezhim sosny i eli v fitotsenozakh Severa* [Water Regime of Pine and Spruce in the Plant Communities of the North]. Yekaterinburg, 2013. 102 p.

21. Feklistov P.A., Gosh E.F. Dinamika transpiratsii sosny i ee zavisimost' ot vneshnikh faktorov [The Dynamics of Transpiration of Pine and Its Dependence on External Factors]. *Problemy ekologii na Evropeyskom Severe* [Ecological Problems in the European North]. Arkhangelsk, 1992, pp. 52–54.

22. Khashes Ts.M. K fiziologii dnevnogo ritma transpiratsii drevesnykh rasteniy [By Physiology of the Diurnal Rhythm Transpiration of Woody Plants]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 1971, no. 6, pp. 52–54.

23. Tsel'niker Yu.L. *Fiziologicheskie osnovy tenevynoslivosti drevesnykh rasteniy* [Physiological Basis of Woody Plants Shade Tolerance]. Moscow, 1978. 215 p.

24. *Ekologo-fiziologicheskie osnovy produktivnosti sosnovykh lesov Evropeyskogo Severo-Vostoka* [Ecological and Physiological Bases of Pine Forests Productivity of the European North-East]. Ed. by K.S. Bobkova. Syktyvkar, 1993. 174 p.

25. Walter H. *Die Vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung. Die tropischen und subtropischen Zonen*. Jena, 1964. Band 1. 592 S.

26. Walter H. *Die Vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung. Die gemäßigten und arktischen Zonen*. Jena, 1968. Band 11. 1001 S.

Received on November 10, 2016

УДК 58.037

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.73

МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЕРЕВА

А.С. Холманский, д-р хим. наук, проф., ведущий науч. сотр.

Ю.М. Кожневиков, канд. техн. наук, зав. лаб.

Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства, 1-й Вешняковский проезд, д. 2, Москва, Россия, 109456;
e-mail: allexhol@yandex.ru

Исследовано влияние внешних условий (света, температуры) на эффективность генерации электрической энергии гальваническим элементом, образованным из пары металлических электродов, размещенных в деревьях различной породы и почве. Использовали электроды из железа, нержавеющей стали и меди. Изучали деревья разных пород (береза, липа, дуб, лиственница, сосна, ель) в Московской и Калужской областях. Разность потенциалов между деревом и почвой изменялась в течение суток от 0,1 до 0,7 В в зависимости от вида дерева и материала электрода. Электрод в дерево погружали на глубину примерно 2 см, в почву – на 15 см. Разность потенциалов не зависела от высоты расположения электрода в дереве и расстояния от него до электрода в почве. Максимальная эффективность генерации электричества в летнее время достигалась в полуденные часы на лиственных деревьях с применением электродов из железа (дерево) и меди (почва). Сделано заключение об ускорении солнечным светом кинетики окислительно-восстановительных реакций в электролите ксилемы с участием металла электрода. Более высокие значения разности потенциалов в лиственных деревьях по сравнению с хвойными связаны с различием химического состава их соков и более высокими значениями рН и диэлектрической постоянной в пасоке, чем в живице. Полученные результаты полезны для конструирования аккумуляторов электрической энергии деревьев, с помощью которых можно будет заряжать и питать маломощные электронные устройства: мобильные телефоны, датчики контроля параметров внешней среды (температуры, загазованности вредными веществами, ионизирующей радиации).

Ключевые слова: дерево, электрохимия, потенциал, гальванический элемент, солнечный свет.

Введение

Между надземной частью растения и почвой регистрируют устойчивую разность потенциалов [5, 8, 13] несмотря на то, что растение с поверхностью земли образует эквипотенциальную поверхность. В принципе, этот потенциал можно использовать для генерации электрической энергии, что особенно актуально для зарядки маломощной электроники в лесу [9, 12]. Возможности практического использования деревьев в альтернативной энергетике стимулируют исследования механизма биоэлектричества и конструирование электротехнических устройств, аккумулирующих электрохимическую энергию дерева и почвы [7, 10].

В настоящей работе в целях определения оптимальных условий для использования электрохимической энергии деревьев изучали зависимость разности потенциалов между деревом и почвой от породы дерева, материала электрода, температуры воздуха и времени суток.

Материалы и методы

Опыты проводили в лесах Московской и Калужской областей. Исследовали следующие деревья: береза, липа, дуб, лиственница, сосна, ель. Деревья одной породы имели разный возраст. Разность потенциалов (V), ток (I) и температуру (T) измеряли с помощью портативного тестера (MAS838), оснащенного термопарой. В качестве контактных электродов использовали железные гвозди (Fe) длиной 10...20 см; полоски из нержавеющей стали (НЖ) 2×10×150 мм; медную трубку (Cu) диаметром 2 см (толщина стенки 2 мм, длина 30 см). Гвоздь вбивали в дерево на глубину 1,5...2,5 см вплоть до твердых слоев древесины на высоте 70...80 см; различные электроды в почву погружали на глубину 15...20 см на расстоянии от ствола дерева $L = 20...30$ см. Измерения проводили круглые сутки с интервалами 3...4 ч в июне–сентябре 2013–2014 гг.

Результаты исследований

В дерево вбивали электроды двух типов: Fe и НЖ, в почву вводили электроды Fe, НЖ и Cu. Значения V между различными парами электродов для разных пород деревьев приведены в табл. 1. Изменения V липы для различных пар электродов во времени представлены на рис 1, 2. При неизменном положении Fe-электрода в березе более 2 сут на части электрода, находящейся в дереве, образовывался слой оксида темного цвета. Установлено, что V березы практически не изменялась при варьировании высоты Fe-электрода в дереве в пределах 10...100 см и расстояния между березой и Fe-электродом почвы в таких же пределах (табл. 2).

При замене Fe-электродов в дереве и почве на НЖ-электроды разность потенциалов имела тот же знак, но снижалась от ~ 0,2 В почти до 0 за 15 мин. Начальный ток в такой системе был мал (~ 10 мкА) и падал до 0 примерно за 3 с. Когда пара электродов Fe–Cu находилась во влажной почве на расстоянии 10 см друг от друга, то $V \sim 0,4$ В, тогда как в дереве эта величина была на 0,2...0,3 В выше. У полностью высохших деревьев разность потенциалов равнялась 0. У березового пня двухгодичной давности V возрастала в 1,5–2 раза при перемещении Fe-электрода от центра пня к периферийным слоям дерева, расположенным на расстоянии ~ 2 см от коры, достигая значений, близких к V для живого дерева (~ 0,3 В).

На электроде, находящемся в дереве, возникал отрицательный потенциал, на электроде, погруженном в почву, – положительный, при этом вольтметр показывал положительное значение V . Температура ксилемы липы на глубине 2,0...2,5 см днем была примерно на 5 °С ниже температуры воздуха и повторяла ее суточный ход (см. рис. 1).

Таблица 1

Разность потенциалов «дерево–почва» в парах с разными электродами

№ опыта	Дерево (диаметр ствола, см)	Время суток, ч.	Разность потенциалов, В, в парах		
			Fe–Fe	Fe–Cu	НЖ–Cu
1	Сосна (10...40)	7–22	0,16...0,37	0,63	0,13
		3	0,26	0,60	–
2	Лиственница (15...30)	7–22	0,11...0,34	0,64	0,25
		3	0,29	0,66	–
	Ель (15...25)	7–22	0,12...0,22	0,58	0,11
		3	0,20	0,57	–
3	Береза (10...30)	7–22	0,18...0,50	0,71	0,43
4	Дуб (20...70)	7–22	0,18...0,32	–	–

Таблица 2

Зависимость разности потенциалов и тока от расстояния между березой и электродом в почве

№ опыта	L, см	V, В	I, мкА
1	10	0,37	34
2	20	0,37	36
3	30	0,36	31
4	50	0,36	34
5	100	0,36	31

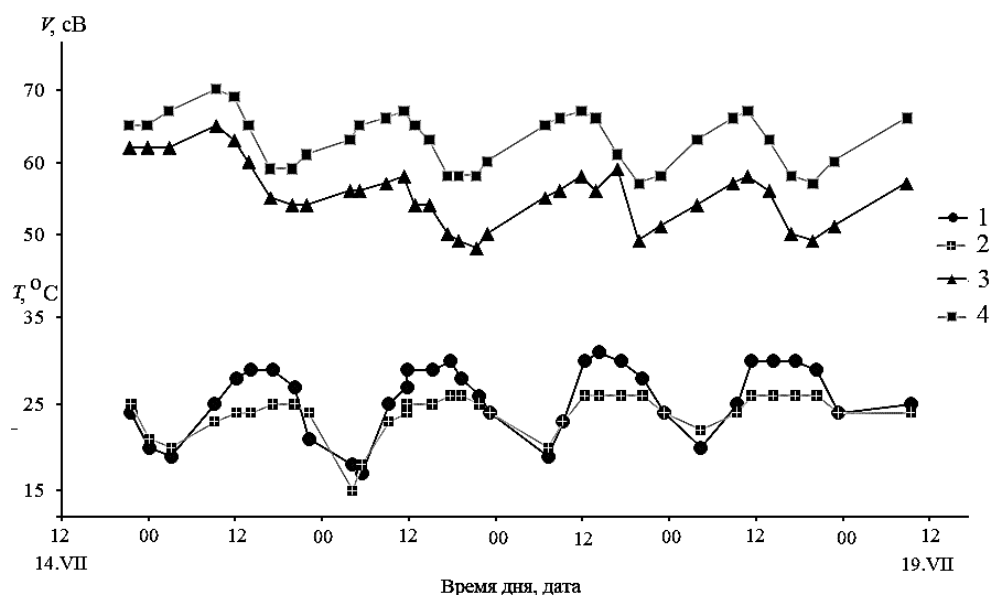


Рис. 1. Суточные изменения разности потенциалов (V, сВ) и температуры воздуха (T, °C) с 14 по 19 июля 2014 г. (дерево – липа, Калужская обл.): 1 – температура воздуха; 2 – температура ксилемы; 3 – Fe(дерево)–Cu(почва); 4 – НЖ(дерево)–Cu(почва)

Обсуждение результатов

Пара электродов «дерево–почва» образует гальванический элемент [1], в котором один электрод находится в электролите ксилемы, другой – в электролите почвы. Эти электролиты разделены полупроницаемой мембраной гидрофобной кутикулы корневой системы дерева. Запишем для пары электродов Fe–Cu гальванический элемент: {Fe|сок дерева||влага почвы|Cu}. Разность потенциалов будет зависеть от рН электролитов и электродного потенциала или от электрохимической активности металла [6]. Более активный металл (Fe) в нашем случае будет отрицательным электродом, менее активный (Cu) – положительным. Поток электронов потечет от отрицательного электрода к положительному. Взяв значения стандартных электродных потенциалов (E) для Fe ($E = -0,44$ В) и Cu ($E = +0,34$ В), можно вычислить электродвижущую силу (ЭДС) такого элемента:

$$\text{ЭДС} = E(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) - E(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = 0,34 - (-0,44) = 0,78 \text{ В.}$$

С полученным значением хорошо согласуются значения V для пары Fe–Cu (см. табл. 1).

Значения рН древесного сока, содержащего катионы H^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , близки к 6, что незначительно отличается от рН почвы, который для различных почв изменяется в диапазоне 6–8 [8]. Очевидно, из-за того, что пасока березы является более кислым электролитом, чем электролит почвы, разность потенциалов возрастает при переносе одного (Fe) электрода из почвы в дерево [11]. Наибольшее количество пасоки и живицы содержится в слоях камбия и заболони (до 80...90 % масс. [3]), поэтому метаболизм этих тканей будет наиболее чувствителен к эффектам поляризации во внешнем электрическом поле. Действительно, максимальные значения V наблюдаются при глубине погружения Fe-электрода в дерево, сравнимой с глубиной расположения камбия. Характер зависимости V и I во внешней цепи гальванического элемента от материала электрода и времени (t) позволяет заключить, что в основе механизма генерации V в элементе с Fe-электродами лежит процесс образования равновесного двойного слоя электрических зарядов на границе контакта {Fe|электролит} [6]. Положительный слой формируется из гидратированных катионов железа, выходящих из электрода, отрицательный – из избыточных электронов в электроде.

Жидкие среды дерева и почвы в силу неразрывности их водной фазы составляют единое целое, и скорость распространения фронта ее поляризации будет близка к скорости распространения электрического поля в среде с соответствующей диэлектрической постоянной. В полупроницаемой и поляризованной мембране корневой системы работают активные механизмы транспорта воды и минеральных солей, благодаря которым содержание воды и ионов в соке ксилемы повышается на 1-2 порядка по сравнению с почвой [4]. Именно поэтому интенсивность процесса гидратации катионов железа и плотность заряда в двойном слое на электроде в дереве оказываются больше, чем на Fe-электроде в почве, что и обуславливает направление тока электронов в элементе. По этой же

причине разность потенциалов снижается при перемещении Fe-электрода из дерева в почву. Уменьшение равновесной плотности электронов в Fe-электроде в дереве при протекании тока по внешней цепи элемента восполняется выходом и гидратацией новых катионов железа в количестве, достаточном для восстановления зарядового равновесия в двойном слое на обоих электродах.

Окисление поверхности (коррозия) Fe-электрода снижает интенсивность процесса гидратации катионов железа, плотность зарядов в двойном слое уменьшается, что и приводит к неизбежному снижению V со временем (рис. 2). Генерация V в элементе с НЖ-электродами может идти по такому же механизму, но с участием примесных катионов на поверхности электродов. При этом отрицательных зарядов в электроде практически не образуется, на что и указывают низкий ток в таком элементе и быстрое его падение. Не исключено также, что потенциал и отрицательный заряд на НЖ-электроде образуются в процессе разрушения ткани дерева [2].

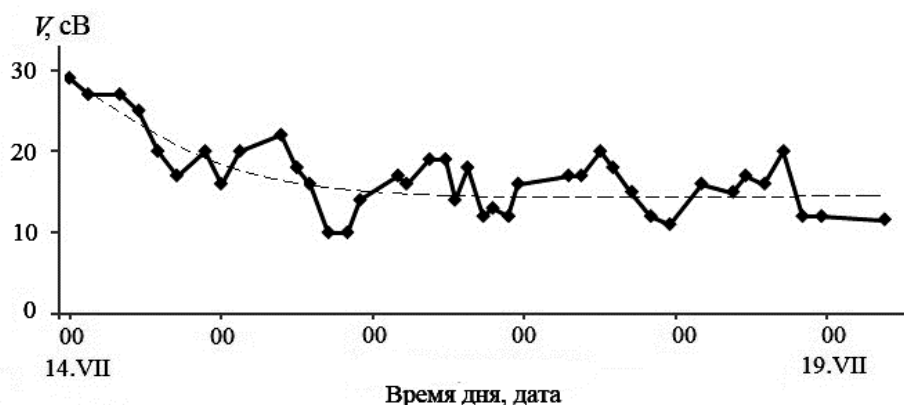


Рис. 2. Суточные изменения разности потенциалов для электродов Fe (дерево)–Fe (почва) с 14 по 19 июля 2014 г. (дерево – липа, Калужская обл.)

Из этих данных и информации о том, что значения V и I в элементе становятся максимальными сразу в момент замыкания цепи и не зависят от длины (сопротивления) «древесного» и «почвенного» участков цепи (табл. 2), следует, что в обоих электролитах ток не возникает, но происходит поляризация их жидкой фазы. Для исключения влияния электротонических токов отметим, что в растениях их значение в сотни раз меньше I (например, в корневых волосках – 0,1... 0,4 мкА). Кроме того, скорость движения зарядов, отвечающих за эти токи, будет лимитирована скоростью распространения потенциала действия, значение которой у растений составляет 0,08...0,5 см/с [4].

Известно [2], что поверхность почвы имеет отрицательный заряд, которому отвечает электрическое поле с вектором напряженности, ортогональным поверхности земли. Его значение составляет в среднем 150 В/м, однако в некоторых местах и при неустойчивых погодных условиях оно может

возрастать до ~ 1000 В/м [2]. Как отмечалось выше, поляризация жидкой среды растения во внешнем электрическом поле и ее влияние на метаболические процессы будут тем значимей, чем выше ее диэлектрическая постоянная. У березы ткань камбия насыщена пасокой, являющейся слабым электролитом с диэлектрической постоянной, близкой к воде ($\epsilon \sim 80$). У сосны в поверхностных тканях древесины (камбий, заболонь) жидкая среда включает практически равные количества воды и живицы. Основа живицы – скипидар, имеющий $\epsilon \sim 2$. Можно полагать, что среднее значение ϵ жидкой среды камбия хвойных деревьев будет существенно ниже, чем у лиственных. Поэтому поляризация во внешнем электрическом поле и ее влияние на метаболизм у лиственных деревьев (березы, дуба) будет на порядок сильнее, чем у хвойных (сосна, ель). Данный вывод согласуется с тем фактом, что V у лиственных пород, как правило, выше, чем у хвойных (см. табл. 1).

Анализ суточного хода V и T (см. рис. 1) показывает, что максимальное значение V наблюдается в полдень (12 ч.), когда освещенность почвы солнечным светом достигает максимума, минимальное – в районе 20–21 ч., тогда как T имеет максимум в районе 15–17 ч., минимум – в 5–7 ч. Этот результат согласуется с тем, что в полдень фотосинтез, а значит, и кинетика метаболизма в дереве достигает максимума, обеспечивая предельно высокую эффективность окислительно-восстановительных реакций между электролитами и Fe-электродом.

Заключение

Результаты исследований показали, что пара металлических электродов, имеющих разные электрохимические потенциалы, при размещении их в дереве и почве образует гальванический элемент. Эффективность генерации электрической энергии элементом зависит от времени суток и материала электрода. Данная зависимость более выражена для лиственных деревьев, чем для хвойных, и в случае применения пары электродов Fe–Cu. Суточный ход потенциала достигает максимума в полдень, что указывает на лимитирование эффективности процесса генерации зарядов в ксилеме фотосинтезом. Суточный ход температуры ксилемы повторяет ход температуры воздуха, и их максимумы синхронизованы с минимумами зависимости разности потенциалов. Можно полагать, что вечнозеленые хвойные деревья будут эффективно генерировать электрическую энергию и в зимнее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Витер В.Н. Гальванический элемент. Ч. 4 // Химия и химики. 2014. № 7. Режим доступа: http://chemistry-chemists.com/N7_2014 / ChemistryAndChemists_7_2014-P8-4.html.
2. Гордеев А.М., Шешнев В.Б. Электричество в жизни растений. М.: Наука, 1991. 160 с.

3. Крамер П.Д., Козловский Т.Т. Физиология древесных растений // Бонсай. Режим доступа: www.bonsai.ru/dendro/phcontent.html
4. Полевой В.В. Физиология растений. М.: Высш. шк., 1989. 464 с.
5. Холманский А.С. Адаптация деревьев к аномальным физическим факторам // Математическая морфология. Электронный математический и медико-биологический журнал. 2009. Т. 8, вып. 3. Режим доступа: <http://www.smolensk.ru/user/sgma/MMORPH/N-23-html/holmanskiy/holmanskiy.doc>
6. Шаталов А.Я. Введение в электрохимическую термодинамику. М.: Высш. шк., 1984. 216 с.
7. Gilbert D., Le Mouël J.-L., Lambs L., Nicollin F., Perrier F. Sap Flow and Daily Electrical Potential Variations in a Tree Trunk // Plant Science. 2006. Vol. 171. P. 572–584.
8. Hao Z., Li W., Kan J., Jiang L., Feng C. Bioelectricity in Standing Trees – A Potential Energy for Wireless Sensor Networks // Telkomnika. 2013. Vol. 11, N 8. P. 4841–4846.
9. Himes C., Carlson E., Ricchiuti R.J., Taylor D.W., Otis B., Parviz B.A. Using plants for directly powering nanoelectronic circuits // Nanotechnology Perceptions. 2010. Vol. 6. P. 29–40.
10. Love C.J., Zhang S., Mershin A. Source of sustained voltage difference between the xylem of a potted Ficus benjamina tree and its soil // PLoS ONE. 2008. Vol. 3, N 8. P. 2963.
11. Mamatha Ch., Mathew S. A natural battery based on lake water and its soil bank. Available at: www.ijevs.com
12. The Roots of Power. Available at: http://www.iop.org/activity/groups/subject/env/prize/file_52518.pdf
13. Tian H., Kan J., Xu Q., Zhang C., Jiang Z., Li Ya. A Measurement System of Electric Signals on Standing Trees // Sensors & Transducers. 2014. Vol. 162, Iss. 1. P. 215–220.

Поступила 16.03.15

UDC 58.037

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.73

Generation Mechanism of the Tree Electrochemical Potential

A.S. Kholmanskiy, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Leading Researcher

Yu.M. Kozhevnikov, Candidate of Engineering Sciences, Chief of Laboratory

All-Union Scientific Research Institute of Farm Electrification, 1st Veshnyakovskiy proezd, 2, Moscow, 109456, Russian Federation; e-mail: allexhol@yandex.ru

The paper presents the research results of the influence of external conditions (light, temperature) on the efficiency of electrical generation by a galvanic cell formed from of a pair of metal electrodes placed in trees of various species and the soil. We used the electrodes made of iron, stainless steel and copper. The trees of different species (birch, linden, oak, larch, pine, spruce) in Moscow and Kaluga regions were examined. The potential difference between a tree and the soil varied during the day from 0.1 to 0.7 V depending on the type of a tree and a material of an electrode. The electrode was immersed into a tree to a depth of ~ 2 cm, and into the soil at ~ 15 cm. The potential difference did not depend on the height of the location of the elec-

trode in the tree and the distance between it and the electrode in the soil. Maximum efficiency of electrical power generation in the summer time was achieved at midday on deciduous trees with the use of iron electrodes (wood) and copper electrodes (soil). We made a conclusion about the acceleration of the kinetics of redox reactions in the xylem electrolyte with the electrode metal by the solar light. The higher values of the potential difference in deciduous trees compared to conifers trees are associated with the difference of the chemical composition of their saps and higher values of pH and a dielectric constant in a root exudate than in the soft resin. The obtained results are useful for the batteries constructing of electric energy of trees, which can charge the low-power electronic devices – the mobile phones, monitoring sensors of environmental parameters (temperature, air pollution, ionizing radiation).

Keywords: tree, electrochemistry, potential, galvanic cell, sunlight.

REFERENCES

1. Viter V.N. Gal'vanicheskiy element. Ch. 4 [A Galvanic Cell. Part 4]. *Khimiya i khimiki* [Chemistry and the Chemists], 2014, no. 7. Available at: http://chemistry-chemists.com/N7_2014/ChemistryAndChemists_7_2014-P8-4.html.
2. Gordeev A.M., Sheshnev V.B. *Elektrichestvo v zhizni rasteniy* [Electricity in a Plant Life]. Moscow, 1991. 160 p.
3. Kramer P.D., Kozlovskiy T.T. Fiziologiya drevesnykh rasteniy [Physiology of Woody Plants]. *Bonsay* [Bonsai]. Available at: <http://bonsai.ru/dendro/phcontent.html>.
4. Polevoy V.V. *Fiziologiya rasteniy* [Plant Physiology]. Moscow, 1989. 464 p.
5. Kholmanskiy A.S. Adaptatsiya derev'ev k anomal'nym fizicheskim faktoram [Adaptation of Trees to Abnormal Physical Factors]. *Matematicheskaya morfologiya. Elektronnyy matematicheskiy i mediko-biologicheskiy zhurnal* [Mathematical Morphology: Electronic Mathematical and Biomedical Journal], 2009, vol. 8, no. 3. Available at: <http://www.smolensk.ru/user/sgma/MMORPH/N-23-html/holmanskiy/holmanskiy.htm>.
6. Shatalov A.Ya. *Vvedenie v elektrokhimicheskuyu termodinamiku* [Introduction to Electrochemical Thermodynamics]. Moscow, 1984. 216 p.
7. Gibert D., Le Mouël J.-L., Lambs L., Nicollin F., Perrier F. Sap Flow and Daily Electrical Potential Variations in a Tree Trunk. *Plant Science*, 2006, no. 171, pp. 572–584.
8. Hao Zh., Li W., Kan J., Jiang L., Feng C. Bioelectricity in Standing Trees – a Potential Energy for Wireless Sensor Networks. *Telkommika*, 2013, vol. 11, no. 8, pp. 4841–4846.
9. Himes C., Carlson E., Ricchiuti R.J., Taylor D.W., Otis B., Parviz B.A. Using Plants for Directly Powering Nanoelectronic Circuits. *Nanotechnology Perceptions*, 2010, no. 6, pp. 29–40.
10. Love C.J., Zhang S., Mershin A. Source of Sustained Voltage Difference between the Xylem of a Potted Ficus benjamina Tree and Its Soil. *PLoS ONE*, 2008, no. 3(8), p. 2963.
11. Mamatha Ch., Mathew S. A Natural Battery Based on Lake Water and Its Soil Bank. Available at: www.ijevs.com
12. *The Roots of Power*. Available at: http://www.iop.org/activity/groups/subject/env/prize/file_52518.pdf.
13. Tian H., Kan J., Xu Q., Zhang C., Jiang Z., Li Ya. A Measurement System of Electric Signals on Standing Trees. *Sensors & Transducers*, 2014, vol. 162, iss. 1, pp. 215–220.

Received on March 16, 2015

УДК 630*23(470.45)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.81

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ВОСПРОИЗВОДСТВА ЛЕСОВ НА ЗЕМЛЯХ ЛЕСНОГО ФОНДА ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

С.А. Корчагов¹, д-р с.-х. наук, проф.

А.В. Миронов², канд. экон. наук, ведущий экономист

И.Н. Лупанова¹, асп.

¹Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина, ул. Панкратова, д. 9-а, корп. 7, с. Молочное, г. Вологда, Россия, 160555; e-mail: kors45@yandex.ru, inna-lupanova@yandex.ru

²Вологодский селекционно-семеноводческий лесохозяйственный центр, ул. Преображенского, д. 28В, г. Вологда, Россия, 160026; e-mail: AlexDSL2008@yandex.ru

Вологодская область является одним из многолесных регионов России. По корневому запасу среди регионов Северо-Западного федерального округа область уступает только Республике Коми и Архангельской области. Имеющийся лесосырьевой потенциал позволил сформировать в области многопрофильный и достаточно мощный лесной комплекс, включающий в себя все виды экономической деятельности и базирующийся на использовании лесных ресурсов. В России область занимает второе место по производству необработанной древесины и древесностружечных плит, третье – по производству клееной фанеры, четвертое – по выпуску пиломатериалов. По вкладу в экономику региона лесной сектор продолжает занимать третье место после черной металлургии и химической промышленности. Лесобумажная продукция из Вологодской области экспортируется более чем в 50 стран мира. Основные потребители лесопродукции – страны Европейского союза: Финляндия, Эстония, Германия, Швеция, Нидерланды, Великобритания, Франция, Дания, Бельгия, Польша, Литва, Чехия и др. Несмотря на определенные успехи, в промышленной составляющей лесного комплекса наблюдаются негативные аспекты. Леса области истощаются, хотя и меньшими темпами, чем в целом по России. За период 2007–2013 гг. среднегодовые темпы рубки лесных насаждений (по площади) по России превысили темпы восстановления лесов на вырубках на 7,2 %, по Вологодской области – на 2,3 %. Причинами являются недостаток средств для финансирования расширенного воспроизводства лесов, значительные объемы гибели лесов от пожаров и нарастающие объемы незаконных рубок.

Ключевые слова: лес, лесные ресурсы, лесной комплекс, лесопользование, лесовосстановление, пожароопасность, незаконная рубка древесины, лесное законодательство, государственная лесная охрана, добровольная лесная сертификация, система Лесного попечительского совета (FSC).

Динамичное социально-экономическое развитие территорий во многом зависит от наличия и уровня использования природных ресурсов. В Вологодской области, как и в целом в Северо-Западном федеральном округе (СЗФО), самым значимым видом природных ресурсов являются леса.

Лесные ресурсы Вологодской области по состоянию на 1 января 2014 г. занимают площадь 11,7 млн га (или 80,8 % ее территории), в том числе покрыто лесной растительностью 10,01 млн га. Лесистость составляет 69,3 %.

Корневой запас древесины достигает 1 625,8 млн м³, из которых 934,56 млн м³ – спелые и перестойные леса. По корневому запасу среди регионов СЗФО область уступает только Республике Коми и Архангельской области.

В общей площади лесов 11 474,7 тыс. га (98,4 %) занимают земли лесного фонда, из которых 9 852,4 тыс. га покрыты лесной растительностью, в том числе лесами с преобладанием хвойных пород – 5 100,7 тыс. га (51,8 %). В общей площади земель лесного фонда защитные леса составляют 18 %, эксплуатационные 82 %. Расчетная лесосека на 2013 г. по Вологодской области была установлена в объеме 29 034,66 тыс. м³, в том числе по хвойному хозяйству – 11 002,71 тыс. м³ (37,9 %), по лиственному хозяйству – 18 031,95 тыс. м³ (62,1 %).

Имеющийся лесосырьевой потенциал позволил сформировать в области многопрофильный и достаточно мощный лесной комплекс, базирующийся на использовании лесных ресурсов и включающий в себя все виды экономической деятельности, а именно: лесохозяйственную (в том числе лесозаготовки и оказание услуг в этой области), деревообрабатывающую, целлюлозно-бумажную и лесохимическую, развитие которых в значительной степени определяет эффективное функционирование связанных с ними отраслей (транспорт, строительство, полиграфия и др.) и состояние экономики области и России в целом.

Среди регионов России область продолжает занимать второе место по производству необработанной древесины и древесностружечных плит, третье – по производству клееной фанеры, четвертое – по выпуску пиломатериалов. По вкладу в экономику региона лесной сектор продолжает занимать третье место после черной металлургии и химической промышленности.

В последние годы в области сохранились высокие темпы развития лесопромышленного производства. Общий объем использования лесов в 2013 г. составил 13,98 млн м³, что почти в 1,5 раза выше уровня 2006 г. и является самым высоким показателем за последние 10 лет. Расчетная лесосека в целом освоена на 48,1 %: по хвойному хозяйству – на 57,8 %, по лиственному – на 42,1 %. Рост объемов заготовки обусловлен увеличением спроса на круглый лес преимущественно хвойных пород со стороны динамично развивающихся деревоперерабатывающих производств. Темпы производства лесопроductии за 2012 г. по отношению к 2011 г. составили, %: необработанная древесина – 101,6; пиломатериалы – 102,3; фанера клееная – 104,8; плита древесностружечная – 115,2; целлюлоза – 105,0; бумага и картон – 101,0. В области реализуется 18 приоритетных инвестиционных проектов с общей суммой инвестиций 12,5 млрд р.

Приоритетными видами лесобумажной продукции, реализуемой на внутреннем и внешнем рынках, являются круглые лесоматериалы, пиломатериалы, фанера, древесные плиты, картон. Лесобумажная продукция экспортируется в более чем 50 стран мира. По данным пресс-службы Вологодской таможни, в 2010 г. лесопромышленные предприятия области экспортировали лесопродукции на сумму 172,6 млн долл. США, в 2011 г. – 203,9 млн долл., в 2012 г. – 201,0 млн долл. Крупнейшие потребители лесопродукции – страны Европейского союза (ЕС): Финляндия, Эстония, Германия, Швеция, Нидерланды, Великобритания, Франция, Дания, Бельгия, Польша, Литва, Чехия и др.

Несмотря на определенные успехи, в промышленной составляющей лесного комплекса области наблюдаются некоторые негативные аспекты.

Леса России устойчиво истощаются. Хотя и в меньшей степени, это характерно и для лесов Вологодской области. Так, за 2007–2013 гг. среднегодовые темпы рубки лесных насаждений (по площади) превысили темпы восстановления лесов на вырубках (по площади) по России в целом на 7,2 %, по Вологодской области – на 2,3 % (табл. 1).

Таблица 1

**Темпы использования и воспроизводства лесов (%)
на землях лесного фонда за 2007–2013 гг.**

Показатели	Россия	Вологодская область
Среднегодовые темпы (по площади):		
сплошных рубок	108,1	113,1
лесовосстановления	100,8	108,9
Превышение темпов рубок над темпами восстановления	+7,2	+ 2,3
Изменение доли площади ценных лесных пород в составе покрытых растительностью земель лесного фонда	-1,2	+0,4
Среднегодовые темпы заготовки древесины в спелых и перестойных насаждениях	102,9	110,2

Неполное восстановление лесов на площадях сплошных рубок ведет к истощению лесов, снижению потребительских качеств и утрате целостности леса как экосистемы. Причина этого состоит главным образом в том, что лесопользователи не в полной мере обеспечивают финансирование лесовосстановительных мероприятий. Кроме того, законодательно лесопользователь не обязан вкладывать средства в расширенное воспроизводство лесов [5]. Государственное управление лесохозяйственной деятельностью осуществляется через институт предоставления рыночных (преимущественно древесных) ресурсов лесопользователю на условиях аренды лесных участков, через аукцион права аренды, главным недостатком которого является то, что арендатор-лесопользователь не обременен обязательствами по расширенному воспроизводству лесов (табл. 2).

Таблица 2

**Структура инвестиций (%) в основной капитал по виду деятельности
«лесное хозяйство, лесозаготовки и предоставление услуг в этой области»
в Вологодской области**

Источники финансирования	2010 г.			2011 г.			2012 г.		
	Всего	ЛЗ	ЛХ	Всего	ЛЗ	ЛХ	Всего	ЛЗ	ЛХ
Всего	100	100	100	100	100	100	100	100	100
В том числе собственные средства	62,3	80,7	10,9	49,1	65,7	9,6	48,6	74,9	17,5
Из них прибыль организации	28,7	37,9	3,0	16,6	20,7	6,8	10,2	5,3	16,1
Привлеченные средства	37,7	19,3	89,1	50,9	34,3	90,4	51,4	25,1	82,5

Примечание. ЛЗ – лесозаготовки, ЛХ – лесное хозяйство.

Лесопользователь основную долю средств (74,9 %) вкладывает в собственный основной капитал, и лишь 17,5 % идет на восстановление используемой им государственной собственности – лесов.

В свою очередь, отсутствие инвестиций приводит к снижению продуктивности лесов, применению экстенсивных технологических процессов в лесоводстве и лесозаготовке, неразвитости транспортной инфраструктуры, отсутствию лесоустройства, снижению лесного дохода и прибыли хозяйствующих субъектов.

В Вологодской области лесовосстановление ведется в основном методом содействия естественному возобновлению (табл. 3).

Оставление вырубок на естественное зарастивание обуславливает ускорение смены пород, и, как следствие, уменьшение площади насаждений с преобладанием хвойных пород.

Ежегодный ввод в эксплуатацию лесовозных дорог лесопользователями-арендаторами в Вологодской области (по протяженности) составляет не более 15 % нормативной потребности, что также негативно отражается на развитии лесного комплекса региона.

В 20 (из 26) районах области лесоустройство проводилось более 10 лет назад. Леса, ранее находившиеся в ведении сельскохозяйственных организаций, не устраивались более 20 лет. До 350 тыс. га муниципальных и городских лесов не устраивались никогда. Отсутствие достоверной лесоустроительной информации значительно затрудняет определение качественных и количественных характеристик лесных ресурсов, препятствует объективной кадастровой оценке лесов, не позволяет рационально проектировать объемы лесохозяйственных работ и сроки их выполнения.

Таблица 3

**Распределение фактического выполнения объемов работ
по способам лесовосстановления в Вологодской области***

Показатели и способы лесовосстановления	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Площадь сплошных рубок всего, тыс. га	28,7	32,1	46,2	43,9	57,4	60,4	61,8	67,8
Площадь лесовосстановления, тыс. га	24,0	28,6	28,8	30,0	32,3	44,2	43,3	43,6
В том числе:								
производство лесных культур	3,9	4,6	4,6	3,6	4,0	4,1	4,1	4,0
комбинированное содействие естественному возобновлению	–	–	–	0,06	0,5	2,3	2,2	2,2
Доля площади искусственного лесовосстановления в общей площади восстановления лесов, %	16,3	16,1	15,8	12,0	12,4	9,3	9,5	9,2
Соотношение площадей лесо- восстановления и сплошных рубок, %	83,6	89,1	62,3	68,5	56,3	73,1	70,1	64,3
Естественное заращивание, тыс. га	4,5	3,5	17,4	13,9	25,1	16,2	18,5	23,2

* Данные Рослесхоза по материалам Государственного лесного реестра.

Износ основных фондов по совокупности субъектов лесохозяйственной деятельности, включая лесозаготовки, имеет тенденцию к росту и составляет на начало 2013 г. 64,3 %. Более 30 % лесозаготовительных предприятий убыточны, убыточность лесоводства возрастает. Среднегодовые темпы роста затрат на ведение лесного хозяйства на 4,6 % превышают темпы роста поступлений за использование лесов (табл. 4).

Огромный вред лесам наносят пожары, болезни и вредители. Следует отметить, что ситуация с пожарной опасностью в лесах Вологодской области носит нестабильный характер: до 2010 г. она имела тенденцию к снижению, далее – к росту. В 2013 г. ущерб от лесных пожаров составил 21,3 млн р. Пик гибели лесов от вредителей и болезней приходился на 2010 г. (табл. 5).

Таблица 4

Финансово-экономические показатели ведения лесного хозяйства в Вологодской области

Показатель	Значение показателя по годам										Индекс за 2007–2013 гг., %	
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	базовый	среднегодовой		
Всего расходы средств на ведение лесного хозяйства, млн р.	696,7	1128,0	970,9	742,8	907,6	1097,0	1620,2	1476,8	212,0	111,3		
Затраты на ведение лесного хозяйства в пересчете на 1 га ЗЛФ, р.	60,7	98,3	84,6	64,7	79,1	95,6	141,1	128,7	212,0	111,3		
Доходы в пересчете на 1 га ЗЛФ, р.	50,7	67,4	78,9	73,9	68,5	77,8	93,5	79,6	157,0	106,7		
Превышение доходов над расходами, (+) – профицит, (-) – дефицит, млн р.	-115,0	-355,1	-65,4	105,1	-121,5	-204,4	-546,8	-563,6	490,1	125,5		
Соотношение расходов и доходов, %	119,8	145,9	107,2	87,6	103,6	122,8	150,9	160,7	+40,9	+5,8		

Примечание. ЗФЛ – земли лесного фонда.

Таблица 5

Площади (га) лесных насаждений, погибших в результате повреждений насекомыми, болезнями и пожарами в Вологодской области

Показатель	Значение показателя по годам										Индекс за 2007–2013 гг., %	
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	базовый	среднегодовой		
Гибель лесных насаждений от повреждений вредными насекомыми и болезней леса	1098,0	625,0	1075,8	96,1	36,9	201,9	298,8	341,0	31,1	84,6		
Гибель лесных насаждений от лесных пожаров	143,0	41,0	27,8	12,3	331,5	31,1	64,4	52,0	36,4	84,5		

Одной из самых острых проблем российского лесного сектора являются незаконные рубки. По различным данным на них приходится от 10 до 35 % всех лесозаготовок в стране. В отдельных регионах России до 50 % заготавливаемой древесины имеют либо нелегальное, либо сомнительное, не подтвержденное официальными документами происхождение.

Незаконная рубка, уничтожение или повреждение лесных насаждений не только причиняют материальный ущерб экономике региона и страны в целом, но и создают угрозу экологической безопасности в масштабах государства. Полностью восстановить лесной фонд, утраченный в результате незаконных рубок, практически невозможно. На это потребуются от 40 до 120 лет, оно влечет за собой большие материальные затраты.

11 апреля 2013 г. в Улан-Удэ состоялось заседание Президиума Госсовета РФ, где обсуждались вопросы повышения эффективности работы лесного комплекса. В своей речи Президент России В.В. Путин отметил: «Лес нужно спасать и от незаконных вырубок. В последние 5 лет они увеличились на 66 %, их объемы по-прежнему колоссальные, при этом со сбытом краденого вообще никаких проблем не существует. Прежде всего, надо наладить систему точного мониторинга и определить более жесткие меры наказания для тех, кто варварски истребляет лес. В 2012 г. к уголовной и административной ответственности за незаконные рубки привлечено более 7 тыс. чел. Ущерб составил около 10 млрд р. Возмещено только 2 %». В 2013 г., по данным ФГУ «Рослесинфорг», ущерб от незаконных рубок сократился до 9,1 млрд р. [9].

Сумма ущерба, причиненного Вологодской области незаконными рубками, составила, млн р.: в 2010 г. – почти 190,0; в 2011 – 257,0; в 2012 – 288,6. В 2013 г. она снизилась до 158 млн р. В 2012 г. (по отношению к 2011 г.) число выявленных нарушений лесного законодательства уменьшилось в 0,8 раза и осталось на таком же уровне в 2013 г. Случаи нелегальной заготовки древесины происходят и на территории существующей сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Вологодской области, общая площадь которых достигает 902,8 тыс. га (по данным на конец 2012 г.) [1].

В областном правительстве отмечают, что незаконные рубки – это серьезная проблема. По мнению губернатора Вологодской области Олега Кувшинникова, значительное количество незаконных рубок объясняется отсутствием реального наказания. Так, в 2011 г. из 120 чел., осужденных по ст. 260 Уголовного кодекса Российской Федерации (УК РФ), только 5 чел. приговорены к реальному сроку лишения свободы, в 2012 г. – из 138 чел. только один.

Закон, принятый депутатами Государственной думы РФ [8], внес изменения в статьи 260 и 261 УК РФ [10] и предусматривает усиление уголовной ответственности путем увеличения штрафов, а также срока наказания в виде

лишения свободы. Также закон дополнил УК РФ статьей, предусматривающей ответственность за приобретение, хранение, перевозку, переработку в целях сбыта или сбыт заведомо незаконно заготовленной древесины, совершенные в крупном размере, группой лиц по предварительному сговору, в особо крупном размере или организованной группой либо лицом с использованием своего служебного положения. По мнению экспертов, введенные поправки к УК РФ позволят снизить экономическую привлекательность противоправных деяний, а также обеспечить возмещение вреда, причиненного такими преступлениями.

Согласно ст. 260 УК РФ, незаконная рубка в особо крупном размере, совершенная группой лиц по предварительному сговору, наказывается лишением свободы на срок до пяти лет с лишением права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью на срок до трех лет или без такового [10]. Именно эту меру наказания предложил пересмотреть губернатор Олег Кувшинников, увеличив срок лишения свободы от 5 до 10 лет с лишением права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью на этот же срок.

Наряду с ужесточением наказания, в контексте решения проблемы нелегальной заготовки древесины, на наш взгляд, безотлагательного рассмотрения требует вопрос обеспечения кадрами для осуществления государственной лесной охраны.

Внесение изменений в действующий ранее Лесной кодекс РФ в 2004–2005 гг. и принятие нового Лесного кодекса РФ в 2006 г. привели к тому, что классическая государственная лесная охрана, основанная на системе лесных обходов, исчезла. В декабре 2010 г. в Лесной кодекс РФ внесены изменения, которые восстановили лесную охрану «на бумаге» путем возложения соответствующих обязанностей на лиц, исполняющих, прежде всего, иные обязанности и не обладающих для охраны лесов ни временем, ни необходимыми ресурсами [3].

К настоящему времени численность сотрудников лесной охраны в России уменьшилась от 79 до 17 тыс. чел., численность работников лесничеств – от 160 до 32 тыс. чел. В среднем по России на одного работника лесничества приходится около 55 тыс. га леса, в многолесных районах – более 300 тыс. га. Кроме того, не в полной мере сформулирована законодательная база, определяющая государственный статус, социальные гарантии сотрудников лесной охраны. При таком объеме работ и статусе работника обеспечить должную охрану лесов невозможно.

В соответствии со ст. 96 Лесного кодекса [4] приказом № 21 от 21 января 2014 г. [7] Министерство природных ресурсов и экологии РФ утвердило нормативы патрулирования лесов должностными лицами, осуществляющими федеральный государственный лесной надзор (лесную охрану). Для Вологод-

ской области этот норматив должен составлять не более 19 тыс. га на одного государственного лесного инспектора.

Численность должностных лиц, осуществляющих федеральный государственный лесной надзор в разрезе государственных лесничеств департамента лесного комплекса Вологодской области, составляет 288 чел. при нормативной потребности 605 чел. (табл. 6).

Таблица 6

**Нормативная и фактическая численность должностных лиц
государственной лесной охраны в Вологодской области
(на 31.03.2014 г.)**

Лесничество	Общая площадь лесничества, га	Численность должностных лиц государственной лесной охраны в лесничестве, чел.		Разница, чел.
		нормативная	фактическая	
Бабаевское	835 578	44	14	-30
Бабушкинское	691 366	36	10	-26
Белозерское	452 463	24	9	-15
Вашкинское	247 167	13	8	-5
Великоустюгское	637 805	34	15	-19
Верховажское	366 213	19	11	-8
Вожегодское	501 442	26	10	-16
Вологодское	225 129	12	13	+1
Вытегорское	1 219 143	64	14	-50
Грязовецкое	381 770	20	10	-10
Кадуйское	257 466	14	10	-4
Кирилловское	350 838	18	12	-6
К.-Городецкое	606 129	32	12	-20
Междуреченское	304 815	16	10	-6
Никольское	644 844	34	13	-1
Нюксенское	461 342	24	10	-14
Сокольское	294 988	16	11	-5
Сямженское	327 564	17	10	-7
Тарногское	437 656	23	14	-9
Тотемское	736 192	39	13	-26
Усть-Кубинское	168 402	9	10	+1
Устюженское	273 058	14	10	-4
Харовское	281 715	15	13	-2
Чагодощенское	200 839	11	11	0
Череповецкое	428 923	23	10	-13
Шекснинское	142 856	8	5	-3
<i>Итого</i>	11 475 703	605	288	-317

Анализируя данные табл. 6, можно заключить, что во всех государственных лесничествах области, за исключением Вологодского, Усть-Кубинского и Чагодощенского, наблюдается недостаток лиц, осуществляющих государственную лесную охрану. Особенно остро проблема стоит в Бабаевском, Бабушкинском, Вытегорском, Кич-Городецком, Никольском и Тотемском лесничествах.

Таким образом, фактически леса Вологодчины, за исключением отдельных лесничеств, до сих пор остаются беспризорной и неохраняемой в необходимом объеме территорией. Это послужило одной из главных причин сложившейся ситуации с незаконными рубками леса. Без обеспечения эффективной охраны лесов невозможно решение этой важной и актуальной проблемы в регионе.

Имеется и ряд других отягчающих обстоятельств: длинные и непрозрачные цепочки поставок древесины; заготовка пород, занесенных в Красную книгу и в перечень пород, заготовка древесины которых не допускается; вырубка малонарушенных лесов; низкий уровень жизни в селах, вынуждающий местное население на совершение нелегальных рубок; высокий уровень коррупции и др. [3].

В настоящее время в Вологодской области активно развивается добровольная лесная сертификация, позволяющая субъектам лесных отношений получать экономические, правовые, социальные и экологические преимущества [2, 7] (табл. 7).

Важным движущим фактором активного принятия сертификации для лесных регионов России, в том числе и Вологодской области, стало введение в США поправок к Закону Лейси [11], требующих подтверждения легального происхождения всей продукции из древесины, поступающей в страну. В октябре 2010 г. ЕС принял законодательство по лесоматериалам и продукции из древесины (EU Timber regulation 995/2010) [13], согласно которому с 3 марта 2013 г. запрещается продажа древесины и лесобумажных материалов незаконного или неподтвержденного происхождения на рынке ЕС, что также определило необходимость внедрения систем сертификации.

Процесс сертификации по системе FSC (Forest Stewardship Council) в регионе начался в 2004 г., когда сертификат лесопользования получили две лесопромышленные компании: ЗАО «Белый Ручей» и ОАО «Белозерский ЛПХ». В 2006 г. сертифицированы лесозаготовительное предприятие ООО «Автодорлес» и группа предприятий ОАО ЛХК «Череповецлес»: ООО «Белозерсклес», ОАО «Вашкинский ЛПХ», ОАО «Бабаевский ЛПХ»; в 2007 г. – ОАО «Сямженский ЛПХ». В конце 2008 г. сертифицировала свои арендуемые участки группа предприятий: ОАО «ЛПК «Кипелово», ЗАО «Северлеспром», ОАО «Ковжинский ЛПХ», ООО «Кирилловский ЛПХ», ОАО «Устьялес», ОАО «Сокольский ДОК» (с 2011 г.), ранее входивших в лесопромышленный холдинг ЗАО «Инвестлеспром».

Таблица 7

Некоторые преимущества сертификации лесоуправления для субъектов лесных отношений

Правовой субъект	Преимущества			экологические
	экономические	правовые	социальные	
Бизнес и органы государственного управления (Минэкономразвития России)	Доступ на рынки, улучшение имиджа компании, повышение инвестиционной привлекательности и снижение корпоративных рисков, повышение доходности от управления лесами	Сокращение штрафов и платежей, связанных с несоблюдением законодательства	Повышение отдачи от персонала, сокращение числа конфликтов с местным населением	Улучшение состояния лесных экосистем
Органы государственного управления (Рослесхоз, Росприроднадзор, налоговая инспекция, таможня)	Своевременное и полное поступление в бюджет платы за древесные ресурсы на корню и налоговых платежей	Сокращение числа незаконных рубок, повышение качества восстановления лесов, лесозаготовки, контроля над управлением лесами	Конструктивные отношения с бизнесом, повышение социальной защищенности	Повышение уровня охраны и защиты лесов
Местное население, коренные народы, местные администрации	Ответственный бизнес, сохранение лесов и рек, представляющих ценность для местного населения	Обеспечение интересов местного населения через участие в планировании управления лесами	Защита прав коренных народов, обеспечение местного населения древесиной, стройматериалами и др.	Сохранение биоразнообразия, охрана почвенных и водных ресурсов

В 2010 г. свою систему лесоправления сертифицировала крупнейшая региональная холдинговая компания «Вологодские лесопромышленники»: ООО «Ломоватка-Лес», ЗАО «Онегалеспром», ООО «Лесозавод № 2», ООО «Верховажьелес», ЗАО «Вожега-Лес». В 2012–2013 гг. прошли сертификацию ЗАО «Мега», ИП Горблянский М.Д., ООО «Макарцево-лес», ИП Иванов О.Л., ООО «Альтернатива» [2, 6, 12].

В настоящее время в области сертифицировано 2,4 млн га лесов, что составляет около 7 % от площади сертифицированных по системе FSC лесов России.

Значительное число лесоперерабатывающих предприятий Вологодчины в настоящее время имеют FSC-сертификат цепочки поставок «от лесозаготовителя – к потребителю»: ООО «Премиум-лес», ОАО «Череповецлес», ООО «Новатор», ХК «Вологодские лесопромышленники», ЗАО «Австрофор», ОАО «Фэско», ОАО «Сокольский ДОК», ООО «Лесоперерабатывающий комбинат «Вожега», ООО «Харовсклеспром», ОАО «Лесозавод № 2», ООО «Белозерсклес», ЗАО «Череповецкий фанерно-мебельный комбинат», ООО «Сто-ра Энсо Форест Вест», ООО «Мега-Транс» и др.

Лесопромышленные предприятия посредством сертификата на систему лесоправления и цепочку поставок подтверждают легальность происхождения своей лесобумажной продукции, что позволяет им беспрепятственно вести свою внешнеэкономическую деятельность. Использование в технологическом процессе этими компаниями древесного сырья, закупаемого у несертифицированных субпоставщиков, требует обязательного подтверждения легальности его происхождения путем оценки риска районов заготовки древесины и контроля субпоставщиков до уровня лесосеки. Компании, не участвующие в процессе сертификации и не развивающие корпоративные системы обеспечения легальности и устойчивости заготовки древесины, исключают для себя возможность выхода на экологически чувствительные рынки. Учитывая общий тренд развития рынка лесоматериалов, направленный на экологизацию и предъявление потребителями более жестких требований к легальности и устойчивости заготовки древесины, подтверждение выполнения этих требований компаниями-поставщиками лесобумажной продукции из Вологодской области является практической необходимостью.

В заключение следует отметить, что Вологодская область продолжает оставаться одним из многолесных регионов России. Вместе с тем лесосырьевой потенциал региона используется не в полном объеме. В последние годы освоение расчетной лесосеки не превышает 50 %. Это является свидетельством того, что в регионе существуют потенциальная возможность осуществлять более интенсивную лесохозяйственную деятельность, увеличивать объем рубок леса при условии роста спроса на древесину, в первую очередь на внутреннем рынке, наличие у хозяйствующих субъектов технических, материальных и финан-

совых средств для обеспечения расширенного воспроизводства лесов и развития в регионе мощностей по переработке лиственной древесины.

Исторически наукой и практикой ведения лесного хозяйства доказано, что только расширенное воспроизводство лесов, основанное на базе инновационных технологий в лесоводстве и лесозаготовках, лесоустройства, развитой сети лесовозных и лесохозяйственных дорог, является гарантом создания сформированных лесных насаждений новой генерации, превосходящих по продуктивности и качеству леса предыдущей генерации. В перспективе эти леса станут источником рыночных лесных ресурсов для промышленности, а также создадут благоприятную среду для нормального проживания людей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Вологодской области в 2012 г. / Правительство Вологодской обл., Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской обл. Вологда, 2013. 260 с.

2. Корчагов С.А., Конюшатов О.А., Малышева Н.А. Развитие добровольной лесной сертификации в Вологодской области // Волог. лесн. журн. 2009. № 2 (13). С. 32–33.

3. Корчагов С.А., Конюшатов О.А. Нормативно-правовая база для интенсивного лесного хозяйства на федеральном и региональном уровне (на примере Вологодской обл.) // Интенсивное устойчивое лесное хозяйство: барьеры и перспективы развития: сб. ст. / Под общ. ред. Н. Шматкова. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF) России, 2013. С. 45–83.

4. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ: [Принят Гос. думой РФ 8 нояб. 2006 г.] // Собр. законодательства РФ. 2006.

5. Миронов А.В. Рыночные трансформации в лесном комплексе Вологодской области // Молодой ученый. 2012. № 12. С. 244–250.

6. Миронов А.В., Селименков Р.Ю. Лесная сертификация: состояние и эффективность развития в регионе // Науч. обозрение. 2012. № 5. С. 540–545.

7. Об утверждении «Нормативов патрулирования лесов должностными лицами, осуществляющими федеральный государственный лесной надзор (лесную охрану)»: приказ М-ва природных ресурсов и экологии РФ (Минприроды России) от 21 янв. 2014 г. № 21.

8. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федер. закон от 21 июля 2014 г. № 277-ФЗ: [Принят Гос. думой РФ 4 июля 2014 г.] // Собр. законодательства РФ. 2014.

9. Паспорт субъекта РФ по основным показателям лесохозяйственной деятельности за 4-й квартал. 2013 г. М.: Рослесинфорг, 2014. С. 4, 52.

10. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13.06.96 № 63-ФЗ: [Принят Гос. думой РФ 24 мая 1996 г.] // Собр. законодательства РФ. 1996.

11. *Anderson R.S.* The Lacey Act: America's Premier Weapon in the Fight Against Unlawful Wildlife Trafficking // *Public Land Law Review*. 1995.

12. FSC FM сертификаты в РФ. FSC COC сертификаты в РФ. Режим доступа: <http://www.fsc.ru/>.

13. Regulation (EU) N 995/2010. Of the European parliament and of the Council of 20 October 2010 laying down the obligations of operators who place timber and timber products on the market. Available at: <http://eur-lex.europa.eu>

Поступила 25.03.15

UDC 630 23(470.45)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.81

Main Trends and Challenges of the Use and Reproduction of Forests on the Forest Lands of Vologda Region

*S.A. Korchagov*¹, *Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

*A.V. Mironov*², *Candidate of Economic Sciences*

*I.N. Lupanova*¹, *Postgraduate Student*

¹Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin, Pankratov str., 9, bl. 7, Molochnoe, Vologda, 160555, Russian Federation; e-mail: kors45@yandex.ru, inna-lupanova@yandex.ru

²Vologda Breeding and Seed Production Forestry Center, Preobrazhenskiy str., 28, bl. B, Vologda, 160026, Russian Federation; e-mail: AlexDSL2008@yandex.ru

Vologda region is one of the well-forested regions of Russia. As for the root stock among the regions of the Northwest Federal District the region takes a back seat only to the Komi Republic and Arkhangelsk region. The existing forest resources in the region allowed forming of multidisciplinary and powerful timber complex based on the use of forest resources with all kinds of economic activities. In Russia, the region ranks second in the production of raw wood and chipboard, third – in the production of plywood, and fourth – in the production of lumber. As for the contribution to the regional economy the forest sector continues to occupy the third place after the ferrous metal industry and chemical industry. Wood and paper-based products from Vologda region are exported to more than 50 countries. The main consumers of timber – the countries of the European Union: Finland, Estonia, Germany, Sweden, Netherlands, UK, France, Denmark, Belgium, Poland, Lithuania, and Czech Republic. Despite some progress in the industrial component of the timber complex, we can observe some negative aspects. The forests of the region are depleting, although slower than in the whole of Russia. In 2007–2013 the average annual felling (by area) exceeded the rate of reforestation on harvested areas in Russia by 7.2 %, in Vologda region – by 2.3 %.

The reasons are the lack of funding for the expanded reproduction of forests, considerable volumes of forest destruction from fires and the increasing volume of illegal logging.

Keywords: forest, forest resources, timber complex, forest management, reforestation, fire hazards, illegal felling, forest legislation, state forest protection center, voluntary forest certification, Forest Stewardship Council (FSC) system.

REFERENCES

1. *Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy Vologodskoy oblasti v 2012 g.* [Report on the State and Environmental Protection in Vologda Region in 2012]. Vologda, 2013. 260 p.

2. Korchagov S.A., Konyushatov O.A., Malysheva N.A. Razvitie dobrovol'noy lesnoy sertifikatsii v Vologodskoy oblasti [The Development of Voluntary Forest Certification in Vologda Region]. *Vologodskiy lesnoy zhurnal*, 2009, no. 2(13), pp. 32–33.

3. Korchagov S.A., Konyushatov O.A. Normativno-pravovaya baza dlya intensivnogo lesnogo khozyaystva na federal'nom i regional'nom urovne (na primere Vologodskoy obl.) [The Legal Framework for Intensive Forestry on the Federal and Regional Levels (in the Example of Vologda Region)]. *Intensivnoe ustoychivoe lesnoe khozyaystvo: bar'ery i perspektivy razvitiya* [Intensive Sustainable Forestry: Barriers and Prospects of Development]. Ed. by N. Shmatkov. Moscow, 2013, pp. 45–83.

4. Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 04.12.2006 № 200-FZ (Prinyat Gos. Dumoy RF 8 noyab. 2006 g.) [The Forest Code of the Russian Federation No. 200-FZ of December 04, 2006 (Adopted by the State Duma on November 08, 2006)]. *Sobr. Zakonodatel'stva RF* [Official Gazette of the Russian Federation], 2006.

5. Mironov A.V. Rynochnye transformatsii v lesnom komplekse Vologodskoy oblasti [Market Transformations in the Forest Complex of Vologda Region]. *Molodoy uchenyy*, 2012, no. 12, pp. 244–250.

6. Mironov A.V., Selimenkov R.Yu. Lesnaya sertifikatsiya: sostoyanie i effektivnost' razvitiya v regione [Forest Certification: the State and Development Effectiveness in the Region]. *Nauchoe obozrenie* [Scientific Review], 2012, no. 5, pp. 540–545.

7. *Ob utverzhdenii "Normativov patrolirovaniya lesov dolzhnostnymi litsami, osushchestvlyayushchimi federal'nyy gosudarstvennyy lesnoy nadzor (lesnyu okhranu)": Prikaz Ministerstva prirodnikh resursov i ekologii RF (Minprirody Rossii) ot 21 yanv. 2014 g. № 21* [On the Approval of the "Standards of Forest Patrol by the Officers Exercising Federal State Forest Control (Forest Protection)": The Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation (Russian Ministry of Natural Resources) No. 21 of January 21, 2014].

8. O vnesenii izmeneniy v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii: Feder. zakon ot 21 iyulya 2014 g. № 277-FZ (Prinyat Gos. Dumoy RF 4 iyulya 2014 g.)

[On the Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation: the Federal Act No. 277-FZ of July 21, 2014 (Adopted by the State Duma on July 4, 2014)]. *Sobr. Zakonodatel'stva RF* [Official Gazette of the Russian Federation], 2014.

9. *Pasport sub'ekta RF po osnovnym pokazatelyam lesokhozyaystvennoy deyatel'nosti za 4 kv. 2013 g.* [The Certificate of the Territorial Entity of the RF According to the Key Forestry Activity Indicators in the 4th Quarter of 2013]. Moscow, 2014, pp. 4, 52.

10. Ugolovnyy kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 13.06.96 № 63-FZ (Prinyat Gosdumoy RF 24 maya 1996 g.) [The Criminal Code of the Russian Federation No. 63-FZ of June 13, 1996 (Adopted by the State Duma on May 24, 1996)]. *Sobr. zakonodatel'stva RF* [Official Gazette of the Russian Federation], 1996.

11. Anderson R.S. The Lacey Act: America's Premier Weapon in the Fight Against Unlawful Wildlife Trafficking. *Public Land and Resources Law Review*, 1995, vol. 16, pp. 27–85.

12. *FSC FM sertifikaty v RF. FSC COC sertifikaty v RF* [FSC FM Certificates in the Russian Federation. FSC COC Certificates in the Russian Federation]. Available at: <http://www.fsc.ru/>.

13. *Regulation (EU) No. 995/2010 of the European Parliament and of the Council of 20 October 2010 Laying Down the Obligations of Operators Who Place Timber and Timber Products on the Market.* Available at: <http://eur-lex.europa.eu>

Received on March 25, 2015

УДК 630*187

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.97

ДИНАМИКА ЛИШАЙНИКОВО-ЗЕЛЕНОМОШНЫХ СОСНЯКОВ В ЗОНЕ ПРЯМОГО ВЛИЯНИЯ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

А.К. Мухин, науч. сотр.

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

Статья посвящена изучению многолетней динамики лесов, оказавшихся под влиянием водохранилища в условиях измененной природной среды. Водоохранилище, будучи мощным экологическим фактором, вызвало изменение состояния прибрежных экосистем. Тенденции и закономерности их динамики являются важной, но слабо изученной областью лесной науки. Исследования лесов Дарвинского государственного природного биосферного заповедника, произрастающих в условиях многолетнего (70 лет) влияния Рыбинского водохранилища, строились на принципах динамической типологии и являлись их практическим подтверждением. Эти принципы хорошо проверены И.С. Мелеховым при изучении ранних этапов жизни антропогенных лесов. Для спелых и перестойных лесов данные получены впервые в наших исследованиях. Они вносят существенные изменения в понятие устойчивости типа леса в стадии спелого древостоя или сформировавшегося типа леса. Объектом исследований являлся тип леса – сосняк лишайниково-зеленомошный. Эти леса растут по высоким местам водохранилища и встречаются в заповеднике довольно редко. Цель исследований – изучить ускоренные процессы роста и развития лесов в условиях измененной природной среды. Методика исследований заключалась в подробном описании и анализе всех компонентов фитоценоза, особо уделено внимание древостою, как эдификатору типа леса, и живому напочвенному покрову, как индикатору почвенно-гидрологических условий. Полученные за 67-летний период исследований материалы подробно проанализированы, выделены типы-этапы по методике И.С. Мелехова. Как выводы можно отметить следующее. Исходный тип-этап – сосняк лишайниково-зеленомошный через – 25 лет сменился новым типом-этапом – сосняком зеленомошным чистым с появлением в подросте ели. В течение следующих 20 лет произошла трансформация в новый тип-этап – сосняк брусничник зеленомошный с разрастанием в подросте ели и березы хорошего состояния. Данный тип-этап сохранился и до настоящего времени. Эти выводы имеют важное значение не только для лесной науки и практики, подтверждая положение динамической типологии И.С. Мелехова, но и для мониторинговых исследований в заповеднике, что обуславливает их актуальность и важное прикладное значение.

Ключевые слова: зоны прямого и косвенного влияния водохранилища, динамическая типология леса, типы-этапы.

Дарвинский государственный природный биосферный заповедник расположен в северо-западной части Рыбинского водохранилища на пологом низменном водораздельном полуострове, представляющем собой сохранившуюся от затопления часть Молого-Шекснинской низменности.

Проектный уровень водохранилища (102,0 м (абс.)) был достигнут в 1947 г. При таком уровне водохранилище представляет собой большой по площади (450 тыс. га), но мелководный водоем (средняя глубина 4,0... 5,0 м).

В заповеднике преобладают заболоченные сосновые леса и верховые болота. Лишайниково-зеленомошные леса растут по относительно высоким берегам водохранилища, лесных рек и встречаются довольно редко. Водохранилище существенно изменило гидрологический режим почв на прибрежных участках, где растут изучаемые леса. Оказавшись в зоне прямого влияния водохранилища, колебания уровня грунтовых вод (УГВ) повторяют изменения уровня водохранилища [1]. На этих участках происходит подъем грунтовых вод вследствие инфильтрации и подпора со стороны водохранилища. Ширина зоны прямого влияния зависит от высоты берега. Если берег выше на 1,0 м и более, чем нормальный проектный уровень водохранилища, то ширина зоны достигает 50...150 м [2, 3].

На более удаленных от берега участках подъема УГВ не произошло, режим его колебания остался таким же, что и до создания водохранилища. Эта территория простирается до верховых болот (1,0...1,5 км от берега) и называется зоной косвенного влияния водохранилища. В этой зоне, как и в зоне прямого влияния, произошло незначительное для древесной растительности изменение микроклимата. Примерно на полмесяца задерживается начало вегетации и продлевается ее окончание, изменилась влажность воздуха, произошла смена направления ветров [1].

Со стороны водораздела к лишайниково-зеленомошным лесам подходят заболочивающиеся и заболоченные сфагновые сосняки, что создает своеобразный режим почвенно-грунтового увлажнения. Изменение условий и режима увлажнения почв в связи с созданием водохранилища нарушило естественный ход процессов в лесных экосистемах.

Результаты исследований, проведенных на пробных лесных площадях в лишайниково-зеленомошных сосняках, растущих в зоне прямого влияния водохранилища, были проанализированы с использованием принципов динамической типологии И.С. Мелехова [4]. Они выявили значительную подвижность и изменчивость живого напочвенного покрова, как индикатора почвенно-гидрологических условий. Лишайниково-зеленомошные типы за 20-летний период трансформировались в чистые зеленомошные [5, 6].

В настоящей работе рассмотрена динамика лишайниково-зеленомошного сосняка, расположенного в зоне прямого влияния водохранилища. Исследование проводили на пробной площадке (ПП) № 19, заложенной и описанной в 1947 г. Площадь стационара 0,43 га.

ПП № 19 расположена на береговом валу р. Лоша с выраженным мезорельефом в виде плавных повышений и понижений. Высотная отметка участка 103,4...104,6 м (абс.). Понижение рельефа в северо-западной части пробы переходит в зону временного затопления. ПП удалена от водохранилища менее чем на 100 м.

Таблица 1

Динамика средних таксационных показателей древостоя на ПП № 19

Год перечета	Состав	Средние		Возраст, лет	Полнота	Бонитет	Состояние, %		Запас, м ³ /га		
		диаметр, см	высота, м				здорового	сухостоя	живого	сухостоя	валежника
1947	10С ед.Е	20,7	16,1	50	0,57	1,8	79,0	1,3	162	2	-
1960	10С ед.Е	24,4	17,7	63	0,71	П,2	92,0	3,5	217	8	4
1971	10С+Е ед.Ол	26,5	20,1	74	0,78	П,0	79,0	5,7	251	15	14
1981	10С+Е ед.Ол	29,0	20,5	84	0,85	П,3	84,2	6,4	284	19	29
1991	10С+Е ед.Ол	27,6	20,8	94	0,82	П,9	90,6	11,6	309	40	50
2001	9С1Е ед.Ол	28,3	20,1	104	0,97	П,9	93,5	6,6	365	26	84
2014	9С1Е ед.Ол	28,0	22,9	117	1,01	П,9	95,8	4,9	406	21	106

Почва подробно описана в 1959 г. и названа вторично-дерновой слабоподзолистой со слабыми признаками оглеения пылевато-песчаной [7].

Рассмотрим, как менялись разные компоненты типа леса за исследованный 67-летний период.

По данным первого описания в 1947 г. древостой был чистым сосновым с единичной елью. За годы наблюдения было сделано семь перечетов древостоя, средние таксационные показатели приведены в табл. 1.

Рассматривая динамику древостоя за исследуемый период, отмечаем, что древостой за это время перешел из приспевающего возраста в спелый. Произошло изменение состава за счет перехода подроста ели, достигнувшего ступени толщины 8 см, в древесный ярус. Снижение некоторых таксационных показателей (средние диаметр, высота, полнота) объясняется засушливым периодом начала 90-х гг.

Подрост при первом описании в 1947 г. был представлен растущими по «окнам» куртинами сосны и немногочисленными елочками. Таксационные показатели подроста в разные годы учета приведены в табл. 2.

Через 40 лет возобновление было представлено елью, растущей разбросанно (по 5...7 шт./га) и куртинами (в пониженной северо-западной части пробы насчитывалось до 50 шт./га). Отмечены также береза, ольха серая, росшая куртинами (в северо-западной пониженной части пробы насчитывалось до 70 шт./га), 2 всхода дуба черешчатого, 20 сеянцев сосны и 1 осинка.

При последнем описании в 2014 г. возобновление представлено елью, растущей единично (по 2...5 шт./га), и куртинами (в северо-западной части пробы по 20 шт./га). Увеличилась доля березы. Ольха серая по-прежнему растет куртинами (до 20 шт./га) и единично. Также на пробе в подросте насчитывалось 5 шт. дуба черешчатого и 5 сосенок угнетенного состояния.

Таблица 2

Динамика таксационных показателей подроста на ПП № 19

Название растения	Показатель	Год учета		
		1947	1991	2014
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	Ч	275	40	12
	В	0,5	0,4	0,5...2,5
	С	Удовл.	Хор.	Неудовл.
Ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.)	Ч	Единично	350	260
	В	0,5	0,2-6,0	6,0...7,0
	С	Удовл.	Хор.	Хор.
Береза бородавчатая (<i>Betula pendula</i> Roth.)	Ч	–	150	170
	В	–	0,2...0,4	0,5...6,0
	С	–	Удовл.	Хор.
Ольха серая (<i>Alnus incana</i> (L.) Moench)	Ч	–	150	100
	В	–	2,0...9,0	0,5...6,0
	С	–	Удовл.	Удовл.
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i> L.)	Ч	–	Единично	35
	В	–	0,3...0,6	0,3...2,0
	С	–	Удовл.	Удовл.
Осина (<i>Populus tremula</i> L.)	Ч	–	Единично	–
	В	–	3,0	–
	С	–	Удовл.	–

Примечание. Здесь и далее, в табл. 3, Ч – общая численность, шт./га; В – высота, м; С – состояние.

Подлесок при описании в 1947 г. был представлен кустами можжевельника, росшего неравномерно, местами образующего густые заросли. Единично в подлеске отмечена крушина ломкая. Таксационные показатели подлеска в разные годы учета приведены в табл. 3.

Таблица 3

Динамика таксационных показателей подлеска на ПП № 19

Название растения	Показатель	Год учета		
		1947	1991	2014
Можжевельник обыкновенный (<i>Juniperus communis</i> L.)	П _к	3	70	100
	В	0,5	0,5...1,5	0,5...2,5
	С	Удовл.	Удовл.	Хор.
Крушина ломкая (<i>Frangula alnus</i> Mill.)	Ч	Единично	23	28
	В	–	0,7	1,0
	С	–	Удовл.	Удовл.
Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.)	Ч	–	Единично	18
	В	–	1,5	1,0...2,0
	С	–	Удовл.	Удовл.
Ива козья (<i>Salix caprea</i> L.)	Ч	–	Единично	12
	В	–	1,0	0,5...2,5
	С	–	Удовл.	Удовл.
Малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.)	П _к	–	9	9
	В	–	1,0	1,0
	С	–	Удовл.	Удовл.

Примечание. П_к – площадь проекции крон, м²/га.

Через 40 лет сохранился можжевельник, растущий куртинами и единично. Были отмечены единичные деревья рябины обыкновенной, крушины ломкой (10 шт. в северо-западной части пробы), куртина малины площадью около 4 м² и единичные кусты ивы козьей.

При последнем описании в 2014 г. подлесок по-прежнему был представлен кустами можжевельника, растущего куртинами и единично. Отмечены в небольшом количестве деревья рябины обыкновенной, кусты крушины ломкой и ивы козьей. Сохранились в северо-западной части пробы куртина малины.

Рассмотрим динамику индикаторного компонента типа леса – *живого напочвенного покрова*. Показатели динамики напочвенного покрова в разные годы учета (в баллах – обилие по шкале Друде; в процентах – проективное покрытие) приведены в табл. 4.

Таблица 4

Динамика живого напочвенного покрова на ПП № 19

Название растения	Год учета							
	1947		1971		1991		2014	
	Баллы	%	Баллы	%	Баллы	%	Баллы	%
<i>Травяно-кустарничковый ярус</i>								
Вереск обыкновенный (<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull)	3, м. 4	–	1–2	–	1–2	–	1	–
Тимьян обыкновенный (<i>Thymus serpyllum</i> L.)	1	–	–	–	–	–	–	–
Кошачья лапка (<i>Antennaria</i> Gaertn.)	1	–	–	–	–	–	–	–
Фиалка собачья (<i>Viola canina</i> L.)	м. 1	–	м. 1	–	–	–	–	–
Фиалка песчаная (<i>V. arenaria</i> DC.)	м. 1	–	м. 1	–	1	–	–	–
Плаун булавовидный (<i>Lycopodium clavatum</i> L.)	2, м. 3	–	3, м. 4	–	2	–	м. 2–3	–
Плаун сплюснутый (<i>L. complanatum</i> L.)	м. 3	–	м. 3	–	м. 3	–	м. 3	–
Овсяница овечья (<i>Festuca ovina</i> L.)	м. 2	–	м. 3	–	2	–	1	–
Овсяница красная (<i>F. rubra</i> L.)	м. 1	–	–	–	–	–	м. 1	–
Полевица обыкновенная (<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.)	м. 1	–	1	–	–	–	1	–
Колокольчик круглолистный (<i>Campanula rotundifolia</i> L.)	м. 1	–	1	–	1	–	1	–
Грушанка однобокая (<i>Pirola secunda</i> L.)	1	–	–	–	–	–	–	–
Грушанка зеленоцветная (<i>P. chlorantha</i> Sw.)	–	–	м. 3	–	–	–	–	–
Кипрей узколистный (<i>Epilobium angustifolium</i> L.)	1	–	1	–	1	–	1	–
Линнея северная (<i>Linnaea borealis</i> L.)	–	–	м. 3	–	м. 3	–	м. 2	–

Продолжение табл. 4

Название растения	Год учета							
	1947		1971		1991		2014	
	Баллы	%	Баллы	%	Баллы	%	Баллы	%
Майник двулистный (<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F. W. Schmidt)	–	–	1	–	2	–	м. 1	–
Зимолюбка зонтичная (<i>Chimaphila umbellata</i> (L.) W. Barton)	м. 1	–	м. 1	–	2, м. 3	–	–	–
Хвощ зимующий (<i>Equisetum hyemale</i> L.)	1	–	1–2	–	2	–	1, м. 3	–
Ястребинка зонтичная (<i>Hieracium umbellatum</i> L.)	м. 1	–	1	–	1	–	1	–
Ястребинка волосистая (<i>H. pilosella</i> L.)	м. 1	–	–	–	–	–	–	–
Ожика волосистая (<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.)	–	–	1–3	–	1	–	2–3	–
Золотая розга (<i>Solidago virgaurea</i> L.)	м. 1	–	1	–	1	–	1	–
Черника (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	–	–	–	–	–	–	1, м. 2	–
Брусника (<i>V. vitisidaea</i> L.)	м. 2–3	–	м. 4	5	м. 4	10	м. 4–5	50
Седмичник европейский (<i>Trientalis europaea</i> L.)	–	–	м. 1	–	1	–	м. 2–3	–
Гудайера ползучая (<i>Goodyera repens</i> (L.) R. Br.)	–	–	1–2	–	1	–	1, м. 2	–
Щитовник иголец (<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) Н. Р. Fuchs)	–	–	1	–	1	–	1, м. 2	–
Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth)	–	–	м. 3	–	–	–	–	–
Вейник лесной (<i>C. arundinacea</i> (L.) Roth)	1	–	м. 3	–	1	–	м. 1	–
Ландыш майский (<i>Convallaria majalis</i> L.)	–	–	1	–	м. 3	–	м. 1–3	–
Клевер ползучий (<i>Trifolium repens</i> L.)	1	–	–	–	–	–	–	–
Вероника лекарственная (<i>Veronica officinalis</i> L.)	1	–	–	–	–	–	–	–
Марьянник луговой (<i>Melampyrum pratense</i> L.)	2–3	–	3	–	3	5	м. 2–3	–
Осока верещатниковая (<i>Carex ericetorum</i> Poll.)	1	–	1	–	–	–	–	–
Кислица обыкновенная (<i>Oxalis acetosella</i> L.)	–	–	–	–	–	–	м. 2	–

Окончание табл. 4

Название растения	Год учета							
	1947		1971		1991		2014	
	Баллы	%	Баллы	%	Баллы	%	Баллы	%
<i>Лишайниково-моховой покров</i>								
Кладония лесная (<i>Cladonia sylvatica</i> (L.) Hoffm.)	3	15	–	–	–	–	–	–
Кладония оленья (<i>C. rangiferina</i> (L.) Web.)	3	15	–	–	–	–	–	–
Цетрария исландская (<i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach.)	2	–	–	–	–	–	–	–
Плеуроциум Шребера (<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.)	3–4	20	6	40	5	50	5	60
Дикранум волнистый (<i>Dicranum polysetum</i> Sw.)	3	5	3, м. 4	5	3	10	1–3	–
Птилий гребенчатый (<i>Ptilium crista-castrensis</i> (Hedw.) De Not.)	2	–	м. 1	–	1	–	1	–
Гилокомий блестящий (<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) B.S.G.)	3	5	3, м. 4	5	3	10	3	15
Ритидиладельфус трехгранный (<i>Rhytidiadelphus triguetrus</i> (Hedw.) Warnst.)	1	–	–	–	–	–	–	–
Кукушкин лен обыкновенный (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.)	–	–	–	–	–	–	1	–
Кукушкин лен волосоносный (<i>P. piliferum</i> Hedw.)	1	–	1	–	1	–	1	–
Сфагнум Гиргензона (<i>Sphagnum girgensohnii</i> Russ.)	–	–	1	–	1	–	1	–
Сфагнум дубравный (<i>S. nemoreum</i> Scop.)	–	–	1	–	1	–	1	–
Сфагнум узколистный (<i>S. angustifolium</i> (Russ) G. lens.)	–	–	1	–	1	–	1	–
Сфагнум Руссова (<i>S. russowii</i> Warnst.)	–	–	1	–	1	–	1	–

Примечание: м. – местами.

При первом описании 1947 г. травяно-кустарничковый ярус был довольно разреженным, флористический состав был представлен 24 видами. Многие виды встречались редко, более заметны были небольшие куртины вереска обыкновенного, плауна булавовидного, марьянника лугового и брусники. Среди растений травяного яруса встречались ксерофиты (овсяница овечья

и красная, фиалка песчаная, кошачья лапка, тимьян и полевица обыкновенные, осока верещатниковая) и типичные для зеленомошных лесов (хвощ зимующий, ястребинка волосистая и зонтичная, плаун сплюснутый, фиалка собачья, колокольчик круглолистный, золотая розга, зимолюбка зонтичная). Отмечались единичные экземпляры кипрея узколистного, клевера ползучего и вейника лесного.

Мхи и лишайники занимали всю поверхность пробы с равной долей проективного покрытия (по 30 % площади пробы). В пониженной части пробы преобладал гилокомий блестящий. На высоких и освещенных местах был более густой покров из лишайников (кладония лесная и оленья, цетрария исландская).

Под кронами деревьев сильнее развит моховой покров с преобладанием плеуроциума Шребера, с пятнами дикранума волнистого, гилокомиума блестящего, птилия гребенчатого и изредка ритидиадельфуса трехгранного.

Через 25 лет в травяно-кустарничковом ярусе исчезли кошачья лапка, тимьян обыкновенный, осока верещатниковая, вероника лекарственная, клевер ползучий. Появились новые виды: ожика волосистая, гудайера, грушанка зеленоцветковая, линнея северная, вейник наземный, щитовник игольчатый, седмичник европейский, ландыш майский, майник двулистный. На пониженной части пробы разрослась брусника.

Лишайники исчезли, фон в моховом покрове создавали плеуроциум Шребера, дикранум волнистый и гилокомий блестящий. Были отмечены небольшие пятна из таких видов, как кукушкин лен волосоносный, сфагнумы Гиргензона, дубравный и Руссова.

Еще через 20 лет в северо-западной части пробы брусника разрослась и стала фоновым видом.

В моховом покрове фон создавали плеуроциум Шребера и гилокомий блестящий, дикранума волнистого стало меньше. Сохранились единичные пятна кукушкина льна волосоносного и пятно сфагнума Гиргензона. В северо-западной части пробы, где обилие подрост ели, появились участки мертвого покрова (суммарно 10 % площади пробы).

При последнем описании в 2014 г. травяно-кустарничковый ярус представлен следующими видами: кислица обыкновенная, линнея северная, вереск обыкновенный, хвощ зимующий, плауны сплюснутый и булавовидный, овсяница красная, марьянник луговой, вейник лесной, ястребинка зонтичная, золотая розга, ожика волосистая, гудайера, майник двулистный, седмичник европейский, щитовник игольчатый, ландыш майский, черника. Отмечены единично овсяница овечья, полевица обыкновенная, кипрей узколистный и колокольчик круглолистный. Брусника интенсивно разрослась, проективное покрытие увеличилось до 50 %.

В моховом покрове фон по-прежнему создавал плеуроциум Шребера и гилокомий блестящий. В небольшом обилии присутствовал дикранум волнистый. Единично пятна кукушкина льна волосоносного и обыкновенного, птилия гребенчатого. Пятно сфагнума Гиргензона увеличилось до 3 м².

Доля мертвого покрова в северо-западной части пробы увеличилась за счет пороев кабана и составила суммарно 15 % площади пробы.

Рассматривая изменения разных компонентов изучаемого типа леса сосняка лишайниково-зеленомошного, обращаем внимание на наиболее существенные изменения, произошедшие в живом напочвенном покрове, как индикаторе почвенно-гидрологических условий, и изменения, произошедшие в подросте, как показателе появления в древостое ели.

Анализируя изменения названных показателей, можно выделить в динамике рассматриваемого типа леса три типа-этапа.

Первый тип-этап – сосняк лишайниково-зеленомошный, который сохранялся от начала влияния водохранилища в течение 25 лет. Характеризовался интенсивным накоплением запаса живого древостоя и существенным увеличением полноты. В травяно-кустарничковом ярусе преобладали ксерофиты, в моховом покрове фон создавали лишайники и зеленые мхи.

Второй тип-этап – сосняк зеленомошник чистый отмечен в 1971 г. и просуществовал на протяжении 20 лет. Характеризовался продолжением накопления запаса живого древостоя, увеличением полноты. В подросте появилась ель хорошего состояния, которая свидетельствует о тенденции к изменению чистого сосняка в сосново-еловый. В травяно-кустарничковом ярусе исчезли ксерофиты, появились наиболее влаголюбивые виды, разрослась брусника. Лишайники исчезли, фон в моховом покрове создавали зеленые мхи и появились небольшие пятна сфагнумов.

Третий тип-этап – сосняк брусничник зеленомошный отмечен в 1991 г. и существует по настоящее время (описание 2014 г.). Характеризуется ростом запаса живого древостоя, увеличением полноты, появлением в первом ярусе древостоя ели. Возобновление происходит за счет ели и березы. В травяно-кустарничковом ярусе брусника интенсивно разрослась и стала фоновым видом. В моховом покрове произошли флуктуационные изменения, связанные с динамикой плеуроциума и гилокомия. Отмечено разрастание сфагнума Гиргензона.

Поскольку рельеф очень разнообразен и прибрежные участки имеют разную высотную отметку, можно говорить о разнообразии влияния Рыбинского водохранилища на близлежащие лесные биогеоценозы. Так, на возвышенных участках водохранилище не вызвало явления подтопления, о чем свидетельствует сохранение в живом напочвенном покрове ксерофитных видов и исходного типа леса. На высоких береговых участках водохранилище имеет и негативное влияние, проявляющееся в виде эрозионных процессов – подмыва берега и его обрушения, что приводит к разрушению древостоя.

На пониженных участках водохранилище оказывает негативное влияние в виде подтопления, вызванного подъемом грунтовых вод, о чем свидетельствует разрастание в живом напочвенном покрове влаголюбивых видов растений и сфагнумов, как индикаторов заболачивания зеленомошных лесов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов К.Н. Влияние крупных равнинных водохранилищ на леса прибрежной зоны. Л.: Гидрометиздат, 1975. 126 с.
2. Кудинов К.А. Влияние Рыбинского водохранилища на уровень почвенно-грунтовых вод // Тр. Дарвинского заповедника. 1971. Вып. 10. С. 67–101.
3. Леонтьев А.М. Из материалов изучения режима почвенно-грунтовых вод в характерных типах леса // Тр. Дарвинского заповедника. 1968. Вып. 9. С. 5–42.
4. Мелехов И.С. Лесоведение: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.
5. Писанов В.С. Рост и развитие лишайниково-зеленомошных сосняков в условиях влияния Рыбинского водохранилища // Структура и динамика растительности и почв в заповедниках РСФСР. М.: ЦНИ Главохоты РСФСР, 1982. С. 39–51.
6. Писанов В.С. Этапы и темпы формирования сосняков лишайниково-зеленомошных в условиях влияния водохранилища // Лесн. журн.. 2000. № 3. С. 34–38. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Успенская А.А. Материалы к изучению почвенного покрова основных типов лесов Дарвинского заповедника // Тр. Дарвинского заповедника. 1968. Вып. 9. С. 123–181.

Поступила 30.09.15

UDC 630*187

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.97

Dynamics of Lichen-Green Moss Pine Forests in a Direct Impact Zone of the Rybinsk Reservoir

A.K. Mukhin, Research Officer

Darwin State Nature Biosphere Reserve, 44, vill. Borok, Cherepovets District, Vologda region, 162723, Russian Federation; e-mail: akm.ru@yandex.ru

The article studies the long-term dynamics of forests under the impact of a reservoir in the changed environment. The reservoir, as a powerful ecological factor, caused the change in the coastal ecosystems. Tendencies and regularities of their dynamics are the important, but poorly studied area of forest science. The researches of the forests of the Darwin State Nature Biosphere Reserve growing under the long-term (70 years) influence of the Rybinsk Reservoir were based on the principles of dynamic typology and were their practical confirmation. These principles were well tested by I.S. Melekhov in the study of the early life stages of the anthropogenous forests. We obtained the data for mature and over mature forests for the first time. They make the significant changes in the concept of the forest type sustainability in a stage of a mature forest stand or a formed forest type. The object of our research is a lichen-green moss pine forest. These forests grow in high places of a reservoir and quite rare. The goal of research is to study the accelerated processes of growth and development of the forests in the changed environment. The technique consists in the detailed description and the analysis of all components of a plant community; the special attention is paid to a forest stand, as a forest type edicator, and a live ground cover, as an indicator of soil and hydrological conditions. The materials obtained for the 67-year period of researches are analyzed; and the types-stages are identified by I.S. Melekhov's technique. We can conclude that the initial type-stage – a lichen-green moss pine forest was replaced in 25 years

by a new type-stage – a green moss pine forest with the spruce undergrowth. In the next 20 years occurred a new transformation into a new type-stage – a green moss cowberry pine forest with the expansion in the spruce and birch undergrowth of a good order. This type-stage has remained up to the present. These conclusions are important not only for forest science and practice, confirming the position of dynamic typology of I.S. Melekhov, but also for the monitoring researches in the reserve. This is the thematic justification of the research and its important applied relevance.

Keywords: direct and indirect impact zone of a reservoir, forest dynamic typology, type-stage.

REFERENCES

1. D'yakonov K.N. *Vliyanie krupnykh ravninnykh vodokhranilishch na lesa pribrezhnoy zony* [Influence of Large Plain Reservoirs on the Coastal Forests]. Leningrad, 1975. 126 p.
2. Kudinov K.A. *Vliyanie Rybinskogo vodokhranilishcha na uroven' pochvenno-gruntovykh vod* [The Impact of the Rybinsk Reservoir on the Groundwater Level]. *Trudy Darvinskogo zapovednika* [Proc. Darwin Reserve], 1971, no. 10, pp. 67–101.
3. Leont'ev A.M. *Iz materialov izucheniya rezhima pochvenno-gruntovykh vod v kharakternykh tipakh lesa* [From the Study Materials of the Groundwater Mode in the Typical Forest Types]. *Trudy Darvinskogo zapovednika* [Proc. Darwin Reserve], 1968, no. 9, pp. 5–42.
4. Melekhov I.S. *Lesovedenie* [Silviculture]. Moscow, 1980. 408 p.
5. Pisanov V.S. *Rost i razvitie lishaynikovo-zelenomoshnykh sosnyakov v usloviyakh vliyaniya Rybinskogo vodokhranilishcha* [The Growth and Development of Lichen-Green Moss Pine Forests Under the Impact Conditions of the Rybinsk Reservoir]. *Struktura i dinamika rastitel'nosti i pochv v zapovednikakh RSFSR* [A Structure and Dynamics of Vegetation and Soils in the RSFSR Reserves]. Moscow, 1982, pp. 39–51.
6. Pisanov V.S. *Etapy i tempy formirovaniya sosnyakov lishaynikovo-zelenomoshnykh v usloviyakh vliyaniya vodokhranilishcha* [Stages and Rates of Formation of Lichen-Green Moss Pine Forests Under the Impact Conditions of a Reservoir]. *Lesnoy zhurnal*, 2000, no. 3, pp. 34–38.
7. Uspenskaya A.A. *Materialy k izucheniyu pochvennogo pokrova osnovnykh tipov lesov Darvinskogo zapovednika* [The Materials to Study the Soil Cover of the Main Forest Types of the Darwin Reserve]. *Trudy Darvinskogo zapovednika* [Proc. Darwin Reserve], 1968, no. 9, pp. 123–181.

Received on September 30, 2015



ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 625.711.84

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.108

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ЛЕСНЫХ ДОРОГ

Л.Я. Громская, канд. техн. наук, доц.

М.В. Симоненков, асп.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова, пер. Институтский, д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021;
e-mail: gromskaya.stl@gmail.com

Проведен обзор достижений и возможностей использования современных методов моделирования и оптимизации при автоматизированном проектировании дорожных сетей и лесных дорог. Выбор методов оптимизации позволит повысить эффективность в принятии решений по планированию и организации дорожного строительства. В обзор включены как отечественные, так и зарубежные разработки, в которых отмечены общие тенденции развития и отличительные особенности. Рассмотрены существующие подходы и стадии проектирования, а также уровни планирования лесных дорог. Приведены модели пространственных данных – векторная и растровая, которые лежат в основе моделирования транспортных сетей. В зависимости от стадии проектирования выделены основные задачи оптимизации автомобильных дорог, для решения которых перечислены две используемые категории методов: точные и эвристические. По методам оптимизации приведены примеры решаемых задач. Показано, что самыми распространенными методами оптимизации транспортных сетей являются метод кратчайшего пути и алгоритм минимального покрывающего дерева. Они лежат в основе поиска оптимальной транспортной сети на графах, успешно реализованных при решении транспортных задач на среднесрочную и краткосрочную перспективу и для небольших территорий. На основе выполненного анализа выделена классификация моделей лесных дорог. Сделаны выводы, что при стратегическом планировании актуальным является использование методов многокритериальной оптимизации и пространственного анализа на базе геоинформационной системы. Предложена система управления лесными дорогами, которая будет включать следующие основные блоки: информационный, модельный, оптимизационный и визуализационный. Эффективность системы будет зависеть от выработки долгосрочной стратегии и оптимизации основных лесных дорог, а также обеспечения взаимосвязи подбора лесосечного фонда и перспективных календарных планов ввода запроектированных генеральной

Для цитирования: Громская Л.Я., Симоненков М.В. Современное состояние моделирования и оптимизации лесных дорог // Лесн. журн. 2016. № 5. С. 108–122. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.108

схемой участков автомобильных дорог. В зависимости от уровня планирования возможно использование нескольких методов оптимизации.

Ключевые слова: лесные дороги, дорожная сеть, лесозаготовки, планирование лесной транспортной инфраструктуры, проектирование лесных дорог, методы моделирования и оптимизации.

Принцип многоцелевого и неистощительного использования лесов требует создания постоянной дорожной сети. Проблема проектирования лесных дорог многоцелевого назначения заключается в сложности учета природных, социально-экономических, экологических и специфических факторов, а также противопожарных, рекреационных и экотуристических функций дорог. Рациональное планирование и проектирование автомобильных лесных дорог позволяет снизить затраты на дорожное строительство, уменьшить общую плотность дорог и минимизировать отрицательное воздействие на окружающую среду.

Цель данного исследования – представление достижений и возможностей использования методов моделирования и оптимизации при проектировании лесных дорог.

В ходе обзора открытых источников были выявлены основные закономерности создания дорожных сетей, выделены этапы и стадии проектирования и основные решаемые оптимизационные задачи. Обзор проведен по материалам как зарубежных, так и отечественных источников. При этом отмечены не только общие тенденции развития, но и отличительные особенности.

Результатом этого исследования является оценка возможностей существующих методов и моделей проектирования дорог. На основе проведенного анализа предложена единая концепция создания лесных дорог для многоцелевого использования лесных ресурсов.

Проектирование лесных дорог различной иерархии является сложным процессом, который традиционно выполнялся в несколько стадий и поэтапно. Согласно ВСН 05–87 «Инструкция по производству изысканий лесохозяйственных автомобильных дорог» (Всесоюзный государственный проектно-изыскательский институт «Союзгипролесхоз» Гослесхоза СССР), на предпроектной стадии разрабатывалась генеральная схема развития сети лесных автомобильных дорог (схема транспортного освоения) на перспективный срок (10 лет и более), или полное транспортное освоение, где намечались главные лесные дороги – магистрали и ветки. Она являлась основой для разработки технико-экономических обоснований (ТЭО) или технико-экономических расчетов (ТЭР) на предпроектной стадии, устанавливающих целесообразность развития дорожных сетей, зон тяготения или строительства отдельных дорог. Далее следовали проектная и рабочая стадии.

С 2008 г. в России перешли на долго-, средне- и краткосрочное лесное планирование, в рамках которого предусматривается планирование лесных дорог. При долгосрочном планировании приводится характеристика транспортной доступности освоения лесов, включая данные о существующих транспортных

путях в лесах, их протяженности и состоянии по лесничествам и лесопаркам, а также обеспеченность транспортными путями в сравнении с потребностью в них и планируемое развитие лесной и лесоперерабатывающей инфраструктуры с учетом их наличия и перспектив освоения лесов для различных видов использования. Проекты освоения лесов, по сравнению с прежними проектами рубок, не содержат крупномасштабных картографических материалов с размещением (нарезкой) лесосек. Предполагается, что лесопользователи самостоятельно выбирают необходимые участки в пределах допустимых объемов в соответствии с действующими нормами и правилами. В Проекте освоения лесов раздел «Состояние лесной инфраструктуры» содержит характеристику и состояние существующих объектов лесной и лесоперерабатывающей инфраструктуры, их размещение на территории. Приводится обоснование и проектирование новых объектов с расчетом заготавливаемой при этом древесины. Средне- и краткосрочное планирование включает подбор и отвод лесосек и предполагает разработку схемы транспортного освоения первичной транспортной сети арендуемых участков.

Таким образом, планирование лесных дорог напрямую связано с этапом планирования рубок и других лесохозяйственных мероприятий. Лесное планирование осложняется множеством факторов, изменяющихся во времени и пространстве, связано с различными рисками и неопределенностью.

За рубежом планирование лесных дорог включает в себя стратегический, тактический и оперативный уровни. На стратегическом уровне выполняются планирование лесозаготовок и других лесохозяйственных мероприятий сроком на 5 лет и более, планирование доступа к участкам заготовки на основе существующей и потенциально необходимой проектируемой сети лесных дорог. На тактическом уровне определяются: схема размещения лесозаготовительного оборудования, на каких участках какие методы заготовки использовать, последовательность проведения лесохозяйственных мероприятий на участках заготовки, какие конкретные участки дорог модернизировать, поддерживать и/или построить и др. На оперативном уровне решаются вопросы строительства, обслуживания и вывода из эксплуатации указанных участков дорог, проведение полевых работ. Таким образом, стратегическое планирование дает ответ на вопрос, что и когда делать, где делать – рассматривается на тактическом уровне, а как делать – на оперативном.

Лесная отрасль имеет социальные, экологические и экономические аспекты развития, предоставляет широкий спектр продукции и услуг. Социально-экономические условия сильно различаются по всему миру, при этом разные методы были разработаны и адаптированы для решения проблем лесопользования, связанных с локальными задачами управления лесным хозяйством.

Необходимо особо отметить, что у лесов России есть некоторые различия по сравнению с лесами других стран. Практически все российские леса имеют разновозрастную смешанную структуру, поэтому модели стратегического пла-

нирования, разработанные для североамериканских и североевропейских лесонасаждений, могут применяться при условии глубокой адаптации.

В литературе можно найти примеры систем планирования лесозаготовок с учетом пространственных ограничений. Эти модели являются основой для планирования управления лесами, но не так много систем, которые решают задачи проектирования сети лесных дорог. Чаще встречаются отдельные компьютерные модели и программы, предназначенные для проектирования лесных дорог. Это вызвано, прежде всего, сложностью и учетом множества факторов при создании системы лесных дорог.

Несмотря на важность и масштабность задачи, планирование лесозаготовок и лесных дорог в России в настоящее время – это ручной либо полуавтоматизированный процесс. Проблемы управления дорожными системами стали слишком сложны для решения с помощью традиционных методов, которые в основном состоят из полевых изысканий. Выбор кратчайшего маршрута по одному из критериев проектирования, например по стоимости, не всегда обеспечивает приемлемые показатели других критериев. Компьютерный анализ местоположения дороги необходим, так как позволяет сократить время, затрачиваемое на проектирование с оценкой альтернатив и учетом экономических, экологических и других ограничений.

В основе моделирования дорожных сетей лежат различные модели данных, имеющих пространственную привязку. Моделирование транспортных сетей базируется на Географической информационной системе (ГИС). Все множество моделей пространственных данных делится на две большие группы: векторные и ячеистые модели.

Векторные модели предназначены для описания совокупностей отдельных объектов, например дорог. В них каждый объект задается некоторым набором координат на плоскости или в пространстве, а также совокупностью атрибутов. В векторных нетопологических моделях все объекты полностью независимы друг от друга и могут произвольно размещаться в пространстве. Они состоят из собственно описания отдельных объектов, а также из описаний топологии – отношений отдельных объектов между собой. Наиболее распространенными топологическими моделями являются линейно-узловая модель (покрытие) и транспортная сеть.

Ячеистые модели описывают непрерывные поля данных, такие как космоснимки местности, поля загрязнений окружающей среды, высотных отметок (рельеф). В ячеистых моделях некоторый участок территории неразрывно разбивается на одинаковые (прямоугольники в растровой или треугольники в регулярной модели) или различные (треугольники в нерегулярной триангуляционной модели) фрагменты, каждый из которых описывается своим набором атрибутов.

Модель транспортной (геометрической) сети предназначена, в первую очередь, для описания в виде связанного графа схемы транспортных путей (автомобильных и железных дорог, авиалиний и водных маршрутов) для последующего

сетевого анализа. Транспортная сеть содержит два основных типа объектов (узлы и дуги) и один дополнительный – маршруты.

Кроме векторной модели, при моделировании дорожных сетей используют растровые модели. В растровой (ячейистой) модели данных вся плоскость разбивается системой равноотстоящих вертикальных и горизонтальных прямых на одинаковые ячейки – пиксели, каждому из которых сопоставлен какой-то код. В каждом пикселе может храниться какая-то числовая характеристика пространства (например, высота рельефа, цвет на фотоснимке, уровень загрязнения окружающей среды) или код объекта, которому принадлежит соответствующий пиксель.

В зависимости от уровня планирования и стадии проектирования лесных дорог решаются следующие основные задачи:

1. Оптимизация сети лесных дорог.
2. Оптимизация общей стоимости дороги. Основные факторы стоимости, связанные с управлением дорожной сетью, включают в себя строительство, ремонт и содержание дорог, а также транспортные расходы. Чаще всего при оптимизации в компьютерных системах проектирования дорог используется «подход себестоимости», т. е. устанавливаются затраты на единицу продукции, приходящиеся на количество проектных параметров (например, м³, м², м и др.).
3. Оптимизация местоположения трассы дороги.
4. Оптимизация продольного профиля дороги.
5. Одновременная оптимизация плана трассы и продольного профиля дороги при минимальной общей стоимости и условии указания ограничений проектирования дорог.
6. Оптимизация распределения земляных работ. Земляные работы состоят из основных мероприятий, включая разработку, перемещение, погрузку, транспортировку и разгрузку, а также уплотнение грунта. Как правило, проектировщик оценивает количество материала, необходимое для каждого участка дороги, характерные грунты вдоль дороги, местоположение и запасы материалов для строительства, а также удельные затраты на земляные работы.

Для решения оптимизационных задач выделяют две основные категории методов:

точные методы (exact techniques), которые находят поистине глобальное оптимальное решение, если это решение существует;

эвристические методы (heuristic), которые находят «лучшее решение» или диапазон почти оптимальных решений задач.

К *точным* относятся:

линейное программирование (ЛП) (linear programming) – метод нахождения максимального или минимального значения линейной целевой функции при наличии линейных ограничений и неотрицательности переменных;

целочисленное программирование (ЦП) (integer programming) – метод оптимизации линейной функции при линейных ограничениях, в которой на значения всех или части переменных наложено требование целочисленности;

многоцелевая оптимизация (multi-objective optimization) – это многокритериальная оптимизация, процесс поиска оптимального решения задачи с учетом нескольких критериев одновременно;

нелинейные методы математического программирования – используются там, где отношения между переменными в целевой функции и ограничениях не являются линейными. К ним относятся динамическое (dynamic), квадратичное (quadratic) и геометрическое программирование (geometric programming).

Эвристические методы – это методы для поиска повторяющейся процедуры, где улучшенное решение относительно текущей определяется на основе опыта и эмпирических правил. При оптимизации лесных дорог используются следующие эвристические методы:

метод моделируемого (имитируемого) отжига (simulated annealing);

метод Монте-Карло;

табу поиск, или поиск с запретом (tabu search);

генетический алгоритм (genetic algorithm).

Описание и математические формулировки методов оптимизации можно найти в специальной литературе.

При размещении лесных дорог целочисленное линейное программирование использовали Najafi, Sobhani, Abdi [11, 28, 29].

Динамическое программирование применял для определения оптимального местоположения лесной дороги (оптимального маршрута) Tan [39], для проектирования сети лесных дорог – Герасимов, Соколов, Рожин [2, 3, 8–10], для определения оптимального класса дороги – Anderson и др. [13], для нахождения последовательности транспортного освоения лесосек и лесных дорог – Антонова [1], для размещения лесовозной дороги – Saito [32].

В последнее время при проектировании дорог и дорожных сетей используются такие современные эвристические методы, как Simulated Annealing, Genetic Algorithm, Tabu Search. Метод Simulated Annealing был использован Akaу [12] для поиска лучшего варианта продольного профиля при минимуме общих затрат на строительство, транспорт, техническое обслуживание одного вида лесной дороги. Genetic Algorithm (GA) применяли Liatsis и Tawfik [25] для создания дороги в двух измерениях, Jong и Schonfield [24] разработали подход GA для оптимизации профиля дороги и исследовали эффективность алгоритма на пересеченной местности. Tan [38] использовал эвристический метод, чтобы выбрать кратчайший путь развития из набора сетевых связей с помощью метода Дейкстры. Clark и др. [21] также воспользовались этим методом для проектирования подъездных дорог. Weintraub и др. [22, 40, 41] описали две модели: OPTIMED, которая использует эвристический метод на основе ЛП, осуществляя выбор среди дорожно-строительных вариантов, которые заявлены заранее; PLANEX, которая использует базы данных растровой ГИС и другую информацию наряду с эвристической, чтобы найти подъездные пути при планировании лесозаготовок. Метод Tabu Search (ТА) применял Aruga [15] при выборе альтернативных вариантов продольного профиля при минимуме строительных и эксплуатационных затрат. Можно перечислить и другие примеры использования эвристических методов: проектирование сети лесных

дорог и определение месторасположения лесной дороги – Chung, Sessions [18–20], последовательность освоения лесосек – Chung, Bower, O'Brien, Sessions [16, 17], оптимизация сети лесных дорог – Schwartz, Stückelberger [33], планирование подъездных лесных дорог при оперативном планировании – Frayret, Meignan, Pesant [23].

Основным недостатком эвристических методов является приближенное вычисление результата.

Метод кратчайшего пути (Shortest Path Algorithms) – самый распространенный при решении транспортных задач. В общем задача кратчайшего пути сводится к поиску серии автомобильных дуг двух узлов таким образом, чтобы сумма весов на этих краях была сведена к минимуму. Существует несколько подходов к определению оптимальных маршрутов на графе. Одним из самых простых и точных является алгоритм Дейкстры. Этот метод использовали Sessions [34], Anderson, Nelson [13] и реализовали его на ЭВМ для стратегического планирования дорог, Герасимов, Сюнёв, Соколов [3, 10] – для определения оптимальных маршрутов на графах при решении задач транспортировки древесины. Метод кратчайшего пути применял Stückelberger [35–37] при определении стоимости и содержания дорог, а также при нахождении стоимости дороги за срок службы, Meng [27] – при размещении дороги. Интерактивное проектирование лесных дорог проводили Frayret, Meignan, Pesant [23].

Проект сети дорог на примере модели STEIN [4] представляется моделью в виде некой плоской реализации ориентированного графа – корневого дерева, дугами которого являются участки дорог, вершинами – центры запасов древесины в лесных кварталах (фиксированные вершины) и свободно размещаемые развилки (точки Штейнера).

Аналогично в модели «Лес-оптима» [5–7] участок лесного фонда представляется в виде связного взвешенного графа, в котором вершины – участки лесного фонда, ребра – возможные транспортные пути между ними, характеризующиеся соответствующими стоимостями строительства дорог.

В моделях Герасимова, Соколова и др. [2, 3, 10] задаются множество вершин и множество дуг. Каждой вершине присваивается вес прямо пропорциональный выигрышу, получаемому от заготовки в некоторой окрестности от этой вершины. Каждой дуге также присваивается вес, прямо пропорциональный рентабельности строительства участка дорог, совпадающего с данной дугой. В основу графоаналитической модели положен алгоритм построения минимального покрывающего дерева.

Большим преимуществом алгоритмов на графах является то, что в результате его работы всегда будет найдено оптимальное решение. Он хорошо работает только при небольшом количестве узлов в графе. При росте числа узлов резко увеличивается время поиска решения, так как для каждой новой точки маршрута всегда проверяются все варианты (все узлы графа), в том числе и заведомо бесперспективные. Поэтому время работы алгоритма оказывается пропорциональным величине N^2 (где N – число узлов графа).

При определении маршрутов на сложных графах, соответствующих дорожной сети, покрывающей лесосырьевую базу крупных лесопромышленных предприятий, затрачиваемое время измеряется десятками минут на один маршрут. Такие затраты времени слишком велики с точки зрения удобства практического применения системы. Поэтому в целях сокращения времени поиска используют эвристические алгоритмы, позволяющие не проводить проверку всех узлов на каждом шаге.

В последнее время актуальным является моделирование дорожных сетей с использованием методов многокритериальной оптимизации и пространственного анализа на базе растровых моделей: оптимизация и моделирование горных дорог [33, 35], оптимизация стоимости перевозки и планирование сети лесных дорог [18, 20], оценка доступности территории с учетом способов заготовки, определение уклонов дорог [26, 31], размещение дороги с учетом влажности и уклонов местности, местоположения и размеров водопропускных сооружений [27], моделирование сети лесных дорог [30]. При стратегическом планировании эти методы являются наиболее эффективными.

Общие принципы поиска оптимальной транспортной сети на графах, которые успешно реализованы при решении транспортных задач на средне- и краткосрочную перспективу и для небольших территорий, сводятся к следующим положениям:

- установление потенциально возможных маршрутов к участкам леса;
- проведение анализа каждого альтернативного маршрута по критерию экономической эффективности;
- выбор оптимальных маршрутов по критерию минимальных затрат на строительство дорожной сети;
- проведение корректировки маршрутов с учетом различных факторов.

На основе выполненного нами анализа можно составить классификацию моделей лесных дорог:

- уровень планирования (стратегический, тактический, оперативный);
- математический метод (моделирование, оптимизация – точные или эвристические методы);
- векторная и/или растровая модели пространственных данных дорожных сетей.

Таким образом, к настоящему времени в мире разработано большое количество моделей для оптимизации лесных дорог, но в условиях России они не нашли широкого применения из-за отсутствия коммерческих программных продуктов, которые можно было бы использовать на практике. Прежде всего это обусловлено отсутствием государственной поддержки и заказов со стороны лесопользователей, недостатком финансовых средств не только на создание лесотранспортной инфраструктуры, но и в лесной отрасли в целом.

Управление системой лесных дорог рассматривает многоцелевые аспекты. Так, кроме доступности проведения лесохозяйственных мероприятий, заготовки древесины, необходимо учитывать экологические и социальные аспекты.

Лесная дорога – это многофункциональная дорога, при строительстве которой необходимо учитывать интересы других отраслей и населения, что требует выработки долгосрочной стратегии и плана развития лесных дорог регионов, в которых обозначены требования к лесным дорогам как со стороны государства, так и со стороны лесопользователей. Эти стратегические документы должны быть увязаны с территориальным развитием на уровне субъекта Российской Федерации и со стратегией развития в регионе лесной отрасли и лесопромышленных кластеров. Задача транспортного освоения арендуемых лесных участков лесопромышленного предприятия состоит в том, чтобы подобрать лесосечный фонд в рубку на срок до 10 лет на основе проекта освоения лесов и стратегического плана лесных дорог. При подборе лесосек необходимо обеспечить взаимосвязь подбора лесосечного фонда и перспективных календарных планов ввода запроектированных генеральной схемой участков автомобильных дорог.

Для этого предлагается создать систему управления лесными дорогами, которая будет включать следующие блоки:

актуализация лесных дорог с использованием средств дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) на базе ГИС лесоустройства;

моделирование и оптимизация трасс лесных дорог для долгосрочного планирования лесопользования;

моделирование и оптимизация набора лесосек в рубку в соответствии с действующими нормативами;

моделирование и оптимизация последовательности транспортного освоения на средне- и краткосрочную перспективу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонова Т.С. Обоснование методики размещения лесосек и транспортного освоения лесов лесозаготовительного предприятия на базе геоинформационных систем: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГЛТУ, 2012. 170 с.

2. Герасимов Ю.Ю., Соколов А.П., Катаров В.К. Разработка системы оптимального проектирования сети лесовозных дорог // Инф. технологии. 2011. № 1. С. 39–44.

3. Герасимов Ю.Ю., Сютёв В.С., Соколов А.П. Алгоритмы определения оптимальных маршрутов на графах для решения задач управления системами транспортировки древесины для лесопромышленного комплекса и биоэнергетики // Тр. лесотехн. ф-та ПетрГУ. 2010. Вып. 8. С. 30–33. (с 2013 г. Resources and Technology).

4. Кукин В.Д., Кузина В.И. Реализация концепции очередности освоения лесосырьевой базы в системе STEIN // Методы математического моделирования и информационные технологии: тр. ИПМИ Карел. НЦ РАН. Вып. 1. Петрозаводск, 1999. С. 169–174.

5. Мохирев А.П. Обоснование проектирования сети лесных дорог на примере предприятий Нижнего Приангарья: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2007. 176 с.

6. Мохирев А.П., Дрягин В.В. Географическая информационная система для управления лесопользованием «Лес-оптима»: а.с. № 2012612350 РФ. № 2012610059; заявл. 10.01.12; зарег. 05.03.2012. 1 с.

7. Мохирев А.П., Егармин П.А. Географическая информационная система планирования оптимального освоения лесного фонда // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 4 (12). С. 172–177.
8. Рожин Д.В. Обоснование комплекса ремонтно-строительных мероприятий сети лесовозных дорог лесозаготовительного района: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Петрозаводск, 2012. 21 с.
9. Соколов А.П., Герасимов Ю.Ю. Система поддержки технологий по производству и логистике древесного топлива: алгоритмы и оптимизация // Хвойные борельной зоны. 2013. Т. 31, № 1. С. 208–214.
10. Соколов А.П., Сютёв В.С., Герасимов Ю.Ю., Каръялайнен Т. Оптимизация логистики лесозаготовок // Resources and Technology. 2012. № 9(2). С. 117–128.
11. Abdi E., Majnounian B., Darvishsefat A., Mashayekhi Z., Sessions J. A GIS-MCE based model for forest road planning // J. of Forest Science. Vol. 55 (4). P. 171–176.
12. Akay A. A new methodology in designing forest roads // Turkish J. Agricul. Forest. 2004. Vol. 28. P. 273–279.
13. Anderson A., Nelson J., D'Eon R. Determining optimal road class and road deactivation strategies using dynamic programming // Canadian J. of Forest Research. 2006. Vol. 36. P.1509–1518.
14. Anderson A., Nelson J. Projecting vector-based road networks with a shortest path algorithm // Canadian J. of Forest Research. 2004. Vol. 34. P. 1444–1457.
15. Aruga K. Tabu search optimization of horizontal and vertical alignments of forest roads // J. of Forest Research. 2005. Vol. 10. P. 275–284.
16. Chung W. SNAP for ArcGIS // A Scheduling and Network Analysis Program for Tactical Harvest Planning. 2010.
17. Chung W., Dykstra D.P., Bower F., O'Brien S.A., Abt R.M., Sessions J. User's Guide to SNAP for ArcGIS®: ArcGIS Interface for Scheduling and Network Analysis Program. USDA Forest Service PNW-GTR-847. 2012. 34 p.
18. Chung W., Sessions J. NETWORK 2000: a program for optimizing fixed and variable cost transportation systems // Proceedings of Eight Symposium on Systems Analysis in Forest Resources. Kluwer Press, 2000.
19. Chung W., Sessions J. Designing a forest road network using heuristic optimization techniques // Proc. of the 24th Meeting of the Council of Forest Engineering, July 15–19. Snowshoe, West Virginia, 2001.
20. Chung W., Sessions J. NETWORK 2001 – Transportation planning under multiple objectives / P. Schiess and F. Krogstad (eds.) // Proceedings of the International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium, December 10–12. Seattle, WA, 2001.
21. Clark M.M., Meller Russell D., McDonald T.P. A three-stage heuristic for harvest scheduling with access road network development // Forest Science. 2000. Vol. 46(2). P. 204–218.
22. Epstein R., Weintraub A., Sapunar P., Nieto E., Sessions J., Sessions F., Bustamante F., Musante H. A combinatorial heuristic approach for solving real-size machinery location and road design problems in forestry planning // Annals of Operations Research. 2006. Vol. 54(6). P. 1017–1027.
23. Frayret J.-M., Meignan D., Pesant G. Interactive Planning System for Forest Road Construction // International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain (ILS 2012), August 26–29. Quebec, Canada, 2012.

24. *Jong J.C., Schonfeld P.* An Evolutionary Model for Simultaneously Optimizing Three-Dimensional Highway Alignments. *Transportation Research. Part B.* 2003. Vol. 37. P. 107–128.
25. *Liatsis P., Tawfik H.M.* Two-Dimensional Road Shape Optimisation Using Genetic Algorithms // *Mathematics and Computers in Simulation.* 1999. Vol. 51. P. 19–31.
26. *Lubello D.* A rule-based SDSS for integrated forest harvesting planning // *Università degli Studi di Padova.* 2008.
27. *Meng X.* Design of GIS Based Forest Road Layout and Environmental Assessment Tool: MS thesis. University of New Brunswick, 2001.
28. *Najafi A., Evelyn W. Richards.* Designing a Forest Road Network Using Mixed Integer Programming // *Croatian J. of Forest Engineering.* 2013. Vol. 34(1). P. 13.
29. *Najafi A., Sobhani H, Saeed A., Makhdom M., Mohajer M.* Planning and assessment of alternative forest road and skidding networks // *Croatian J. of Forest Engineering.* 2008. Vol. 29(1). P. 63–73.
30. *Newnham R.M.* ROADPLAN: a tool for designing forest road networks // *J. of Forest Engineering.* 1995. Vol. 6(2). P. 17–26.
31. *Pellegrini M.* Support tools for planning and management of a forest road network // *Università degli Studi di Padova.* 2012.
32. *Saito M., Goshima M., Aruga K., Matsue K., Shuin Y., Tasaka T.* Study of Automatic Forest Road Design Model Considering Shallow Landslides with LiDAR Data of Funyu Experimental Forest // *Croatian J. of Forest Engineering.* 2013. Vol. 34(1). P. 1–15.
33. *Schwartz J., Stückelberger J.* Computing Lower Bounds for Steiner Trees in Road Network Design // *The 7th International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA'08), October 31–November 3. Lijiang, China, 2008.*
34. *Sessions J., Sessions J.B.* Scheduling and Network Analysis Program (SNAP II): User's Guide / Department of Forest Engineering, Oregon State University. USA, Corvallis, OR, 1991.
35. *Stückelberger J.A.* A weighted-graph optimization approach for automatic location of forest road networks: Diss Nr 17366 / Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich. Zürich, 2007. 127 p.
36. *Stückelberger J.A., Heinimann H.R., Burlet E.C.* Modelling spatial variability in the life-cycle costs of low-volume forest roads // *European J. of Forest Research.* 2006. Vol. 125. P. 377–390.
37. *Stückelberger J.A., Heinimann H.R., Chung W., Ulber M.* Automatic road-network planning for multiple objectives // *Council on Forest Engineering: Annual Conference, Coeur d'Alene, MT, USA / eds. W. Chung and H.S. Han. USA: University of Montana, 2006. P. 233–248.*
38. *Tan J.* Locating Forest Roads by a Spatial and Heuristic Procedure Using Microcomputers // *J. of Forest Engineering.* 1999. Vol. 10(2). P. 91–100.
39. *Tan J.* Application of Dynamic Programming to Optimum Location of Forest Road // *J. of Forest Engineering.* 2000. P. 85–89.
40. *Weintraub A., Church R.L., Murray A.T., Guignard M.* Forest Management Models and Combinatorial Algorithms: Analysis of State of the Art // *Annals of Operations Research.* 2000. Vol. 96. P. 271–285.
41. *Weintraub A.P., Epstein R., Murphy G., Manley B.* The Impact of Environmental Constraints on Short Term Harvesting: Use of Planning Tools and Mathematical Models // *Annals of Operations Research.* 2000. Vol. 5. P. 41–66.

Поступила 18.04.16

UDC 625.711.84

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.108

Current Status of Modeling and Optimization of Forest Roads

L.Ya. Gromskaya, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

M.V. Simonenkov, Postgraduate Student

Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov,

Institutskiy pereulok, 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation;

e-mail: gromskaya.stl@gmail.com

The paper presents the achievements and opportunities of using modern modeling and optimization methods in the automated design of road networks and forest roads. The selection of optimization techniques will improve the efficiency of decision-making for the planning and organization of road construction. The survey includes both domestic and foreign developments with the general trends and distinctive features. The paper considers the existing approaches, design stages and the levels of forest road planning. Vector and raster spatial data models, which are the base of road networks modeling, are introduced. The main highways design optimization problems are highlighted depending on the process phase. Solution methods are listed in two categories – the exact and heuristic along with problems-solving examples. The most common methods of transport networks optimization are the shortest path method and the minimum spanning tree algorithm. They form the base of the search process of optimal transport network on graphs, successfully implemented in solving transport problems in the medium and short terms, and for small areas. On the basis of the analysis the classification of forest roads models are highlighted. It is concluded that the use of multi-criteria optimization methods and spatial analysis based on the geographic information system is actual for strategic planning problems. The paper proposes the creation of forest roads management system with four main units: informational, modeling, optimization and visualization. The effectiveness of the system will depend on the development of long-term strategy and optimization of the main forest roads, as well as the supporting of the selection relationship of cutting fund and prospective schedule of putting into operation of road sections projected by the general scheme. Several optimization techniques depending on the level of planning can be used.

Keywords: forest roads, road network, logging, forest transport infrastructure planning, forest road design, modeling and optimization method.

REFERENCES

1. Antonova T.S. *Obosnovanie metodiki razmeshcheniya lesosek i transportnogo osvoeniya lesov lesozagotovitel'nogo predpriyatiya na baze geoinformatsionnykh system: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Justification of a Technique of Cutting Areas Allocation and Transport Forest Exploitation of a Logging Enterprise Based on the GIS: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Saint Petersburg, 2012. 170 p.

For citation: Gromskaya L.Ya., Simonenkov M.V. Current Status of Modeling and Optimization of Forest Roads. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 5, pp. 108–122. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.108.

2. Gerasimov Yu.Yu., Sokolov A.P., Katarov V.K. Razrabotka sistemy optimal'nogo proektirovaniya seti lesovoznykh dorog [Development of the Optimal Design System of the Forest Roads Network]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2011, no. 1, pp. 118–124.
3. Gerasimov Yu.Yu., Syunev V.S., Sokolov A.P. Algoritmy opredeleniya optimal'nykh marshrutov na grafakh dlya resheniya zadach upravleniya sistemami transportirovki drevesiny dlya lesopromyshlennogo kompleksa i bioenergetiki [Algorithms for Optimal Routes Determination on Graphs for the Control Solution of Timber Transport Systems for the Timber Industry and Bioenergy]. *Trudy lesoinzhenerenogo Fakul'teta PetrGU*, 2010, no. 8, pp. 30–33.
4. Kukin V.D., Kuzina V.I. Realizatsiya kontseptsii ocherednosti osvoeniya lesosyr'evoy bazy v sisteme STEIN [Implementation of the Concept of Development Priority of Forest Resources in the STEIN]. *Metody matematicheskogo modelirovaniya i informatsionnye tekhnologii: trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN* [Methods of Mathematical Modeling and Information Technologies: Transactions of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences], 1999, no. 1, pp. 169–174.
5. Mokhirev A.P. *Obosnovanie proektirovaniya seti lesnykh dorog na primere predpriyatiy Nizhnego Priangar'ya*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Justification of the Forest Road Network Design on the Example of the Enterprises of the Lower Angara Region: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Krasnoyarsk, 2007. 176 p.
6. Mokhirev A.P., Dryagin V.V. *Geograficheskaya informatsionnaya sistema dlya upravleniya lesopol'zovaniem "Les-optima"* [Geographic Information System "Les-Optima" for Forest Management]. Certificate of authorship RF, no. 2012612350, 2012.
7. Mokhirev A.P., Egarmin P.A. Geograficheskaya informatsionnaya sistema planirovaniya optimal'nogo osvoeniya lesnogo fonda [Geographic Information System of the Forest Optimal Development Planning]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2011, no. 4(12), pp. 172–177.
8. Rozhin D.V. *Obosnovanie kompleksa remontno-stroitel'nykh meropriyatiy seti lesovoznykh dorog lesozagotovitel'nogo rayona*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Justification of the Complex of Repair and Construction Projects of the Forest Roads Network in a Cutting Area: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Petrozavodsk, 2012. 21 p.
9. Sokolov A.P., Gerasimov Yu.Yu. Sistema podderzhki tekhnologiy po proizvodstvu i logistike drevesnogo topliva: algoritmy i optimizatsiya [The Support System of Wood Fuel Production and Logistics Technologies: Algorithms and Optimization]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2013, vol. 31, no. 1, pp. 208–214.
10. Sokolov A.P., Syunev V.S., Gerasimov Yu.Yu., Kar'yalaynen T. Optimizatsiya logistiki lesozagotovok [Optimization of Harvesting Logistics]. *Resources and Technology*, 2012, no. 9(2), pp. 117–128.
11. Abdi E., Majnounian B., Darvishsefat A., Mashayekhi Z., Sessions J. A GIS-MCE Based Model for Forest Road Planning. *J. of Forest Science*, 2009, vol. 55(4), pp. 171–176.
12. Akay A. A New Methodology in Designing Forest Roads. *Turkish J. Agricul. Forest.*, 2004, vol. 28, pp. 273–279.
13. Anderson A., Nelson J., D'Eon R. Determining Optimal Road Class and Road Deactivation Strategies Using Dynamic Programming. *Canadian J. of Forest Research*, 2006, vol. 36, pp. 1509–1518.
14. Anderson A., Nelson J. Projecting Vector-Based Road Networks with a Shortest Path Algorithm. *Canadian J. of Forest Research*, 2004, vol. 34, pp. 1444–1457.

15. Aruga K. Tabu Search Optimization of Horizontal and Vertical Alignments of Forest Roads. *J. of Forest Research*, 2005, vol. 10, pp. 275–284.
16. Chung W. SNAP for ArcGIS. *A Scheduling and Network Analysis Program for Tactical Harvest Planning*, 2010.
17. Chung W., Dykstra D.P., Bower F., O'Brien S.A., Abt R.M., Sessions J. User's Guide to SNAP for ArcGIS®: ArcGIS Interface for Scheduling and Network Analysis Program. *USDA Forest Service PNW-GTR-847*, 2012. 34 p.
18. Chung W., Sessions J. NETWORK 2000: a Program for Optimizing Fixed and Variable Cost Transportation Systems. *Proc. of the 8th Symposium on Systems Analysis in Forest Resources*. USA, Boston, 2003.
19. Chung W., Sessions J. Designing a Forest Road Network Using Heuristic Optimization Techniques. *Proc. of the 24th Meeting of the Council of Forest Engineering, July 15–19*. USA, Snowshoe, West Virginia, 2001.
20. Chung W., Sessions J. NETWORK 2001 – Transportation Planning Under Multiple Objectives. Ed. by P. Schiess and F. Krogstad. *Proc. of the International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium, December 10–12*. USA, Seattle, WA, 2001.
21. Clark M.M., Meller Russell D., McDonald T.P. A Three-Stage Heuristic for Harvest Scheduling with Access Road Network Development. *Forest Science*, 2000, vol. 46(2), pp. 204–218.
22. Epstein R., Weintraub A., Sapunar P., Nieto E., Sessions J., Sessions F., Bustamante F., Musante H. A Combinatorial Heuristic Approach for Solving Real-Size Machinery Location and Road Design Problems in Forestry Planning. *Annals of Operations Research*, 2006, vol. 54(6), pp. 1017–1027.
23. Frayret J.-M., Meignan D., Pesant G. Interactive Planning System for Forest Road Construction. *International Conf. on Information Systems, Logistics and Supply Chain (ILS 2012), August 26–29*. Canada, Quebec, 2012.
24. Jong J.C., Schonfeld P. An Evolutionary Model for Simultaneously Optimizing Three-Dimensional Highway Alignments. *Transportation Research*, 2003, part B, vol. 37, pp. 107–128.
25. Liatsis P., Tawfik H.M. Two-Dimensional Road Shape Optimization Using Genetic Algorithms. *Mathematics and Computers in Simulation*, 1999, vol. 51, pp. 19–31.
26. Lubello D. A Rule-Based SDSS for Integrated Forest Harvesting Planning. *Università degli Studi di Padova*, 2008.
27. Meng X. *Design of GIS Based Forest Road Layout and Environmental Assessment Tool: MS thesis*. Canada, New Brunswick, 2001.
28. Najafi A., Evelyn W. Richards. Designing a Forest Road Network Using Mixed Integer Programming. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2013, vol. 34(1), p. 13.
29. Najafi A., Sobhani H., Saeed A., Makhdom M., Mohajer M. Planning and Assessment of Alternative Forest Road and Skidding Networks. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2008, vol. 29(1), pp. 63–73.
30. Newnham R.M. ROADPLAN: a Tool for Designing Forest Road Networks. *J. of Forest Engineering*, 1995, vol. 6(2), pp. 17–26.
31. Pellegrini M. Support Tools for Planning and Management of a Forest Road Network. *Università degli Studi di Padova*, 2012.
32. Saito M., Goshima M., Aruga K., Matsue K., Shuin Y., Tasaka T. Study of Automatic Forest Road Design Model Considering Shallow Landslides with LiDAR Data of Funyu Experimental Forest. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2013, vol. 34(1), pp. 1–15.

33. Schwartz J., Stückelberger J. Computing Lower Bounds for Steiner Trees in Road Network Design. *The 7th International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA '08), October 31–November 3*. China, Lijiang, 2008.
34. Sessions J., Sessions J.B. *Scheduling and Network Analysis Program (SNAP II): User's Guide*. USA, Corvallis, OR, 1991.
35. Stückelberger J.A. *A Weighted-Graph Optimization Approach for Automatic Location of Forest Road Network*: Diss. no. 17366. Switzerland, Zürich, 2007. 127 p.
36. Stückelberger J.A., Heinimann H.R., Burlet E.C. Modelling Spatial Variability in the Life-Cycle Costs of Low-Volume Forest Roads. *European J. of Forest Research*, 2006, vol. 125, pp. 377–390.
37. Stückelberger J.A., Heinimann H.R., Chung W., Ulber M. Automatic Road-Networkplanning for Multiple Objectives. Ed. by W. Chung, H.S. Han. *Council on Forest Engineering: Annual Conference, Coeur d'Alene, MT, USA*. USA, University of Montana, 2006, pp. 233–248.
38. Tan J. Locating Forest Roads by a Spatial and Heuristic Procedure Using Micro-computers. *J. of Forest Engineering*, 1999, vol. 10(2), pp. 91–100.
39. Tan J. Application of Dynamic Programming to Optimum Location of Forest Road. *J. of Forest Engineering*, 2000, pp. 85–89.
40. Weintraub A., Church R.L., Murray A.T., Guignard M. Forest Management Models and Combinatorial Algorithms: Analysis of State of the Art. *Annals of Operations Research*, 2000, vol. 96, pp. 271–285.
41. Weintraub A.P., Epstein R., Murphy G., Manley B. The Impact of Environmental Constraints on Short Term Harvesting: Use of Planning Tools and Mathematical Models. *Annals of Operations Research*, 2000, vol. 5, pp. 41–66.

Received on April 18, 2016

УДК 630*935.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.123

СОРТИМЕНТНАЯ ЗАГОТОВКА ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ВЫБОРОЧНЫХ РУБКАХ

В.М. Дербин, канд. техн. наук, доц.

М.В. Дербин, канд. техн. наук, доц.

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

В мировой практике широко распространены хлыстовая и сортиментная заготовка древесины. Хлыстовая заготовка по сравнению с сортиментной имеет ряд существенных преимуществ: сосредоточение большого количества технологических операций на промышленных площадках; применение высокопроизводительного оборудования; использование более дешевой электрической энергии для привода лесозаготовительного оборудования; больший выход деловых сортиментов; более полное использование биомассы дерева. Несмотря на наличие преимуществ хлыстовой технологии в последние годы широко внедряется сортиментная заготовка древесины. Причинами этому послужили следующие обстоятельства: появление большого количества лесозаготовительных предприятий с малым объемом заготовки; физический износ и невозможность приобретения лесоскладского оборудования. Рассмотрено два варианта заготовки древесины при выборочных рубках. Опыт работы операторов харвестеров показал, что для правильного выбора спиливаемых и оставляемых деревьев в поле зрения оператора должно быть 3–5 растущих деревьев. Поэтому для качественного проведения выборочных рубок оператору рекомендуется рабочую зону мысленно разбивать на секторы. Представлены схемы работы харвестеров с разбивкой рабочей зоны на секторы. Показана очередность валки деревьев по секторам. Для правильной оценки технологического процесса рассмотрены критериальные показатели, по значению которых можно судить о ходе процесса и давать ему качественную оценку. К таким показателям относятся производительность машин, энергоемкость процесса, себестоимость продукции, приведенные затраты. Представлена формула производительности харвестера с разбивкой продолжительности обработки одного дерева на составляющие. Проведен анализ продолжительности составляющих времени цикла обработки дерева. Сделан вывод о том, что при работе харвестера по разным технологиям меняются продолжительность манипуляций гидроманипулятора и, соответственно, составляющая продолжительности обработки одного дерева. По первой технологии с одной рабочей позиции обеспечивается валка большего количества деревьев и производительность по этой технологии выше, чем по второй. При выборе технологии работы харвестера необходимо учитывать конкретные условия работы (густота насаждений, почвенные условия).

Ключевые слова: хлыстовая технология, сортиментная технология, выборочные рубки, харвестер, рабочая зона, сектор.

Для цитирования: Дербин В.М., Дербин М.В. Сортиментная заготовка древесины при выборочных рубках // Лесн. журн. 2016. № 5. С. 123–131. (Изв. высш учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.5.123

Введение

В настоящее время в мировой практике широко распространены хлыстовая и сортиментная заготовка древесины. До перестройки в России практически весь объем лесозаготовок осуществлялся по хлыстовой технологии, которая по сравнению с сортиментной имеет ряд следующих преимуществ:

сосредоточение большого количества технологических операций на промышленных площадках – нижних лесоскладах, расположенных в черте рабочих поселков;

использование высокопроизводительного оборудования;

применение электрической энергии для привода лесозаготовительного оборудования, которая значительно дешевле энергии, вырабатываемой двигателями внутреннего сгорания;

большой выход деловых сортиментов;

более полное использование биомассы дерева.

После перестройки в технологию заготовки древесины были внесены существенные коррективы. Несмотря на ряд существенных преимуществ хлыстовой технологии в последние годы широко внедряется сортиментная заготовка древесины. Эта тенденция связана в первую очередь с исключением из лесозаготовительного процесса нижних лесоскладов. Причинами этому явлению послужили следующие обстоятельства:

1. Развитие в лесозаготовительном производстве малого и среднего бизнеса. Практика показывает, что нижние лесосклады являются экономически целесообразными при годовом грузообороте не менее 100 тыс. м³. Только такой объем производства обеспечивает достаточную загрузку всего нижескладского оборудования (краны для выгрузки хлыстов с подвижного состава и выполнения штабелевочных работ, раскряжевочные установки, сортировочные лесотранспортеры, оборудование для отгрузки и штабелевки готовой продукции).

2. Физический износ и невозможность приобретения лесоскладского оборудования.

Объект и методика исследования

Сортиментную заготовку древесины при выборочных рубках можно проводить с использованием бензомоторных пил, процессоров, харвестеров, форвардеров и других механизмов. В настоящее время наибольший интерес представляет заготовка древесины харвестерами и форвардерами, позволяющая механизировать весь лесозаготовительный процесс [1, 3–5, 7, 9–17].

При выборочных рубках следует выполнять ряд лесохозяйственных требований, например исключение повреждений растущих деревьев технологическим оборудованием харвестера или другими деревьями во время валки [6, 8, 15, 16]. Поэтому при валке каждого дерева следует индивидуально выбрать направление его падения.

Цель данной работы – повышение производительности лесозаготовительных машин и эффективности лесосечных работ при выборочных рубках.

Эффективная работа харвестера достигается в том случае, если при валке всех деревьев в рабочей зоне полностью обеспечивается контролируемое управление манипулятором, т. е. для оператора создан достаточный обзор в зоне работы харвестерной головки. Опыт работы показывает, что для правильного выбора спиливаемых и оставляемых деревьев в поле зрения оператора харвестера должно быть 3–5 растущих деревьев. Поэтому для качественного проведения выборочных рубок оператору рекомендуется мысленно разбивать рабочую зону на секторы.

В зависимости от конкретных условий можно использовать две технологии выборочных рубок. Первая предусматривает валку деревьев на трелевочном волоке параллельно направлению движения харвестера. Выработанные сортименты укладывают сбоку харвестера, в основном под углом к трелевочному волоку, отличным от 90° . По второй технологии валку деревьев на трелевочном волоке и в других секторах производят перпендикулярно направлению движения харвестера, а сортименты укладывают сбоку харвестера перпендикулярно трелевочному волоку.

При работе харвестера по первому варианту валку деревьев на трелевочном волоке производят «от харвестера» (параллельно трелевочному волоку). При этом выделяют следующие секторы: трелевочный волок, полоса у трелевочного волока, левый передний сектор, правый передний сектор, левый боковой сектор, правый боковой сектор (рис. 1, а).

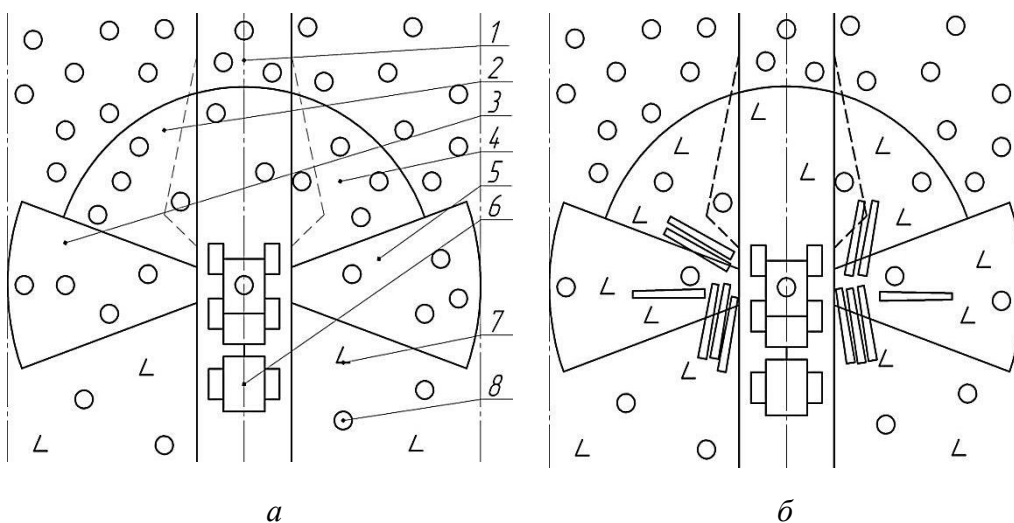


Рис. 1. Технологические схемы разработки делянки при выборочной рубке со смешанным направлением валки – первая технология: а – расположение секторов при валке деревьев; б – схема обработанной рабочей зоны с одной рабочей позиции харвестера; 1 – трелевочный волок; 2 – левый передний сектор; 3 – левый боковой сектор; 4 – правый передний сектор; 5 – правый боковой сектор; 6 – харвестер; 7 – пень; 8 – растущее дерево

Рабочая зона оператора харвестера, включающая все указанные секторы, составляет примерно 220° . При 10-метровом вылете манипулятора харвестера обработка 3–5 деревьев на трелевочном волоке и в передних секторах соответствует вылету манипулятора около 8 м. Боковые секторы можно обрабатывать на максимальном вылете манипулятора, достигая расстояния между волоками 20 м. При размещении сортиментов в рабочей зоне следует учитывать, что около 80 % деревьев спиливается на трелевочном волоке и в передних зонах, 20 % – в боковых.

При разработке харвестером очередной рабочей зоны рекомендуется: выполнять валку деревьев на трелевочном волоке и прореживание его границ; осуществлять прореживание переднего и бокового секторов на одной стороне волока; производить прореживание переднего и бокового секторов на другой стороне волока.

Обработка рабочей зоны по секторам упрощает выбор деревьев для валки. Следует учесть, что после разработки передних секторов на предыдущей рабочей зоне улучшается обзор в боковых секторах очередной рабочей зоны, что упрощает работу оператора харвестера и способствует уменьшению повреждений деревьев при валке.

На рис. 1, б показана схема обработанной рабочей зоны с одной рабочей позиции харвестера, на рис. 2, а – схема общей последовательности валки деревьев в рабочей зоне харвестера. При выполнении оператором харвестера указанной методики разработки делянки обеспечиваются правильное расположение сортиментов около трелевочного волока и производительная работа форвардера при формировании пачки сортиментов.

При разработке делянки по рассмотренной технологии выработанные сортименты укладывают сбоку харвестера, в основном под углом к трелевочному волоку, который отличается от 90° .

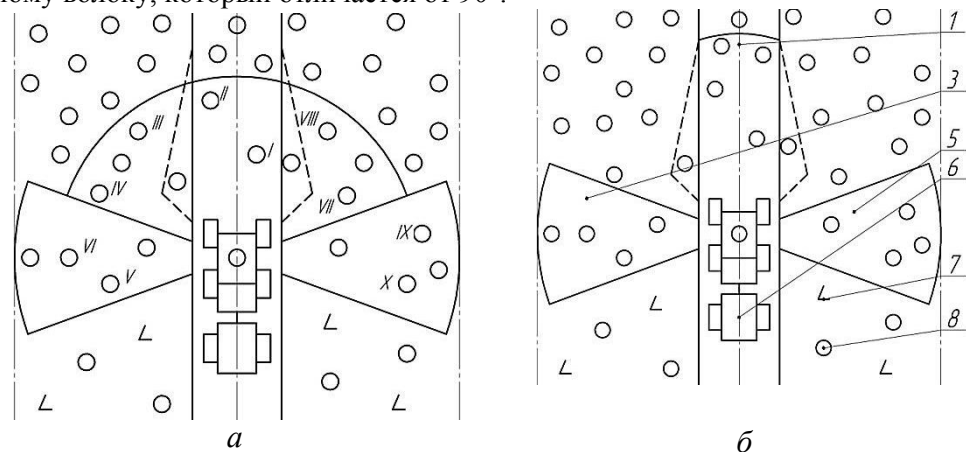


Рис. 2. Технологические схемы: а – общая последовательность валки деревьев (I–X) в рабочей зоне харвестера; б – расположение секторов при валке деревьев (разработка делянки при выборочной рубке с валкой деревьев перпендикулярно трелевочному волоку – вторая технология) (остальные обозначения см. на рис. 1)

Технология разработки рабочей зоны с валкой перпендикулярно трелевочному волоку при обработке деревьев обеспечивает концентрацию порубочных остатков на трелевочном волоке (рис. 2, б). Поэтому рассматриваемую технологию целесообразно применять при слабой несущей способности грунтов, так как порубочные остатки используют для укрепления трелевочных волоков. В отличие от предыдущей технологии оператор выделяет сектор валки деревьев на трелевочном волоке и боковые секторы.

На рис. 3, а показана схема общей последовательности валки деревьев в рабочей зоне харвестера, на рис. 3, б – схема обработанной рабочей зоны с одной рабочей позиции харвестера.

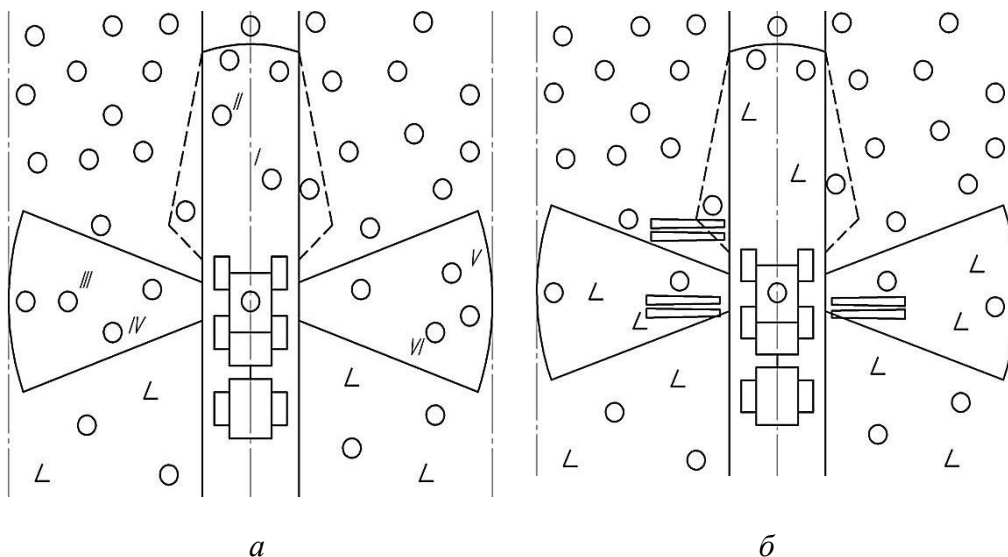


Рис. 3. Схемы рабочей зоны харвестера: а – общая последовательность валки деревьев (I–VI) в рабочей зоне харвестера; б – рабочая зона, обработанная с одной рабочей позиции харвестера

Валка деревьев на трелевочном волоке производится примерно в 6-метровой зоне перпендикулярно волоку. Укладывают выработанные сортименты слева и справа от трелевочного волока. Деревья, поваленные влево, во время обработки перемещают вправо, и сортименты укладывают справа от трелевочного волока.

В боковом секторе валку начинают с ближайшего к харвестеру дерева перпендикулярно трелевочному волоку. Поваленное дерево перемещают, обрабатывают и выработанные сортименты укладывают на другой стороне трелевочного волока. Деревья в боковых секторах валят в пределах максимального вылета манипулятора. Поваленные деревья, расположенные от харвестера на расстоянии 6 м и более, можно обрабатывать в том же секторе без перемещения через трелевочный волок.

Результаты и их обсуждение

Для правильной оценки технологического процесса необходимы критерийные показатели, по значению которых можно судить о ходе процесса и давать ему качественную оценку. К таким показателям относятся производительность машин, энергоёмкость процесса, себестоимость продукции, приведенные затраты [2].

Себестоимость продукции и приведенные затраты включают в себя эксплуатационные расходы, которые зависят от следующих субъективных факторов: квалификация и мастерство оператора, организация технического обслуживания, техническое состояние машин, технологическая схема разработки лесосек и т. п. Сравнительная оценка технологий лесосечных работ с учетом перечисленных факторов возможна только при наличии объективных значений показателей.

Производительность – один из важнейших технологических показателей работы машин. Принципом формирования машин в систему являются равные или кратные их производительности.

Часовая производительность харвестера определяется по формуле

$$P_{\text{ч}} = \frac{3600 \phi_1 V_{\text{хл}}}{t_{\text{ц}}}, \quad (1)$$

где 3600 – переводной коэффициент (продолжительность 1 ч в секундах);

ϕ_1 – коэффициент использования рабочего времени;

$V_{\text{хл}}$ – средний объем хлыста, м³;

$t_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла обработки одного дерева, с,

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{н}} + t_{\text{с}} + t_{\text{о}} + t_{\text{п}}; \quad (2)$$

$t_{\text{н}}$ – продолжительность наводки харвестерной головки на ствол дерева и его захват, с;

$t_{\text{с}}$ – продолжительность спиливания дерева с пня, с;

$t_{\text{о}}$ – продолжительность обрезки сучьев и раскряжевки на сортименты, с;

$t_{\text{п}}$ – продолжительность переездов харвестера на смежную рабочую позицию, с.

Анализируя продолжительность составляющих цикла обработки дерева, можно сделать вывод, что при работе харвестера по разным технологиям меняется продолжительность манипуляций гидроманипулятора и, соответственно, составляющая продолжительности обработки одного дерева. Например, при заготовке древесины по второй технологии для перемещения обрабатываемых деревьев через трелевочный волок требуются дополнительные перемещения манипулятора.

Заключение

По первой технологии с одной рабочей позиции обеспечивается валка большего количества деревьев, производительность по этой технологии выше, чем по второй. Перемещение деревьев для обработки на другую сторону тре-

левочного волокна (вторая технология) приводит к увеличению общей продолжительности цикла на валку и обработку дерева и снижению производительности харвестера на 5...10 %. Однако при высокой густоте лесонасаждений обработка перемещенного дерева на освобожденную от растущих деревьев зону наоборот снижает общую продолжительность цикла на валку и обработку дерева (за счет удобства его обработки) и увеличивает производительность харвестера. Поэтому при выборе технологии работы харвестера необходимо учитывать конкретные условия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Азаренок В.А., Герц Э.Ф., Мехренцев А.В.* Сортиментная заготовка леса: учеб. пособие. Екатеринбург: УГЛТА, 2001. 129 с.
2. *Дербин В.М., Дербин М.В.* Лесосечные работы с сортировкой хлыстов или деревьев. Архангельск: ИД САФУ, 2014.– 103 с.
3. *Дербин В.М., Дербин М.В.* Сортиментная технология заготовки древесины // Актуальные направления научных исследований XXI в.: Теория и практика: материалы Междунар. заоч. науч.-практ. конф. Воронеж: Диамант-принт, 2014. № 5, ч. 4 (10-4). С. 87–91.
4. *Дербин В.М., Мигунов В.И., Барачевский А.И., Дербин М.В., Клименко Н.Ф.* Технология и оборудование лесосечных работ (сортиментная технология заготовки древесины): метод. указания к курсовому и дипломному проектированию. Архангельск: ИД САФУ, 2014. 54 с.
5. *Кочегаров В.Г., Дербин В.М.* Заготовка леса с сортировкой хлыстов в процессе очистки деревьев от сучьев // Лесн. журн. 1981. № 5. С. 45–50. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Лесной кодекс РФ. М.: ЭЛИТ, 2007. 48 с.
7. *Матвейко А.П., Федоренчик А.С.* Технология и машины лесосечных работ: учеб. для вузов. Минск: Технопринт, 2002. 480 с.
8. Правила заготовки древесины: утв. приказом МПР России № 184 от 16.07.2007. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_124947/?frame=5.
9. *Behrndt W.* Stand und Entwicklung der Mechanisierung in Holzernte als Beitrag zur Effizienzsteigerung des Staatsforstbetriebes Niedersachsen. Forst Holz. 1998. N 53. S. 363–371.
10. *Brokmeier H., Strunk M.* Struktur und Geschäftsfelder niedersächsischer Forstunternehmen // Forst und Technik. 2008. P. 24–27.
11. *Drewes D.* Bestandesvorbereitung in der hochmechanisierten Holzernte // Forsttechnik. 2010. 12 p.
12. *Drushka K., Konttinen H.* Tracks in the Forest. The Evolution of Logging Machinery / Timberjack Group. Helsinki, 1997. 253 p.
13. *Fleischer M.* Geschichte der Holzernte in Handarbeit: Proekte Verlag Cornelius GmbH, Halle. S. 1. Auflage, 2009. 212 p.
14. *Fleischer M.* Geschichte der mobile Holzerntemaschinen: Proekte Verlag Cornelius GmbH, Halle. S. 1. Auflage, 2007. 366 p.
15. *Kokkarinen J.* (toim.) Koneellinen puunkorjuu – Hallitusti hyvään tulokseen / Metsäteho Oy. Helsinki, 2013. 91 p.

16. Stampfer K., Strinmuller T. Harvester und Seilgerät im Steilgelände – Valmet 911 1 X3 M und Synchrofalke / Universität für Bodenkultur, Institut für Forsttechnik, Wien, 2004. 25 S.

17. Thieme F. Naturgemäße Waldwirtschaft und modern Foresttechnik. FT, 1999. S. 12–13.

Поступила 18.04.16

UDC 630*935.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.123

Cut-to-Length Method in Selective Felling

V.M. Derbin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

M.V. Derbin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya

Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: v.derbin@narfu.ru

The whiplash and CTL technologies are widely used in the world. The whiplash technology has some significant advantages: concentration of a large number of technological operations at industrial sites; the use of high-performance equipment; the use of cheaper electricity to drive the logging equipment; higher return of industrial wood assortments; fuller use of tree biomass. Despite a number of significant advantages of the whiplash technology the CTL technology is widely implemented in recent years. The reasons are: the emergence of a large number of logging companies with a small volume of logging; physical wearing of equipment and impossibility to buy the timber storage facility. Two variants of logging in the selective felling are considered. According to the experience of the harvester operators 3–5 growing trees should be within an operator's sight for the proper selection of trees to be sawed down and remained. Therefore, an operator should mentally sector a work zone for quality selective logging. The schemes of harvesters' performance with the work zone sectoring are presented. We demonstrate the order of tree cutting in sectors. For correct evaluation of the technological process the criterion indicators are considered, their values can describe and give a qualitative assessment of the process. The indicators include the machines performance, process energy intensity, production cost, overhead costs. The paper presents a harvester performance formula with the processing time divided into components according to the treatment duration of one tree. The analysis of duration of the parts of a tree processing cycle is carried out. The period of every manipulation of a hydraulic manipulator and the duration component of one tree treatment vary in different technologies of a harvester's performance. In the first technology one operation position provides a felling of a larger number of trees and a higher performance than in the second one. It is necessary to consider the particular working conditions when choosing the technology of the harvester's performance (density of plantings, soil conditions).

Keywords: whiplash technology, CTL technology, selective felling, harvester, work zone, sector.

For citation: Derbin V.M., Derbin M.V. Cut-to-Length Method in Selective Felling. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 5, pp. 123–131. DOI: 10.17238/issn0536-1036.5.123

REFERENCES

1. Azarenok V.A., Gerts E.F., Mekhrentsev A.V. *Sortimentnaya zagotovka lesa* [Cut-to-Length]. Yekaterinburg, 2001. 129 p.
2. Derbin V.M., Derbin M.V. *Lesosechnye raboty s sortirovkoy khlystov ili derev'ev* [Logging Operations with Sorting of Stems or Trees]. Arkhangelsk, 2014. 103 p.
3. Derbin V.M., Derbin M.V. Sortimentnaya tekhnologiya zagotovki drevesiny [A CTL Technology]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI v.: Teoriya i praktika: materialy Mezhdunar. zaoch. nauch.-prakt. konf.* [Actual Research Trends of the 21st century: Theory and Practice: Proc. of the Int. Correspondence Sci.-Pract. Conf.]. Voronezh, 2014, no. 5, part 4 (10–4), pp. 87–91.
4. Derbin V.M., Migunov V.I., Barachevskiy A.I., Derbin M.V., Klimenko N.F. *Tekhnologiya i oborudovanie lesosechnykh rabot (sortimentnaya tekhnologiya zagotovki drevesiny)* [Technology and Equipment of Logging Operations (CTL Technology)]. Arkhangelsk, 2014. 53 p.
5. Kochegarov V.G., Derbin V.M. *Zagotovka lesa s sortirovkoy khlystov v protsesse ochistki derev'ev ot such'ev* [Logging with Sorting of Tree-Length at Delimiting]. *Lesnoy zhurnal*, 1981, no. 5, pp. 45–50.
6. *Lesnoy kodeks RF* [Forestry Code of the Russian Federation]. Moscow, 2007. 48 p.
7. Matveyko A.P., Fedorenchik A.S. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and Machines of Logging Operations]. Minsk, 2002. 480 p.
8. *Pravila zagotovki drevesiny: utv. prikazom MPR Rossii № 184 ot 16.07.2007* [Rules of Logging: as Approved by the Order of the Ministry of Natural Resources of Russia no. 184 of 16 July 2007]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_124947/?frame=5
9. Behrndt W. Stand und Entwicklung der Mechanisierung in der Holzernte als Beitrag zur Effizienzsteigerung des Staatsforstbetriebes Niedersachsen. *Forst Holz*, 1998, no. 53, pp. 363–372.
10. Brokmeier H., Strunk M. Struktur und Geschäftsfelder niedersächsischer Forstunternehmen. *Forst und Technik*, 2008, pp. 24–27.
11. Drewes D. Bestandesvorbereitung in der hochmechanisierten Holzernte. *Forsttechnik*, 2010. 12 p.
12. Drushka K., Kontinen H. *Tracks in the Forest. The Evolution of Logging Machinery*. Finland, Helsinki, 1997. 253 p.
13. Fleischer M. *Geschichte der Holzernte in Handarbeit*. Germany, 2009. 212 p.
14. Fleischer M. *Geschichte der mobilen Holzerntemaschinen*. Germany, 2007. 366 p.
15. Kokkarinen J. (toim.) *Koneellinen puunkorjuu – Hallitusti hyvään tulokseen*. Finland, Helsinki, 2013. 91 p.
16. Stampfer K., Steinmuller T. *Harvester und Seilgerät im Steilgelände – Valmet 911.1 X3 M und Syncrofalke*. Vienna, 2004. 25 p.
17. Thieme F. Naturgemäße Waldwirtschaft und modern Foresttechnik. *FT*, 1999, pp. 12–13.

Received on April 18, 2016



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.047.38

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.132

**ОСОБЕННОСТИ СУШКИ ХВОЙНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ
ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ СРЕДЫ**

А.А. Горяев, канд. техн. наук, доц.

В.И. Мелехов, д-р техн. наук, проф.

Н.Б. Баланцева, канд. техн. наук, доц.

О.А. Калиничева, канд. техн. наук, доц.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;
e-mail: ark16111936@gmail.com

Рассмотрен процесс конвективной сушки хвойных пиломатериалов при непрерывной циркуляции сушильного агента в условиях пониженного давления среды. Установлено, что заметное снижение скорости циркуляции сушильного агента в камере происходит при давлении среды 50 кПа и менее. Давление насыщения водяного пара в сушильной среде однозначно и логарифмически зависит от температуры, поэтому с понижением давления среды температура кипения воды снижается, коэффициенты диффузии и самодиффузии водяного пара, а также влагосодержание сушильной среды увеличиваются. В связи с этим определяется тепло- и массоперенос при пониженном давлении среды. Коэффициенты диффузии при пониженном давлении возрастают. Интенсивность процесса сушки в вакууме зависит от внутренней диффузии влаги к поверхности древесины. Влагосодержание сушильного агента, определяемое парциальным давлением водяного пара в вакуумной камере (автоклаве), увеличивается с понижением давления. Для интенсификации испарения влаги из древесины необходимо, чтобы температура древесины была равна температуре кипения влаги или превышала ее. Испаряясь, влага охлаждает поверхность древесины, в результате чего увеличивается внутренняя диффузия влаги к ее поверхности. Внутри древесины возникает избыточное давление, которое релаксируется в зависимости от ее гидравличе-

Для цитирования: Горяев А.А., Мелехов В.И., Баланцева Н.Б., Калиничева О.А. Особенности сушки хвойных пиломатериалов при пониженном давлении среды // Лесн. журн. 2016. № 5. С. 132–141. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.132

ского сопротивления. После релаксации давления в древесине температура насыщения будет ниже температуры влаги, и влага вскипает по всему объему древесины. Сушку проводят в вакуумной сушильной камере – автоклаве. Для конденсации водяного пара из сушильного агента корпус автоклава выполнен двойным в целях охлаждения водой. Сконденсированная в процессе сушки влага собирается в градуированную емкость с водомером. При начальной влажности пиломатериалов по объему конденсата можно определить текущую влажность древесины. Разовая вместимость автоклава – до 22 м³ пиломатериалов. Одновременно работают три автоклава. Использование пониженного давления среды в процессе конвективной сушки хвойных пиломатериалов на 13...26 ч снижает ее продолжительность. Процесс сушки контролируют с пульта управления по температуре древесины и состоянию среды в сушильной вакуумной камере.

Ключевые слова: сушка, пиломатериалы, вакуум, степень насыщенности, сушильный агент, перегретый пар, равновесное влагосодержание, диффузия, теплопроводность, циркуляция, давление.

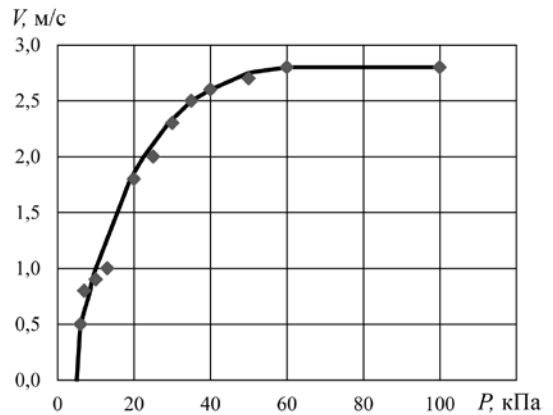
Комбинированная вакуумная сушка, как правило, применяется для качественного высушивания древесины твердых пород (дуб, бук, ясень, береза и др.). [2, 3, 8, 9, 13, 15, 16].

При вакуумной сушке используется ряд физических закономерностей, связанных с давлением. С понижением давления температура кипения влаги снижается, коэффициенты диффузии и самодиффузии, а также влагосодержание сушильной среды увеличиваются. С учетом этих явлений определяется тепло- и массоперенос при вакуумной сушке. Конвективный перенос тепла уменьшается, доля переноса тепла за счет теплопроводности возрастает. Возрастает и доля переноса тепла за счет молекулярной теплопроводности. Коэффициент диффузии при пониженном давлении увеличивается в несколько раз. Испарение в процессе сушки зависит от температуры и давления сушильной среды в вакуумной камере [1, 10–12, 14].

Вакуумная сушка обеспечивает высокое качество высушиваемых пиломатериалов. Она комбинируется с другими способами сушки и классифицируется как циклическая конвективно-вакуумная сушка, контактно-вакуумная сушка, радиационно-вакуумная сушка, вакуумно-диэлектрическая сушка [4].

Ниже рассмотрим конвективную сушку хвойных пиломатериалов при пониженном давлении и непрерывной циркуляции сушильного агента. Результаты проведенных опытов показали (рис. 1), что заметное снижение скорости (V) циркуляции воздуха в сушильной камере происходит, начиная с давления среды $P = 50$ кПа [11]. Для конвективной сушки при пониженном давлении ($P = 10...25$ кПа) скорость сушильного агента $V = 1...2$ м/с является оптимальной.

Рис. 1. График зависимости между давлением среды и скоростью циркуляции воздуха в камере



Испарение влаги из древесины будет происходить, если сушильная среда в камере будет представлять собой перегретый пар. Это произойдет в том случае, если степень насыщенности сушильного агента будет меньше 100 %. Температуре насыщения пара соответствует определенное давление насыщения. Графически зависимость различных температур насыщения (t) сушильного агента от давления показана на рис. 2.

Состояние перегретого пара характеризуется степенью насыщенности φ , или относительной упругостью пара. Степень насыщенности φ можно определить из соотношения давления пара и давления насыщения при данной температуре:

$$\varphi = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{п}}$ – парциальное давление пара в воздухе при температуре t , кПа;

$P_{\text{н}}$ – давление сухого насыщенного пара при той же температуре t , кПа.

Из (1) видно, что степень насыщенности φ прямо пропорциональна парциальному давлению пара.

Для нахождения параметров конвективной сушки при пониженном давлении среды необходимо знать характеристики насыщенного и перегретого пара для пониженных давлений [4].

Основные параметры ($P_{\text{п}}$, $P_{\text{н}}$, v , ρ , T , φ) определяются из известного уравнения Клапейрона и представлены на рис. 2:

$$Pv = R_{\text{п}} T, \quad (2)$$

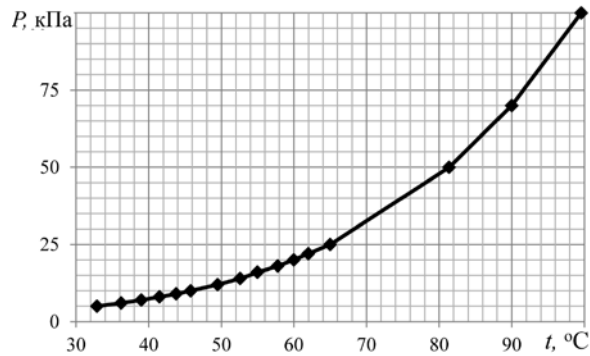
где P – давление, Па;

v – удельный объем, м³/кг;

$R_{\text{п}}$ – газовая постоянная водяного пара, $R_{\text{п}} = 461,6$ Дж/(кг·К);

T – температура, К.

Рис. 2. График зависимости между температурой и давлением насыщения водяного пара в диапазоне 5...100 кПа



Для определения параметров сушильного агента при давлении среды 93...107 кПа можно воспользоваться существующей Id -диаграммой. Однако при значительных отклонениях давления среды И.В. Кречетовым [7] предложено строить Id -диаграмму для соответствующего давления среды, т. е., не изменяя шкалы влагосодержания d , строить линии $\varphi = \text{const}$ отдельно для каждого барометрического давления среды. Координатная сетка из линий $I = \text{const}$, $d = \text{const}$ и $t = \text{const}$ остается без изменений. Таким образом строят объединенную Id -диаграмму для давления среды 5...100 кПа [6]. Для практического применения на рис. 3, 4 приведены диаграммы равновесного влагосодержания

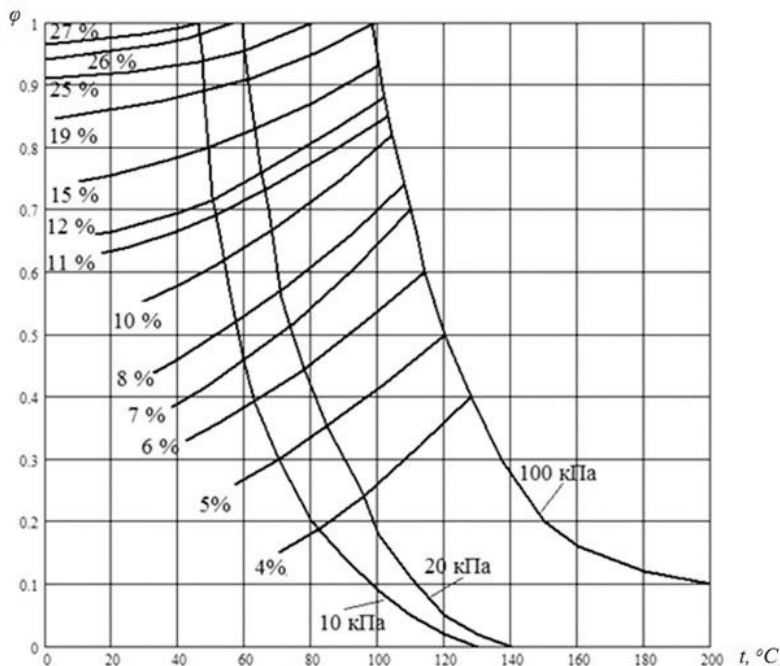


Рис. 3. Диаграмма равновесного влагосодержания древесины (%) при пониженном давлении среды

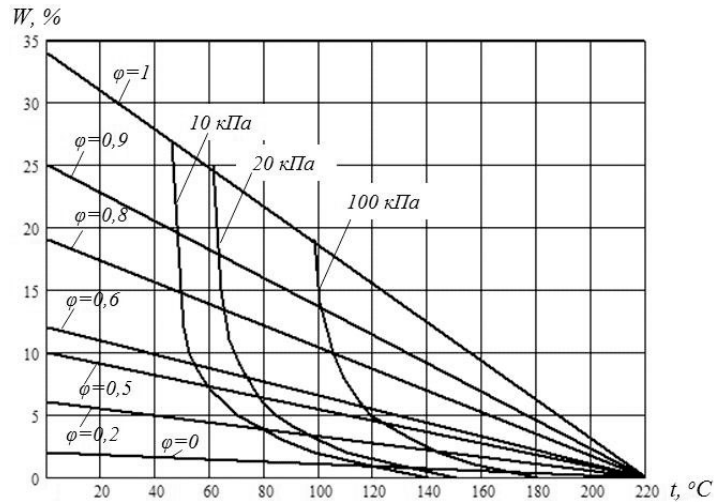


Рис. 4. Диаграмма равновесного влагосодержания древесины $W_p = f(t, \varphi)$ для $P_{п} = \text{const}$ и $\varphi = \text{const}$ при $P_{ср} < 100$ кПа

древесины $W_p = f(t, \varphi)$ с линиями $P_{п} = \text{const}$ ($< 0,1$ МПа) и $\varphi = \text{const}$, построенные по данным табл. 1, 2.

Т а б л и ц а 1

Зависимость равновесного влагосодержания (W_p) древесины от температуры (t), относительной влажности среды (φ) при $P_{ср} < 100$ кПа

$P = 100$ кПа			$P = 20$ кПа			$P = 10$ кПа		
$t, ^\circ\text{C}$	φ	$W_p, \%$	$t, ^\circ\text{C}$	φ	$W_p, \%$	$t, ^\circ\text{C}$	φ	$W_p, \%$
100	1,00	19	60	0,95	25	40	1,00	27
101	0,93	15	61	0,90	19	43	0,98	26
102	0,88	12	62	0,83	15	46	0,93	25
103	0,84	11	65	0,76	12	47	0,87	19
104	0,83	10	67	0,70	11	49	0,80	15
105	0,74	8	70	0,65	10	50	0,71	12
111	0,66	7	72	0,57	8	51	0,65	11
114	0,60	6	73	0,51	7	52	0,58	10
120	0,50	5	78	0,44	6	58	0,51	8
130	0,40	4	85	0,35	5	60	0,45	7
180	0,12	–	95	0,24	4	63	0,39	6
200	0,10	–	–	–	–	70	0,30	5

Т а б л и ц а 2

Зависимость равновесного влагосодержания ($W_p = f(t, \varphi)$) древесины для $P_{п} = \text{const}$ и $\varphi = \text{const}$ при $P_{ср} < 100$ кПа

$P_{ср} = 100$ кПа		$P_{ср} = 20$ кПа		$P_{ср} = 10$ кПа	
φ	$t, ^\circ\text{C}$	φ	$t, ^\circ\text{C}$	φ	$t, ^\circ\text{C}$
1,0	100	1,0	60	1,0	45
0,9	101	0,9	62	0,9	47
0,8	105	0,8	65	0,8	49
0,6	114	0,6	72	0,6	53
0,5	120	0,5	76	0,5	58
0,2	150	0,2	100	0,2	80

Предложенный метод сушки при пониженном давлении защищен патентом РФ и реализован в лесопильной промышленности [5].

Для сушки пиломатериалов использовали три вакуумные камеры в виде автоклавов диаметром 2,4 м и длиной 30 м с холодильником. Внутри камер (рис. 5) установлены два паровых калорифера 2, боковые экраны 5 и три вентиляторных отсека 4. В торце камеры устроен отдельный вентиляторный отсек 3. Электродвигатели 6 размещены снаружи автоклавов. В наружную рубашку автоклавов подается вода для охлаждения и конденсации испаренной из пиломатериала влаги. Между ложным потолком 7 и корпусом 1 устроен воздушный циркуляционный канал для возвращения сушильного агента в вентиляторный отсек 3. Вентиляторы реверсивные. Реверс разреженного сушильного агента производится автоматически через 1 ч. Сконденсированная влага собирается в процессе сушки, сливается в градуированную емкость. По известной начальной влажности пиломатериалов и объему конденсата определяется текущая влажность древесины. Разрежение в автоклаве создается вакуумным насосом.

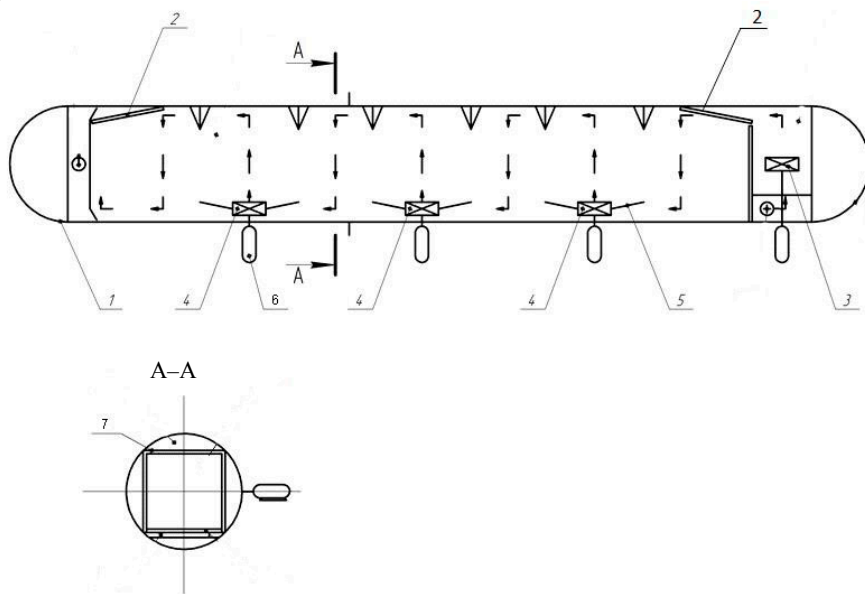


Рис. 5. Вакуумная камера

Пиломатериалы укладывают в сушильный штабель $1,2 \times 1,2$ м без шпаций на прокладки толщиной 25 мм. Перед автоклавом формируют поезд из 4–6 штабелей и по рельсам загружают их в автоклав. После загрузки из камеры откачивают воздух вакуумным насосом до остаточного давления 20 кПа. Одновременно калориферы нагревают среду в камере, включаются вентиляторы. Процесс сушки контролируют по состоянию среды и температуре древесины. Циркуляция агента сушки реверсивная, кольцо циркуляции замкнутое.

Продолжительность сушки хвойных пиломатериалов в вакуумных камерах существенно меньше, чем в конвективных. В табл. 3 приведены рассчитанные по [12] для конвективной сушки и фактические значения продолжительности сушки пиломатериалов в вакуумно-конвективной камере при давлении 20 кПа.

Определим продолжительность конвективного процесса сушки:

$$\tau_c = C_\tau B_1 C A_{\text{цр}} A_\phi \lg(W_n/W_k), \quad (3)$$

где τ_c – продолжительность сушки, ч;

C_τ – поправка на многомерность;

$$B_1 = \frac{S_1^2 K}{a'_m 10^6};$$

S_1 – толщина пиломатериалов, см;

K – коэффициент, зависящий от толщины S_1 ;

a'_m – коэффициент влагопроводности древесины, см²/с;

C – коэффициент замедления продолжительности сушки в штабеле по сравнению с сушкой единичных сортиментов;

$A_{\text{цр}}$ – коэффициент, учитывающий характер циркуляции (реверсивная, нереверсивная);

A_ϕ – коэффициент, учитывающий начальную степень насыщенности среды ϕ_n ;

W_n, W_k – начальная и конечная влажность древесины, %.

Т а б л и ц а 3

Расчет продолжительности сушки хвойных пиломатериалов

Сечение пиломатериала, мм	$W_n - W_k, \%$	$\phi, \%$	t_c	t_m	C_τ	B_1	C	$\lg \frac{W_k - W_p}{W_n - W_p}$	Продолжительность конвективной сушки при давлении среды	
									нормальном	пониженном
25×100	60–18	0,75...0,6	70	64	0,80	40	2,4	0,217	55	42
25×180	60–18	0,75...0,6	70	64	0,91	40	2,4	0,217	60	45
40×100	60–18	0,75...0,6	70	65	0,69	95	1,7	0,217	83	62
40×180	60–18	0,75...0,6	70	65	0,82	95	1,7	0,217	87	66
50×100	60–18	0,75...0,6	70	65	0,61	150	1,4	0,217	92	69
50×180	60–18	0,75...0,6	70	65	0,78	150	1,25	0,217	105	79

Примечание. t_c – температура по сухому термометру, °С; t_m – температура по мокрому термометру, °С.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что вакуумно-конвективная сушка дает возможность сократить продолжительность сушки на 13... 26 ч при неизменно высоком качестве высушиваемых пиломатериалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адриано Д. Особенности испарения воды со свободной поверхности и с поверхности древесины в условиях вакуумной сушки // Revista padurilor – industry lemnulei celuloza sihirti. RSR. 1980. Т. 31, № 3.
2. Лэмб Ф.М., Венгерт Ю.М. Оценка новых методов при сушке твердой древесины // Forest Industries. 1982. Т. 109, № 13. С. 21–22.
3. Герман Г. Вакуумная сушка – состояние техники и прогнозы на будущее // НОВ. 1980. № 4.
4. Горяев А.А. Современные вакуумные лесосушильные камеры: обзор. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1985. 32 с.
5. Горяев А.А., Мелехов В.И. Установка для сушки древесины: а.с. 1983. Бюл. № 45. С. 164.
6. Горяев А.А., Попов Н.Ю. Определение параметров воздуха по *Id*-диаграмме при пониженном давлении // Сушка и защита древесины: науч. тр. Архангельск: ЦНИИМОД, 1985. С. 59–68.
7. Кречетов И.В. Сушка древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 432 с.
8. Ли Энди В.К., Харрис Р.А. Свойства пиломатериалов из древесины дуба красного, высушенных высокочастотным и конвективным методами // Forest Products J. 1984. Т. 34, № 5. С. 56–58.
9. Паньоци М. Вакуумная сушка древесины // Деревообраб. и мебел. пром-сть // НРБ. 1984. № 1.
10. Петухов С.В., Баланцева Н.Б., Горяев А.А. Конвективно-вакуумная сушка хвойных пиломатериалов // «Развитие Северо-Арктического региона: проблемы и решения»: материалы науч. конф. САФУ. Архангельск: ИД САФУ, 2015. С. 129–131.
11. Попов Н.Ю. Об особенностях комбинированной конвективно-диэлектрической сушки древесины при пониженном давлении среды // Сушка и защита древесины: науч. тр. Архангельск: ЦНИИМОД, 1985. С. 69–71.
12. Ривкин С.Л., Александров А.А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. М.: Энергия, 1980. 424 с.
13. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки пиломатериалов. Архангельск: Научдревпром–ЦНИИМОД, 2000. 125 с.
14. Серговский П.С. Гидротермическая обработка древесины. М.; Л.: Гослесбу-миздат, 1975. 400 с.
15. Харрис Р.А., Тарас М.А. Сравнение распределения влагосодержания, напряжения и усушки в пиломатериалах из древесины красного дуба при сушке с помощью вакуумно-высокочастотного процесса и в конвективной сушилке // Forest Products J. 1984. № 34(1). С. 44–54.

Поступила 26.05.16

UDC 674.047.38

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.132

Features of Softwood Lumber Drying Under Reduced Medium Pressure

A.A. Goryaev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

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

N.B. Balantseva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

O.A. Kalinicheva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,

Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: ark16111936@gmail.com

The paper considers the convective drying of softwood lumber at the continuous circulation of a drying agent under low pressure. A noticeable rate reduction of the drying agent circulation takes place in the kiln at a pressure of 50 kPa and less. The water-vapor saturation pressure in the drying medium is uniquely and logarithmically dependent on a temperature. That is why the steam point reduces with decrease of a medium pressure. Moreover the diffusion and self-diffusion coefficients of water vapor and the moisture content of the drying medium increase. In connection with these phenomena, heat- and mass transfer under reduced medium pressure is determined. The diffusion coefficients under reduced pressure increase. The intensity of the vacuum drying process depends on the internal diffusion of moisture to the wood surface. The moisture content of the drying agent determined by the partial pressure of water vapor in a vacuum kiln increases with decreasing pressure. The temperature of wood should be equal to the boiling temperature or higher to intensify the evaporation of moisture from wood. The evaporating moisture cools the wood surface, and the internal diffusion of moisture to the wood surface increases. An overpressure occurs inside the wood, which relaxes depending on the hydraulic resistance of wood. After the relaxation of pressure in wood the saturation temperature is below of the moisture temperature, and moisture boils throughout the wood volume. A drying process is carried out in a vacuum drying kiln – an autoclave. The autoclave casing is doubled for water-cooling for condensation of water vapor from the drying agent. The condensed moisture is collected in a graduated container with a water meter. In the initial lumber moisture we can determine the current moisture content of wood by a condensate volume. The autoclave single occupancy is up to 22 m³ of sawn timber. Three autoclaves work at the same time. The use of a medium low-pressure in the process of convective drying of softwood lumber reduces its duration by 13...26 hours. The drying process is controlled by the remote control using the wood temperature and medium condition in a vacuum drying kiln.

Keywords: drying, timber, vacuum, degree of saturation, drying agent, superheated steam, equilibrium moisture content, diffusion, heat conduction, circulation, pressure.

For citation: Goryaev A.A., Melekhov V.I., Balantseva N.B., Kalinicheva O.A. Features of Softwood Lumber Drying Under Reduced Medium Pressure. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 5, pp. 132–141. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.132.

REFERENCES

1. Adriano D. Osobennosti ispareniya vody so svobodnoy poverkhnosti i s poverkhnosti drevesiny v usloviyakh vakuumnoy sushki [Features of Water Evaporation from a Free Surface and a Wood Surface in a Vacuum Drying]. *Revista padurilor – industria lemnului celuloza si hartie – RSR*, 1980, vol. 31, no. 3.
2. Lamb F.M., Wengert E.M. Hardwood Drying Test Evaluates New Methods. *Forest Industries*, 1982, vol. 109(13), pp. 21–22.
3. Herman G. Vacuum Drying – State of the Art and Future Projections. *HOB*, 1980, no. 4.
4. Goryaev A.A. *Sovremennyye vakuumnyye lesosushil'nye kamery: obzor* [Modern Vacuum Wood-Drying Kilns: a Review]. Moscow, 1985. 32 p.
5. Goryaev A.A., Melekhov V.I. *Ustanovka dlya sushki drevesiny* [Apparatus for Wood Drying]. Certificate of Authorship, 1983. Bulletin no. 45, p. 164.
6. Goryaev A.A., Popov N.Yu. Opredelenie parametrov vozdukha po Id-diagramme pri ponizhenom davlenii [Defining of Air Parameters by the ID-Diagram under Reduced Pressure]. *Sushka i zashchita drevesiny* [Drying and Wood Protection]. Arkhangelsk, 1985, pp. 59–68.
7. Krechetov I.V. *Sushka drevesiny* [Wood Drying]. Moscow, 1980. 432 p.
8. Lee A.W.C., Harris R.A. Properties of Red Oak Lumber Dried by Radio-Frequency / Vacuum Process and Dehumidification Process. *Forest Products J.*, 1984, no. 34(5), pp. 56–58.
9. Panotstsi M. Vacuum Drying of Wood. *Woodworking and furniture industry*, 1984, no. 1.
10. Petukhov S.V., Balantseva N.B., Goryaev A.A. Konvektivno-vakuumnaya sushka khvoynykh pilomaterialov [Convective and Vacuum Softwood Lumber Drying]. *“Razvitiye Severo-Arkticheskogo regiona: problemy i resheniya”*: materialy nauch. konf. SAFU [“Development of the Northern Arctic Region: Problems and Solutions”: Proc. Conf. NArFU]. Arkhangelsk, 2015, pp. 129–131.
11. Popov N.Yu. Ob osobennostyakh kombinirovannoy konvektivno-dielektricheskoy sushki drevesiny pri ponizhenom davlenii sredy [On the Specifics of the Combined Convective and Dielectric Timber Drying under Medium Reduced Pressure]. *Sushka i zashchita drevesiny* [Drying and Wood Protection]. Arkhangelsk, 1985, pp. 69–71.
12. Rivkin S.L., Aleksandrov A.A. *Teplofizicheskie svoystva vody i vodyanogo para* [Thermal Properties of Water and Steam]. Moscow, 1980. 424 p.
13. *Rukovodyashchie tekhnicheskie materialy po tekhnologii kamernoy sushki pilomaterialov* [Reference Specification for Chamber Lumber Drying Technology]. Arkhangelsk, 2000. 125 p.
14. Sergovskiy P.S. *Gidrotermicheskaya obrabotka drevesiny* [Hydrothermal Treatment of Wood]. Moscow; Leningrad, 1975. 400 p.
15. Harris R.A., Taras M.A. Comparison of Moisture Content Distribution, Stress Distribution, and Shrinkage of Red Oak Lumber Dried by a Radio-Frequency / Vacuum Drying Process and a Conventional Kiln. *Forest Products J.*, 1984, no. 34(1), pp. 44–54.

Received on May 26, 2016

УДК 630*6

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.142

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОТБОРА, ЦЕЛЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ВЫРАЩИВАНИЯ РЕЗОНАНСНОЙ ДРЕВЕСИНЫ В ЛЕСАХ РОССИИ

В.И. Федюков, д-р техн. наук, проф.

Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия, 424000; e-mail: fiv48@mail.ru

Приведен краткий экскурс отечественных и зарубежных источников о резонансной древесине и способах диагностики ее технических свойств при целевом отборе на корню и в сортиментах. Проанализированы два направления, которые используют мастера по изготовлению музыкальных инструментов при отборе нужного материала: оценка его качества на основе косвенных биоморфологических признаков растущего дерева и прямые измерения физико-акустических показателей самой древесины. В первом случае достаточно полную информацию можно получить, анализируя следующие признаки: порода; макростроение древесины; габитус ствола; размеры, цвет шишек и, главное, форма их семенных чешуй; цвет и структура коры; тип ветвления дерева. Более достоверные сведения о резонансных свойствах древесины дает определение акустической константы на основе поперечных частотно-амплитудных характеристик, нежели скорости прохождения звука вдоль волокон. Установлено, что таким способом можно выполнить также раннюю неразрушающую диагностику резонансных свойств древесины ели в стадии подроста и молодняков. Приводятся информация со ссылкой на исторические факты о наличии в российских лесах запасов особо ценной для изготовления музыкальных инструментов древесины не только резонансной ели, но и клена с текстурой «птичий глаз». Однако в России до настоящего времени не налажена система рационально-целевого использования такой древесины. В статье приведены перспективные варианты выращивания и сохранения генофонда резонансной ели в лесах России. Предложено внести ряд дополнений в Лесной кодекс с учетом современных рыночных отношений в лесопользовании.

Ключевые слова: резонансная древесина, биоморфология резонансной ели, дендроакустика, неразрушающая диагностика, особенности целевого выращивания.

Термин «резонансная древесина», если судить строго, неточен как с физической, так и с технической точки зрения. Длина звуковых волн, распространившихся по деке поперек волокон, весьма велика по сравнению с расстоянием между самими волокнами древесины, поэтому древесину следует рассматривать как целостный материал, а не как ошибочно подразумевалось

Для цитирования: Федюков В.И. Состояние и перспективы отбора, целевого использования и выращивания резонансной древесины в лесах России // Лесн. журн. 2016. № 5. С. 142–156. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536–1036.2016.5.142

ранее – акустическую систему, «...где волокна играют роль натянутых струн и резонируют на звуки от инструмента» [4, 9]. Иными словами, здесь не происходит явление резонанса, как принято считать в физике. К тому же, лишь 3...5 % общей энергии, подводимой от струн к деке, излучается в окружающую среду в виде звука, значительная часть ее теряется внутри материала и в деталях закрепления на корпусе инструмента [16].

Тем не менее, в практике и технической литературе укоренилось название «резонансная древесина», и оно более близко по смыслу французскому *resonance* или латинскому *resono*, что означает «звучу в ответ». Иными словами, древесину, используемую для дек, называют резонансной за ее акустическую отзывчивость в широком диапазоне частот, придающую особую, свойственную только данному материалу, тембровую окраску музыкальному звучанию инструмента.

Как выяснилось в результате современных исследований, резонансная древесина применяется не только в музыкальных инструментах, но и в акустических панелях для внутренней обшивки концертных залов. Например, в конструкциях зрительного зала Государственного академического большого театра России для достижения эффекта «звучания помещения» за счет усиления и тембровой окраски издаваемого со сцены звука с одновременным эхопоглощением были использованы резонансные лесоматериалы с высокими дендроакустическими показателями [23].

По оценке ЮНЕСКО, данное сооружение именно благодаря внутренней акустике вошло в перечень наиболее выдающихся творений мирового зодчества. Основная заслуга в этом принадлежит петербургскому архитектору Альберту Кавосу, который в проектировании зрительного зала, точнее его объемной формы, применил принцип устройства скрипки.

Способы диагностики и отбора материала для изготовления как музыкальных инструментов, так и акустических панелей условно можно разделить на косвенные и прямые. Не вдаваясь в детальное изложение всех способов [20], остановимся на тех, которые у профессионалов нашли наибольшее применение.

Косвенные способы. Основаны на визуальной оценке «музыкальности» дерева по породе, биоморфологическим признакам, условиям местопроизрастания, а также макроструктуре и внешнему виду древесины.

Порода. Как указывает Е.Ф. Витачек [2], первоначально Амати, Гварнери, Страдивари и другие староритальянские мастера для основной звукоизлучающей детали скрипок – деки, применяли древесину сосны. Путь к пониманию не только силы, но и, главное, красоты звучания от правильно подобранного сочетания резонансной ели (верхняя дека) с кленом (нижняя дека), имеющим волнистую структуру «птичий глаз», был достаточно долгим, трудным и преодолен методом проб и ошибок. Вспомним Страдивари, который свою первую уникальную скрипку создал в возрасте 62 лет, после огромного количества экспериментов!

Сегодня во всем мире для многих видов музыкальных инструментов используется древесина преимущественно хвойных пород, причем среди мастеров большим спросом пользуется древесина резонансной ели, формирующаяся лишь в определенных условиях местопроизрастания у некоторых генетически обусловленных деревьев [20, 22, 34, 35, 41, 42].

Для массового производства музыкальных инструментов ГОСТ 9463–88 «Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия» рекомендует древесину ели, пихты кавказской и кедра сибирского. Однако требования данного нормативно-технического документа ограничены только визуальными размерно-качественными показателями и игнорируют акустику древесины.

В последние годы повысилась активность зарубежных ученых в области изучения акустических и упругих свойств древесины ели как в сортиментах, так и на корню [27–33, 36, 44, 46–48, 51]. В некоторых странах (Словакия) начаты поисковые физико-акустические исследования по выявлению возможности использования древесины других пород для изготовления музыкальных инструментов, особенно струнных (скрипка, классическая гитара и др.). Была изучена древесина фруктовых пород, а именно: черешни, вишни, груши европейской, яблони лесной, ореха и сливы домашней. Полученные результаты показали, что древесина этих пород по акустическим и другим физико-механическим свойствам не соответствует требованиям, предъявляемым для верхней деки, но может применяться при изготовлении отдельных деталей. Наибольший практический интерес представляет древесина черешни, которая по значению акустической константы близка к клену, т. е. годна для изготовления нижней деки. Благодаря такой комбинации достигается оригинальное звучание музыкального инструмента [37].

Важно отметить, что древесина клена остролистного (*Acer platanoides* L.), особенно с текстурой «птичий глаз», наравне с резонансной елью играет главную роль в формировании музыкальных свойств инструмента и также является во всем мире остродефицитным и дорогостоящим лесоматериалом.

В лесах России клен с подобной древесиной еще сохранился, но редко используется по этому назначению; он чаще идет на столярные изделия, мелкие сувениры, дрова и др. Историческая справка: проведенная в 1910 г. экспедиция по Волге ученых-лесоводов и специалистов из Германии обнаружила большие площади резонансной ели в Руткинском лесничестве (ныне Республика Марий Эл), между реками Ветлуга и Рутка, а на горной стороне – кленовые рощи с «особой» текстурой древесины. Сначала эту древесину большими партиями вывозили в Германию, затем было решено построить в Козьмодемьянске мастерские по производству гуслей и др. народных музыкальных инструментов, но эта задача так и не была реализована [18].

Биоморфологические признаки. По выражению проф. О.И. Полубояринова [15], представляют собой «древесиноведческий портрет дерева». Даже не проводя каких-либо испытаний, с определенной степенью можно прогнози-

ровать механические свойства древесины в растущем состоянии, включая резонансные.

Например, ель с резонансной древесиной отличается в первую очередь высокоподнятой и узкой кроной; имеет примерно от 1/3 до 2/3 ствола без сучьев, малый сбеги и почти цилиндрическую поверхность. У таких деревьев от ветровых колебаний формируется более жесткая древесина, имеющая высокий модуль упругости $E_{дин}$, который во многом определяет ее резонансные свойства.

Другой, не менее важный признак резонансной ели – нисходящие ветви; крона в виде колонны, почти симметричная и постепенно убывающая от основания к вершине под углом 30...40°.

Многие мастера при отборе резонансной древесины на корню определенное значение придают ритидоме – структуре и цвету коры, хотя по этому признаку нет единого критерия: одни считают, что у резонансной ели кора должна быть серого цвета и состоять из малых и гладких чешуй, другие предпочитают отдавать гладкокорым формам, третьи рекомендуют для этой цели деревья с округлыми вогнутыми чешуями коры [20].

Размеры, цвет шишек и форма их семенных чешуй. В совокупности характеризуют принадлежность ели к соответствующему филогенетическому биотипу, в определенной мере также служат признаком для визуального прогнозирования качества древесины. Весьма значительным в этом аспекте биоморфологическим признаком является форма семенных чешуй. «Чистые» представители европейской и сибирской ели имеют сравнительно более высокие акустические показатели древесины, чем гибриды; причем резонансные свойства улучшаются по мере перехода от европейского вида к сибирскому [22].

Внешний вид, особенно макроструктура древесины. Превалирующий среди промышленников и мастеров критерий. Национальными стандартами многих стран установлены почти единые требования к макроструктуре: ширина годичных слоев (ШГС) – в пределах 1...4 мм, содержание в них поздней древесины (ПД) – не более 30 %. При этом резонансная древесина должна быть равнослойной, к этому показателю установлены весьма жесткие нормы допуска пороков (крене, сучков, синева, водослоя и др.) [50].

Последние исследования, выполненные на уровне микростроения, показали, что, кроме абсолютного значения ШГС, существенная роль в улучшении акустики древесины принадлежит следующим характеристикам [20, 27, 49]:

границы годичных слоев не должны быть «смазанными»: переход ранней древесины в позднюю – резкий; при наличии «переходной зоны» ее ширина не должна превышать 8...10 % от ширины ранней зоны годичного кольца (подразумевается, что «переходная» зона входит в нее);

удельное распределение поздних трахеид; высокие резонансные свойства лесоматериала достигаются, как правило, если зона поздних трахеид в годичных слоях не будет превышать 20 %.

Условия местопроизрастания (тип леса). Играют большую роль в формировании практически всех физико-механических свойств древесины [5, 7], тем более ее уникальных акустических свойств. До 1911 г., пока профессор Лесного института Н.А. Филиппов не провел изыскания и не доказал наличие резонансной ели в отечественных лесах, считалось, что единственным источником «музыкальной» древесины в Европе являются горные насаждения Карпат, Рудных гор, Тирольских и Баварских Альп, произрастающие в суровых условиях возвышенности и на северных склонах с бедной каменистой почвой [14].

Более поздние исследования подтвердили выводы Н.А. Филиппова и, главное, уточнили: в наших лесах лучшими условиями для формирования резонансной древесины являются ельники черничники, где произрастают спелые и даже переспелые древостои ели II-III класса бонитета, в отдельных регионах – ельники травяно-болотные низинно-проточного типа увлажнения, включая объекты давней гидроресомелиорации [20].

Важно отметить, что в результате засухи 2010 г. произошло резкое уменьшение площадей ельников в наших лесах, особенно спелых древостоев. В связи с этим большой практический интерес представляют сохранившиеся запасы еловой древесины в овражных лесах. К сожалению, за редким исключением они малопригодны как источник резонансного сырья. Во-первых, здесь преобладают высокопроизводительные древостои I и даже I-а классов бонитета; древесина отличается высокой плотностью и широкими годичными слоями (до 10...15 мм), т. е. значительно превышающими общепринятые стандартами нормы (1,0...4,0 мм). Во-вторых, в овражных лесах при ветровом затишье формируется плотная, но менее жесткая древесина, чем у деревьев, испытывающих частые колебания от действия ветров в более возвышенных условиях (горы или просто возвышенности). К тому же, древесина в овражных лесах имеет такие пороки, как крень и водослой, содержит большое количество сучков, особенно крупных.

Прямые способы. Основаны на определении акустической константы излучения звука (K , м⁴/(кг·с)):

$$K = \sqrt{\frac{E_{\text{дин}}}{\rho^3}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{дин}}$ – динамический модуль упругости древесины, МПа;

ρ – плотность древесины, кг/м³.

Для резонансной древесины пороговое значение $K \geq 12$ м⁴/(кг·с).

Следовательно, резонансная древесина представляет собой сочетание несочетаемого: имеет высокую жесткость при минимальной плотности.

Для измерения плотности древесины существует много методов. Более сложным и трудоемким является определение динамического модуля упругости Юнга ($E_{\text{дин}}$) по скорости распространения звука (C , м/с):

$$E_{\text{дин}} = C^2 \rho. \quad (2)$$

Скорость распространения звука, как известно, можно найти двумя методами [1, 38, 43]:

а) путем прямого измерения времени распространения ультразвука (τ , с) через образец определенной длины (l , м):

$$C = \frac{l}{\tau}; \quad (3)$$

б) по резонансной частоте (f_0 , Гц) вынужденных продольных колебаний образца:

$$C = 2 l f_0. \quad (4)$$

Необходимо иметь в виду, что в случае определения скорости распространения звука по первому методу акустическая константа может иметь значение почти на 2 ед. больше по сравнению с результатом, найденным методом резонансной частоты.

Данные о резонансной частоте представляют собой ценную информацию о качестве резонансной древесины, так как с помощью этого показателя можно определять логарифмический декремент продольных и изгибных колебаний, Нп-характеристику скорости затухания колебаний и внутреннее трение (вязкость).

Для определения указанных показателей (включая макростроение) древесины на корню неразрушающим способом можно использовать радиально-поперечные керны, извлекаемые возрастным буровым из ствола дерева на высоте 1,3 м. Лаборатория квалиметрии резонансной древесины Поволжского государственного технологического университета располагает апробированными техническими средствами и новыми методами для комплексных исследований данных объектов [11, 21]. Поскольку модуль упругости и прочность взаимосвязаны [3], имеющиеся приборы можно применять наравне с диагностикой резонансных свойств и для неразрушающего определения других технических свойств древесины на корню.

В некоторых странах параллельно с исследованиями зрелой древесины разрабатываются новые неразрушающие способы раннего выявления технических свойств древесины на корню, т. е. у естественных молодняков или лесных культур [26, 39, 44–47].

Не вдаваясь в детальный анализ, необходимо отметить, что имеется российский приоритет в способе ранней неразрушающей диагностики резонансных свойств ели на корню [12, 13, 17, 24].

Особенности рационально-целевого использования резонансной древесины. Здесь большая роль принадлежит правильной ее заготовке, сушке и хранению.

Лучшим временем для заготовки резонансных лесоматериалов считается первая половина зимы, в вегетационный период французские мастера музыкального дела придерживаются следующего правила – рубка дерева должна происходить в последнюю четверть полнолуния или в новолуние [40].

Причем, лучшей частью ствола для этих целей считается северная, по высоте – первая половина, но необходимо обязательно исключить прикомлевую зону протяженностью примерно 1,5...2,0 м.

Мастера практикуют долгую естественную сушку, точнее более чем 10-летнее выдерживание древесины в колотых чураках длиной, соответствующей изготавливаемым инструментам. При этом материал приобретает стабильность за счет повышения удельного содержания лигнина и снижения гemicеллюлозной (сахаристой) фракции. Одновременно с этим увеличивается модуль упругости (жесткость) и, соответственно, улучшаются резонансные свойства.

Имеет свои определенные преимущества и перспективу новый способ сушки древесины в токах сверхвысокой частоты, который не только ускоряет этот процесс, но и способствует повышению модуля упругости и акустической константы [10].

В рационально-целевом использовании резонансной древесины большую роль играют уровень полноты и качество нормативно-технической базы. К сожалению, действующий ГОСТ 9462–88 «Лесоматериалы хвойных пород. Технические условия» предусматривает только визуальную оценку по размерно-качественным характеристикам (учет пороков), но игнорирует технические показатели, определяющие резонансную способность древесины, ГОСТ 8486–86 «Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия» в последней редакции вообще исключил резонансные сортаменты [25].

Сегодня этот пробел можно восполнить путем разработки и регистрации в Реестре Госстандарта специальных технических условий (ТУ). Например, при недавней реставрации Большого театра в целях обеспечения качественной резонансной древесиной для акустических панелей были внедрены новые ТУ, в соответствии с которыми используемый материал отбирался неразрушающим способом; при этом существенным критерием было значение акустической константы ($K \geq 12 \text{ м}^4/(\text{кг}\cdot\text{с})$) при соблюдении требований ГОСТ 9463–88.

Перспективы выращивания и сохранения генофонда резонансной ели в лесах России. Наука и практика отечественного лесоводства имеют весьма солидную историю, однако вопросы целевого выращивания резонансного сырья до настоящего времени остаются не решенными.

Действующий Лесной кодекс, к большому сожалению, по многим позициям не только не сохранил, а даже утратил достигнутые нашими учеными и

специалистами приоритеты в прогрессивных методах ведения лесного хозяйства страны.

В современных условиях управления лесным хозяйством имеются следующие пути по целевому выращиванию и сохранению генофонда резонансной ели в лесах России:

выявление и паспортизация маточников резонансной ели с уникальными дендроакустическими свойствами в соответствующих условиях местопрорастания (например, в лесах Архангельской, Вологодской, Пермской, Кировской областей, республики Коми, а также других регионов, где еще сохранились запасы спелых ельников);

создание архивно-маточных и целевых плантаций вегетационным методом (например, прививкой взятых от этих маточников черенков на лесные культуры или естественные молодняки ели в возрасте 5...7 лет) [19];

раннее выявление уникальных экземпляров ели путем неразрушающей диагностики резонансных свойств древесины на корню у естественных молодняков, подроста или лесных культур и дальнейшее формирование древостоев целевого назначения по соответствующей технологии лесовыращивания.

Бесспорно, менее затратным и более эффективным является последнее из перечисленных направление. Однако для этого необходимо коренным образом изменить отношение к оценке качества и роли подроста ценных лесобразующих пород, а не ограничиваться действующей по ГОСТ 18486–87 классификацией подроста: благонадежный, сомнительный, неблагонадежный. В дополнение к предложенным И.С. Мелеховым [6] конкретным подходам к оценке состояния и качества подроста (морфологический, анатомический, физиологический, биохимический, фенологический) целесообразно включить в определенных насаждениях и техническое качество. Современные способы ранней неразрушающей диагностики акустических и других физико-механических свойств древесины на корню позволяют выполнить эту задачу.

В плане развития справедливых рыночных отношений в новом Лесном кодексе крайне необходимо предусмотреть включение лесовосстановительного залога с заготовителей древесины, как это было до ликвидации в России Лесного департамента [8]. Размеры данного залога должны быть дифференцированы на основе реальных расчетов, в том числе учитывающих затраты на выявление количества и технического качества подроста (молодняков), на дальнейшее его сохранение и развитие, а также на обязательное выполнение всех других лесовосстановительных и лесокультурных работ.

Таким образом, в диагностике, отборе и целевом выращивании и использовании резонансной древесины с уникальными акустическими свойствами имеются свои особенности, которые еще до конца не установлены. Для решения данной проблемы требуется проводить дальнейшие комплексные исследования путем объединения усилий древесиноведов, лесоводов, физиков-акустиков и мастеров музыкального дела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боровиков А.М., Уголев Б.Н.* Справочник по древесине. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с.
2. *Витачек Е.Ф.* Очерки по истории изготовления смычковых инструментов. М.: Музыка, 1964. 341 с.
3. *Волынский В.Н.* О взаимосвязи прочности древесины с несколькими ее параметрами // Лесн. журн. 1991. № 4. С. 60–64. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Кузнецов И.И.* Резонансный лес и его деки // Лесн. хоз-во и лесн. пром-ть. 1930. № 2-3. С. 39–43.
5. *Мелехов И.С.* Значение типов леса и лесорастительных условий в изучении строения древесины и ее физико-механических свойств // Тр. Ин-та леса АН СССР. 1949. Т. IV. С. 11–21.
6. *Мелехов И.С.* Лесоведение: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.
7. *Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корчагов С.А.* Качественные характеристики древесины сосны в культурах: учеб. пособие для вузов. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. 116 с.
8. *Моисеев Н.А.* Наука и практика управления лесами и его законодательного обеспечения // Лесн. хоз-во. 2011. № 2. С. 13–14.
9. *Нестеров Н.С.* О резонансном лесном материале для струнных инструментов // Рус. лес. дело. 1892. № 1. С. 13–16.
10. Пат. № 2034697 РФ. Способ обработки резонансной древесины / Кейс В.Н., Козырев А.Б., Куз В.Г., Макарьева Т.А., Федюков В.И. № 92016513; заявл. 04.11.92; опубл. 10.05.92, Бюл. № 4.
11. Пат. № 2130611 РФ. Способ диагностики резонансных свойств древесины и устройство для его осуществления / Федюков В.И., Веселов Л.Н., Веселов В.Л. № 97109185; заявл. 28.05.97; опубл. 20.05.99, Бюл. № 4.
12. Пат. 2439561 РФ. МПК G 01 N 33/46. Способ ранней диагностики резонансных свойств древесины / Федюков В.И., Салдаева Е.Ю., Васенев А.Л. № 2439561 С2; заявл. 26.03.2009; опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1.
13. Пат. 2523033 РФ. МПК G 01 N 33/46. Устройство для фиксации образца при дендроакустических испытаниях по раннему выявлению резонансных свойств древесины на корню / Федюков В.И., Салдаева Е.Ю., Васенев Е.А. № 2523033 С2; заявл. 21.03.2012; опубл. 20.07.2014, Бюл. № 20.
14. *Пахарь Г.А.* О пригодности русской ели для выработки резонаторов // Лесопромышленник: еженед. журн. лесн. пром-сти и торговли. № 1, вып. 2. С. 129–131.
15. *Полубояринов О.И.* Морфология дерева как раздел биологического лесоведения // Современные проблемы лесоведения: сб. ст. Йошкар-Ола, 1996. С. 9–10.
16. *Римский-Корсаков А.В., Дьяконов Н.А.* Музыкальные инструменты: Методы исследований и расчеты. М.: Местн. пром-сть, 1952. 345 с.
17. *Салдаева Е.Ю.* Разработка метода ранней неразрушающей диагностики резонансных свойств древесины ели на корню: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2015. 16 с.
18. *Сануков Н.К.* Единственная в России // Марий Эл: вчера, сегодня, завтра. 1994. № 5-6. С. 82–84.
19. Технология создания маточно-архивной плантации резонансной ели с уникальными акустическими свойствами древесины: отчет о НИР / МарГТУ; рук. В.И. Федюков, отв. исп. Э.П. Лебедева. ГР 01.9.70. 004850; Инв. 03.9.70. 002576. Йошкар-Ола, 1995. 28 с.

20. Федюков В.И. Ель резонансная: отбор на корню, выращивание, сертификация. Йошкар-Ола: МарГТУ, 1998. 204 с.
21. Федюков В.И. Электронный дендрометр для отбора резонансной древесины // Деревообраб. пром-сть. 1990. № 7. С. 30–31.
22. Федюков В.И. Форма семенных чешуй ели как диагностический признак резонансной ели на корню // Лесн. журн. 2012. № 6. С. 16–23. (Изв. высш. учеб. заведений).
23. Федюков В.И., Салдаева Е.Ю. Резонансная ель для реконструкции Большого театра // Лесн. хоз-во. 2011. № 2. С. 13–14.
24. Федюков В.И., Салдаева Е.Ю., Цветкова Е.М. Ранняя диагностика технического качества подростка как важный элемент интенсификации лесопользования в России // Лесн. журн. 2012. № 6. С. 16–23.
25. Федюков В.И., Салдаева Е.Ю., Цветкова Е.М. Стандартизация резонансной древесины: необходимо совершенствование // Стандарты и качество. 2014. № 4. С. 54–57.
26. Aoki Tsutomu, Yamada Tadashi. The viscoelastic Properties of Wood Used for Musical Instruments // Presented Partly on the 21-st Meeting of the Japan Wood Research Society. Nagoya, 1971. April. P. 42.
27. Блъскова Г., Тричков Н., Бърдаров Н. Изследване на акустичните при надлъжни и напречни вълни на смърчова дървесина // Сб. научни доклади «50 години лесотехнически университет». Секция дървообработване и производство на мебели. София, 1–3 април. 2003. С. 51–54.
28. Bucur V. Determination du module D'Young du bois par une methode dynamique sur carottes de sondage // Ann. Sci. Forest. 1981. Vol. 38(2). P. 298.
29. Bucur V. An ultrasonic method for measuring the elastic constants of wood increment cores bored from living trees // Ultrasonic. 1983. May. Vol. 21, N 1. P. 116–126.
30. Bucur V. Acoustics of Wood. Springer Series in Wood Science. Berlin, 2006. P. 345.
31. Culik M. Drevo a jeho využitie vo vyrobe hudobnych nástrojov. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2013. 93 p.
32. Danihelova A. Relevant Physical Acoustics of Spruce Wood as a Material for Musical Instruments // Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering. Lahti, Finland, 2004. P. 491–494.
33. Danihelova. A., Culik M. Netradicne využitie jarabiny vtacej na výrobu konstrukcnych sucasti violy // Noise and vibration in practice: proceedings of the 18th International Acoustic Conference. Bratislava: Slovenska technická univerzita v Bratislave, 2013. P. 27–30.
34. Davide Z. Biljke kayo gradevni material za music instrument // Vijestijazu. 1984. N 9-10. P. 36–37.
35. Davide Z. Rezonantno drevo gudackin instrumenata // Tonovi Strucni i prijevodi. 1989. N 8. P. 10–18.
36. Droste Hans-Joachin. Impact of timber certification on sustainable test management. Part 1. Hamburg, 1996. 52 p.
37. Halachan P., Spisiak D. Physical-acoustical characteristics of chosen fruitwoods // Proc. 5th Int. Symp. of Regional Coordination Council on Wood Sci. “The Structure, Quality, Properties of Wood-2014”, 22–25 September 2014. Moscow, 2015, pp.182–189.
38. Holz D. Zum Alterungsverhalten des Werkstoffes Holz-einige Ansichten, Untersuchungen, Ergebnisse // Holztechnologie. 1981. N 2. P. 80–85.

39. Hsu Linda C.-Y., Chauhan Shakti S., King N. Modulus of elasticity of stemwood vs branchwood in 7-year-old *Pinus radiata* Families // N. Z. J. Forest. Sci. (School of Forestry, Universiti of Canterbury, Private Bag 4800, Cristchurch, New Zealand). 2003. N 33(1). P. 35–46.
40. Huber F. Definition de caracteristiques simples decrivant les arbres et le bois de l'epicea commun (*Picea excelsa* Link) et pouvant etre prises en flite pour l'evaluation de la ressource en bois de resonance (station de iherches sur la gualite des bois) // INRA. Centre de recherches forestiers. Champenoux 54280 Seichamps. 1989. 38 p.
41. Ille R. Osetreni a vlastnosti rezonancniho dfevo smrku pro mistrovske lisle // Drevo. 1978. N 33. P. 133–138.
42. Ille R. Rezonancni dfevo smrku pro mistrovske housle // Drevo. 1979. N 34. P. 303–304.
43. Kollman F. Holz und Schall-Theorie und Nutzenwendung // Holz-Zentralblatt. 1983. N 14, 2 Februar. P. 18–35.
44. Lindstrom H., Harris P., Nakada R. Methods for measuring stiffness of young trees // Holz als Roh- und Werkstoff. 2002. Vol. 60. P. 165–167.
45. Lindstrom H., Nakada R., Ralston J. Cell wall structure and wood properties determined by acoustics – a selective review // Holz Roh- und Werkstoff. 2003. Vol. 61, N 5. P. 321–335.
46. Mamdy C., Rozenberg P., Bastion J.C. Non-Distructive assessment modulus of elastivity in genetic field tests in France: 20 IUERO World Congr., Tampere, 7–11 Aug. 1995 // IAWA J. 1995. N 1. P. 16.
47. Nakanura N. Development of measuring Young's modulus of planting stock // Japan For Soc. 1997. Vol. 79(1). P. 43–48.
48. Nemecek V. K zajisteni proucke rezonancniho dreva // Lesnicka prace. 1979. N 58(3). P. 105–109.
49. Parlovcs Gunars, Dolacis Janis, Antons Andis, Cirule Dace. Relationship between the anatomical structure elements and physical properties in the trunk transverse and longitudinal direction for wood of Norway spruce grooving in Latvia // Ann. Warsaw Univ. Life Sci. Forest. and Wood Technol. 2010. N 72. P. 124–128.
50. Rajcan E. Die Physikalisch – akustischen charakteristiken von holz als material fur die production von streichinstrumenten // Latest achievements in research of wood structure and physics. Zvolen: Vysoka skola lesnicka a drevarska vo Zvolene, 1990. P. 56.
51. Yoshihara H. Off-axis Young's modulus and off-axis shear modulus of wood measured by flexural Vibration tests // Holzforchung. 2012. Vol. 66, N 2. P. 207–213.

Поступила 17.01.16

UDC 630*6

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.142

State of the Art and Prospects of Sounding Timber Selection, Targeted Use and Cultivation in the Forests of Russia

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

Volga State University of Technology, Lenin sq., 3, Yoshkar-Ola, Mari El Republic, 424000, Russian Federation; e-mail: fiv48@mail.ru

A brief excursus of domestic and foreign literature sources concerning the concept of sounding wood and the diagnostic methods of its technical properties in the targeted selection of standing trees and assortments is presented. Two concepts, which are used by the instrument-making masters in the selection of necessary material are analyzed: evaluation of its quality on the basis of indirect biomorphological indicators of a growing tree and direct measurements of physical and acoustic performance of wood. In the first case, the sufficient information can be obtained by analyzing the following features: the species, timber macrostructure, trunk habit, size, cones color, and most importantly, the form of their seed scales, color and structure of the bark, the type of tree branching. Detection of an acoustic constant on the basis of cross frequency and amplitude characteristics presents more authentic data on sounding properties of wood than the speed of sound passage along-the-grain. This way allows us to perform the early nondestructive diagnostics of resonating characteristics of spruce wood in the stage of undergrowth or young stand stage. The paper gives the information with a reference to the historical facts about the reserves in the forests of Russia of spruce wood and bird's-eye maple especially valuable for musical instruments manufacturing. Despite this fact the system of the rational and targeted use of such wood has not been established in Russia. The paper suggests promising ways of cultivation and preservation of the sounding spruce gene resources in the forests of Russia. The author offers to make some amendments to the Forest Code of the Russian Federation taking into account the present-day market relations in the forest exploitation.

Keywords: sounding timber, sounding spruce biomorphology, dendro-acoustics, nondestructive diagnostics, peculiarities of targeted cultivation.

REFERENCES

1. Borovikov A.M., Ugolev B.N. *Spravochnik po drevesine* [Timber Reference Book]. Moscow, 1989. 296 p.
2. Vitachek E.F. *Ocherki po istorii izgotovleniya smychkovykh instrumentov* [Essays on the History of Bow-Instrument Making]. Moscow, 1964. 341 p.
3. Volynskiy V.N. O vzaimosvyazi prochnosti drevesiny s neskol'kimi ee parametrami [On the Interrelations of Wood Strength and Its Several Parameters]. *Lesnoy zhurnal*, 1991, no. 4, pp. 60–64.

For citation: Fedyukov V.I. State of the Art and Prospects of Sounding Timber Selection, Targeted Use and Cultivation in the Forests of Russia. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 5, pp. 142–156. DOI: 10.17238/issn0536–1036.2016.5.142

4. Kuznetsov I.I. Rezonansovyy les i ego deki [Resonance Wood and Its Sound Boards]. *Lesnoe khozyaystvo i lesnaya promyshlennost'*, 1930, no. 2–3, pp. 39–43.
5. Melekhov I.S. Znachenie tipov lesa i lesorastitel'nykh usloviy v izuchenii stroeniya drevesiny i ee fiziko-mekhanicheskikh svoystv [Significance of Forest Types and Sites in the Study of the Wood Structure and Its Physical and Mechanical Properties]. *Trudy Instituta lesa AN SSSR* [Proceedings of the Forest Institute of the USSR Academy of Sciences], 1949, vol. IV, pp. 11–21.
6. Melekhov I.S. *Lesovedenie* [Silviculture]. Moscow, 1980. 408 p.
7. Melekhov V.I., Babich N.A., Korchagov S.A. *Kachestvenne kharakteristiki drevesiny sosny v kul'turakh* [Pine Wood Qualitative Characteristics in Cultures]. Arkhangel'sk, 2005. 116 p.
8. Moiseev N.A. Nauka i praktika upravleniya lesami i ego zakonodatel'nogo obespecheniya [Science and Practice of Forest Management and Its Legislative Support]. *Lesnoe khozyaystvo*, 2011, no. 2, pp. 13–14.
9. Nesterov N.S. O rezonansnom lesnom materiale dlya strunnykh instrumentov [On Sounding Wood for Stringed Instruments]. *Russkoe lesnoe delo*, 1892, no. 1, pp. 13–16.
10. Keys V.N., Kozyrev A.B., Kuz V.G., Makar'eva T.A., Fedyukov V.I. *Sposob obrabotki rezonansnoy drevesiny* [A Method of a Resonant Wood Treating]. Patent RF, no. 2034697, 1992.
11. Fedyukov V.I., Veselov L.N., Veselov V.L. *Sposob diagnostiki rezonansnykh svoystv drevesiny i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [The Diagnostic Method of Resonance Properties of Wood and the Device for Its Implementation]. Patent RF, no. 2130611, 1997.
12. Fedyukov V.I., Saldaeva E.Yu., Vasenev A.L. *Sposob ranney diagnostiki rezonansnykh svoystv drevesiny* [The Method of Early Diagnosis of Resonance Properties of Wood]. Patent RF, no. 2439561, 2009.
13. Fedyukov V.I., Saldaeva E.Yu., Vasenev E.A. *Ustroystvo dlya fiksatsii obraztsa pri dendroakusticheskikh ispytaniyakh po rannemu vyyavleniyu rezonansnykh svoystv drevesiny na kornyu* [The Device for Fixing a Sample at Dendro-Acoustic Tests for the Early Detection of Resonance Properties of Standing Timber]. Patent RF, no. 2523033, 2012.
14. Pakhar' G.A. O prigodnosti russkoy eli dlya vyrabotki rezonatorov [On the Aptitude of Russian Spruce for Producing of Soundboards]. *Lesopromyshlennik: ezhenedel'nyy zhurnal lesnoy promyshlennosti i trgovli*, vol. 1, no. 2, pp. 129–131.
15. Poluboyarinov O.I. Morfologiya dereva kak razdel biologicheskogo drevesinovedeniya [Tree Morphology as a Part of Biological Wood Science]. *Sovremennye problemy drevesinovedeniya* [Modern Problems of Wood Science]. Yoshkar-Ola, 1996. pp. 9–10.
16. Rimskiy-Korsakov A.V., D'yakonov N.A. *Muzykal'ne instrumenty: Metody issledovaniy i raschety* [Musical Instruments: Research Methods and Calculations]. Moscow, 1952. 345 p.
17. Saldaeva E.Yu. *Razrabotka metoda ranney nerazrushayushchey diagnostiki rezonansnykh svoystv drevesiny eli na kornyu*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [A Method Development for Early Nondestructive Diagnosing of Resonant Properties of Standing Spruce Wood: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Voronezh, 2015. 16 p.
18. Sanukov N.K. Edinstvennaya v Rossii [The Only in Russia]. *Mariy El: vchera, segodnya, zavtra*, 1994, no. 5–6, pp. 82–84.

19. Fedyukov V.I., Lebedeva E.P. *Tekhnologiya sozdaniya matochno-arkhivnoy plantatsii rezonansnoy eli s unikal'nymi akusticheskimi svoystvami drevesiny: Otchet o NIR* [Technology of Creating a Clone Bank of Sounding Spruce with Unique Acoustic Timber Properties: R&D Report]. Yoshkar-Ola, 1995. 28 p.
20. Fedyukov V.I. *El' rezonansnaya: otbor na kornyu, vyrashchivanie, sertifikatsiya* [Sounding Spruce: Standing Trees Selection, Cultivation, Certification]. Yoshkar-Ola, 1998. 204 p.
21. Fedyukov V.I. Elektronnyy dendrometr dlya otbora rezonansnoy drevesiny [Electronic Dendrometer for the Sounding Wood Selection]. *Derevoobrabatывayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 1990, no. 7, pp. 30–31.
22. Fedyukov V.I. Forma semennykh cheshuy eli kak diagnosticheskiy priznak rezonansnoy eli na kornyu [The Spruce Seed Scale Form as a Diagnostic Property of Standing Sounding Spruce]. *Lesnoy zhurnal*, 1998, no. 1, pp. 23–30.
23. Fedyukov V.I., Saldaeva E.Yu. Rezonansnaya el' dlya rekonstruktsii Bol'shogo teatra [Sounding Spruce for the Bolshoi Theatre Reconstruction]. *Lesnoe khozyaystvo*, 2011, no. 2, pp. 13–14.
24. Fedyukov V.I., Saldaeva E.Yu., Tsvetkova E.M. Rannyya diagnostika tekhnicheskogo kachestva podrosta kak vazhnyy element intensivatsii lesopol'zovaniya v Rossii [Early Diagnosis of the Undergrowth Technical Quality as an Important Element of the Forest Management Intensification in Russia]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 6, pp. 16–23.
25. Fedyukov V.I., Saldaeva E.Yu., Tsvetkova E.M. Standartizatsiya rezonansnoy drevesiny: neobkhodimo sovershenstvovanie [Sounding Wood Standardization: the Improvement is Urgent]. *Standarty i kachestvo*, 2014, no. 4, pp. 54–57.
26. Aoki Tsutomu, Yamada Tadashi. The Viscoelastic Properties of Wood Used for Musical Instruments. *Presented Partly on the 21st Meeting of the Japan Wood Research Society*. Nagoya, 1971, p. 42.
27. Bl'skova G., Trichkov N., B"rdarov N. Izsledvane na akustichnite pri nadl"zhni i naprechni v"lni na sm"rchova d"rvesina. *Sb. nauchni dokladi "50 godini lesotekhnicheski universt"*. *Sektsiya d"rvoobrabotvane i proizvodstvo na mebeli*. Sofia, 2003. pp. 51–54.
28. Bucur V. Determination du module d'Young du bois par une methode dynamique sur carottes de sondage. *Annales des sciences forestieres*, 1981, vol. 38(2), pp. 283–298.
29. Bucur V. An Ultrasonic Method for Measuring the Elastic Constants of Wood Increment Cores Bored from Living Trees. *Ultrasonic*, 1983, vol. 21, no. 1, pp. 116–126.
30. Bucur V. Acoustics of Wood. *Springer Series in Wood Science*. Berlin, 2006, p. 345.
31. Culik M. *Drevo a jeho vyuzitie vo vyrobe hudobnych nastrojov*. Zvolen, 2013. 93 p.
32. Danihelova A. Relevant Physical Acoustics of Spruce Wood as a Material for Musical Instruments. *Proc. of the 8th World Conf. on Timber Engineering*. Finland, Lahti, 2004, pp. 491–494.
33. Danihelova A., Culik M. Netradicne vyuzitie jarabiny vtacej na vyrobu konstrukcnych sucasti violy. *Noise and Vibration in Practice: Proc. of the 18th Int. Acoustic Conf.* Bratislava, 2013, pp. 27–30.
34. Devide Z. Biljke kayo gradevni material za music instrument. *Vijestijazu*, 1984, no. 9–10, pp. 36–37.

35. Devide Z. Rezonantno drevo gudackin instrumenata. *Tonovi Strucni i prijevodi*, 1989, no. 8, pp. 10–18.
36. Droste Hans-Joachin. *Impact of Timber Certification on Sustainable Test Management. Part I*. Hamburg, 1996. 52 p.
37. Halachan P., Spisiak D. Vybrané modifikácie povrchu dreva a ich vplyv na fyzikálno-akustické. *Proc. 5th Int. Symp. of Regional Coordination Council on Wood Sci. "The Structure, Quality, Properties of Wood-2014"*, 22–25 September 2014. Moscow, 2015, pp. 182–189.
38. Holz D. Zum alterungsverhalten des Werkstoffes Holz-einige Ansichten, Untersuchungen, Ergebnisse. *Holztechnologie*, 1981, no. 2, pp. 80–85.
39. Hsu Linda C.-Y., Chauhan Shakti S., King N. Modulus of Elasticity of Stemwood vs Branchwood in 7-Year-Old *Pinus Radiata* Families. *N. Z. J. Forest. Sci.*, 2003, no. 33(1), pp. 35–46.
40. Huber F. Definition de caracteristiques simples decrivant les arbres et le bois de l'epicea commun (*Picea excelsa* Link) et pouvant etre prises en flite pour l'evaluation de la ressource en bois de resonance (station de iherches sur la gualite des bois). *INRA. Centre de recherches forestiers*, 1989. 38 p.
41. Ille R. Osetreni a vlastnosti rezonancniho drevo smrku pro mistrovske lisle. *Drevo*, 1978, no. 33, pp. 133–138.
42. Ille R. Rezonancni drevo smrku pro mistrovske housle. *Drevo*, 1979, no. 34, pp. 303–304.
43. Kollman F. Holz und Schall-Theorie und Nutzenanwendung. *Holz-Zentralblatt*, 1983, no. 14, pp. 18–35.
44. Lindstrom H., Harris P., Nakada R. Methods for Measuring Stiffness of Young Trees. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 2002, no. 60, pp. 165–167.
45. Lindstrom H., Nakada R., Ralston J. Cell Wall Structure and Wood Properties Determined by Acoustics – a Selective Review. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 2003, vol. 61, no. 5, pp. 321–335.
46. Mandy C., Rosenberg P., Bastion J.C. Non-Destructive Assessment Modulus of Elasticity in Genetic Field Tests in France: 20 IUERO World Congr., Tampere, 7–11 August, 1995. *IWA Journal*, 1995, no. 1, p. 16.
47. Nakamura N. Development of Measuring Young's Modulus of Planting Stock. *Journal of the Japanese Forestry Society*, 1997, no. 79(1), pp. 43–48.
48. Nemecek V. K zajisteni proukce rezonancniho dreva. *Lesnicka prace*, 1979, no. 58(3), pp. 105–109.
49. Parlovcs G., Dolacis J., Antons A., Cirule D. Relationship Between the Anatomical Structure Elements and Physical Properties in the Trunk Transverse and Longitudinal Direction for Wood of Norway Spruce Grooving in Latvia. *Ann. Warsaw Univ. Life Sci. Forest. and Wood Technol.*, 2010, no. 72, pp. 124–128.
50. Rajcan E. Die physikalisch-akustischen Charakteristiken von Holz als Material fur die Production von Streichinstrumenten. *Latest Achievements in Research of Wood Structure and Physics*. Zvolen, 1990, p. 56.
51. Yoshihara H. Off-Axis Young's Modulus and Off-Axis Shear Modulus of Wood Measured by Flexural Vibration Tests. *Holzforchung*, 2012, no. 66(2), pp. 207–213.

Received on January 17, 2016

УДК 621.983.32:621.78-977

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.157

РЕЖИМЫ ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Л.В. Кремлева, д-р. техн. наук, доц.

В.И. Малыгин, д-р. техн. наук, проф.

К.К. Снегирева, асп.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова – филиал в г. Северодвинске, ул. Капитана Воронина, д. 6, г. Северодвинск, Россия, 164500; e-mail: kremleva67@mail.ru

Одним из наиболее перспективных направлений повышения износостойкости и прочности дереворежущего инструмента является закалка рабочих поверхностей лучом лазера. В статье приведены результаты экспериментальных исследований процесса лазерного упрочнения легированных инструментальных сталей, широко используемых для изготовления фрезерного дереворежущего инструмента. Известно, что предварительная объемная термообработка образцов из инструментальной стали оказывает существенное влияние на показатели качества поверхностного слоя (остаточные напряжения, глубина упрочнения, микротвердость поверхности) при последующем лазерном упрочнении. Эксперименты проведены на установке импульсного лазерного термоупрочнения «Квант-18» с длиной импульса 8 мс на образцах сталей 9ХС и ХВГ. Остаточные напряжения упрочненной зоны и остаточный аустенит определяли с помощью установки Rigaku FSM-2М, микротвердость измеряли на микрошлифах твердомером ПМТ-3. Первая серия экспериментов по лазерному упрочнению проведена на незакаленных образцах. Установлено, что после лазерного воздействия на структурно неоднородный образец возникают неблагоприятные растягивающие поверхностные напряжения, микротвердость при этом изменяется незначительно. Во второй серии экспериментов образцы подвергали объемной термообработке. Сделан вывод о том, что для качественного лазерного упрочнения после объемной термообработки необходимо проводить низкий отпуск. С ростом температуры отпуска происходит снижение остаточного аустенита в поверхностном слое упрочняемой детали, что уменьшает величину упрочненного слоя и микротвердость поверхности. Рост температуры предварительной закалки положительно сказывается на показателях качества упрочненного слоя, но при этом существенно снижается обрабатываемость резанием инструментальных сталей, что может негативно отразиться на операциях механической обработки рабочих и базирующих поверхностей инструмента (включая шлифование), предшествующих операции лазерного упрочнения.

Ключевые слова: дереворежущий инструмент, лазерное упрочнение, закалка, отпуск, остаточный аустенит, глубина упрочненного слоя, микротвердость.

Для цитирования: Кремлева Л.В., Малыгин В.И., Снегирева К.К. Режимы лазерного упрочнения дереворежущего инструмента из легированных сталей // Лесн. журн. 2016. № 5. С. 157–166. (Изв. высш. учебных заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.157

Несмотря на устойчивую тенденцию использования в деревообработке режущего инструмента из твердых сплавов и сверхтвердых материалов, применение инструментальных легированных сталей не теряет своей актуальности. В пользу этого свидетельствует относительно низкая стоимость, значительный ресурс за счет большого числа допускаемых переточек. Но самым главным фактором, позволяющим активно использовать деревообрабатывающий инструмент из инструментальных сталей, является острота и формоустойчивость режущих кромок, что оказывает существенное влияние на шероховатость поверхности при обработке сложных профилей фрезерованием профилированным инструментом. Поэтому задача повышения эксплуатационной надежности инструмента из инструментальных сталей не теряет своей актуальности, а разработка и исследование технологических способов повышения стойкости и ресурса инструмента позволяют в целом повысить эффективность и качество операций механической обработки древесины и древесных материалов.

Работоспособность рабочих поверхностей режущего инструмента в значительной мере определяется качеством поверхностного слоя. При этом к рабочим поверхностям фрезерного инструмента, работающего в условиях циклических нагрузок, предъявляются особые требования как по микротвердости, глубине и степени упрочнения поверхностного слоя, так и по величине остаточных напряжений. Эти параметры не только в полной мере определяют микропрочность рабочих поверхностей инструмента, но и в значительной степени влияют на способность к истиранию – износостойкость.

Известно, что методы лазерного упрочнения являются перспективными для изделий, ресурс которых лимитируется износостойкостью [1, 4, 6, 11, 12]. Параметры качества упрочненного поверхностного слоя при этом зависят от температурно-временных характеристик лазерного упрочнения [7]. Изменяя их, можно сформировать поверхностный слой с заданными твердостью и структурой. Следует отметить, что при лазерной обработке не происходит изменения геометрии нагреваемого участка. Это создает перспективы использования лазерных методов в технологических процессах упрочнения поверхностей без последующего шлифования.

В целом получение материалов с заданной структурой является довольно сложной задачей. Технологические параметры лазерного упрочнения и исходное структурное состояние материала оказывают влияние на структуру упрочненного поверхностного слоя [2, 3, 9, 10, 13–15]. При этом, чем однородней исходная структура, тем более значительно упрочняется поверхностный слой, что может быть объяснено образованием мелкозернистой мартенситной структуры [8]. Однако в ряде случаев при обработке изделия с исходной неоднородностью сложно получить однородную структуру и требуемую твердость [5, 8].

Цель данной работы – исследование влияния технологии лазерного упрочнения на качество поверхностного слоя дереворежущего фрезерного инструмента из инструментальных легированных сталей.

Для оценки влияния технологических режимов лазерного упрочнения на показатели качества поверхностного слоя были выбраны образцы из сталей 9ХС и ХВГ. Лазерное термоупрочнение поверхностного слоя образцов проводили на серийной установке импульсного лазерного термоупрочнения «Квант-18» с длиной импульса 8 мс. Плотность мощности лазерного излучения подбирали таким образом, чтобы сохранялась микрогеометрия поверхности и не происходило ее оплавления ($\sim 1,53 \cdot 10^5$ Вт/см²). Диаметр пятна контакта варьировал в пределах 6...8 мм, коэффициент перекрытия при этом составлял 0,5. Остаточные напряжения упрочненной зоны и остаточный аустенит определяли неразрушающим рентгенографическим способом с помощью установки Rigaku FSM-2М, микротвердость измеряли на микрошлифах твердомером ПМТ-3 по методике, приведенной в ГОСТ 9450–76.

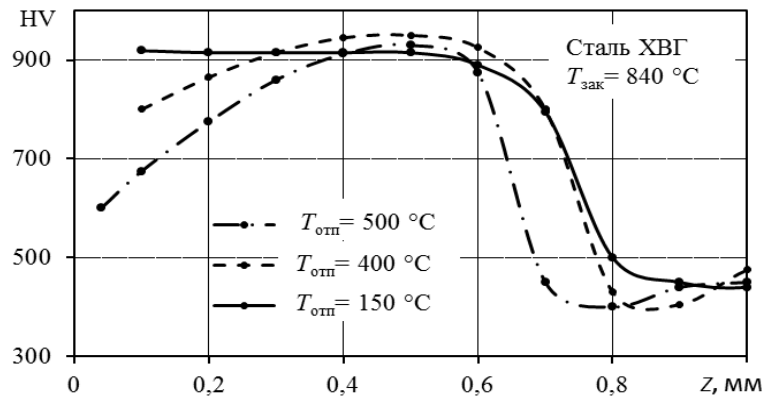
Перед основной серией экспериментов были проведены предварительные эксперименты на незакаленных инструментальных сталях. При этом измеряли величину и знак остаточных напряжений при различных значениях энергии лазерного излучения Q и постоянном диаметре пятна $D = 6$ мм. Данные предварительных экспериментов приведены в таблице.

Результаты определения остаточных напряжений в двух направлениях незакаленных образцов из инструментальных сталей при лазерном воздействии

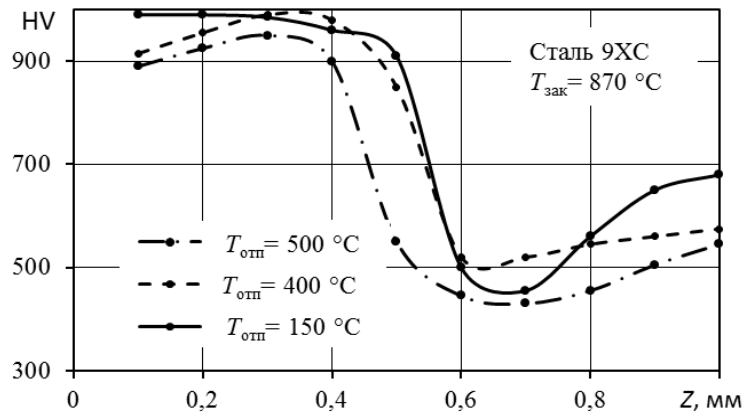
Сталь	Режим лазерной обработки	Остаточные напряжения, МПа, в направлениях		Микротвердость поверхности, HV 1/30
		σ_x	σ_y	
ХВГ	Исходное состояние образцов	-186,2	-411,6	5252...6203
	$Q = 38$ Дж	607,6	588,0	6291...6987
	$Q = 43$ Дж	725,2	725,2	
	$Q = 48$ Дж	705,6	686,0	
9ХС	Исходное состояние образцов	-254,8	-470,4	6203...6487
	$Q = 38$ Дж	1195,6	1048,6	6252...7565
	$Q = 43$ Дж	1146,6	1176,0	
	$Q = 48$ Дж	1421,0	1362,2	

Результаты предварительных экспериментов позволили сделать вывод о том, что быстрый нагрев поверхности при лазерной обработке приводит к изменению знака остаточных напряжений. Во всех экспериментах возникновение значительного температурного градиента при лазерном воздействии на структурно неоднородный образец свело к нулю эффективность лазерной обработки и привело к появлению неблагоприятных растягивающих поверхностных напряжений, микротвердость при этом изменялась незначительно.

Как было сказано выше, структурно-фазовое состояние заготовок оказывает значительное влияние на характеристики поверхностного слоя, поэтому целью следующей серии экспериментов являлось изучение влияния предварительной объемной термической обработки на микротвердость и содержание остаточного аустенита в поверхностных слоях исследуемых образцов. Результаты экспериментов представлены на рис. 1, 2.



a



б

Рис. 1. Зависимость микротвердости HV и глубины лазерного упрочнения z от температуры отпуска $T_{\text{отп}}$ при постоянной температуре закалки $T_{\text{зак}}$

Предварительная термическая обработка образцов влияет на глубину и распределение микротвердости по глубине следующим образом. При лазерном упрочнении исследуемых материалов, прошедших объемную закалку в муфельной печи, повышение температуры отпуска приводит к снижению

микротвердости поверхностного слоя с одновременным, хотя и незначительным, уменьшением его глубины. Такая зависимость может быть объяснена наличием после закалки и низкого отпуска остаточного аустенита, количество которого уменьшается с ростом температуры отпуска (рис. 2).

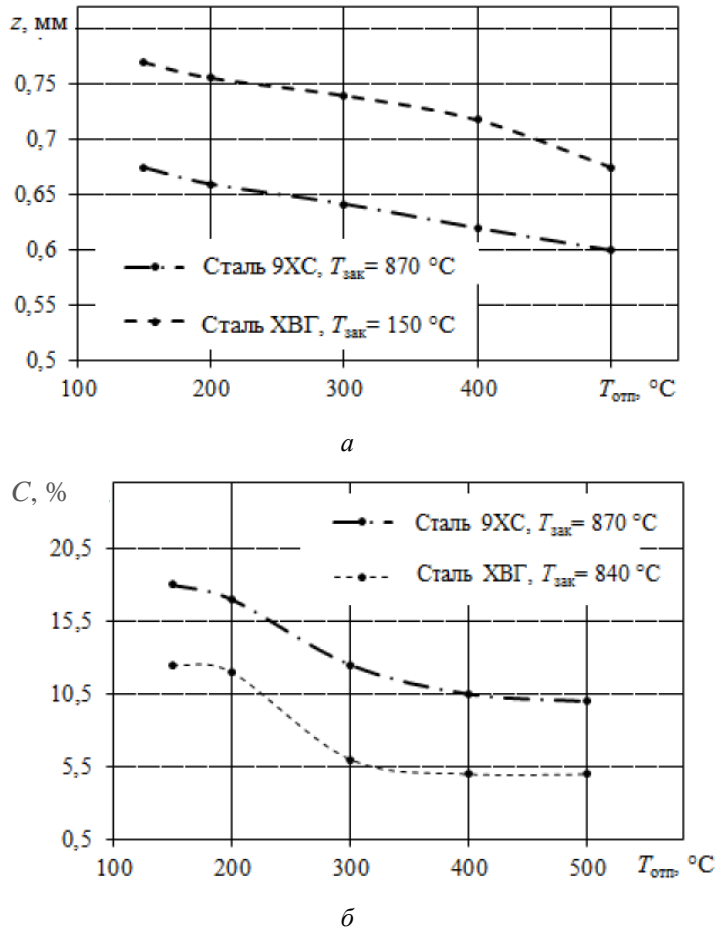
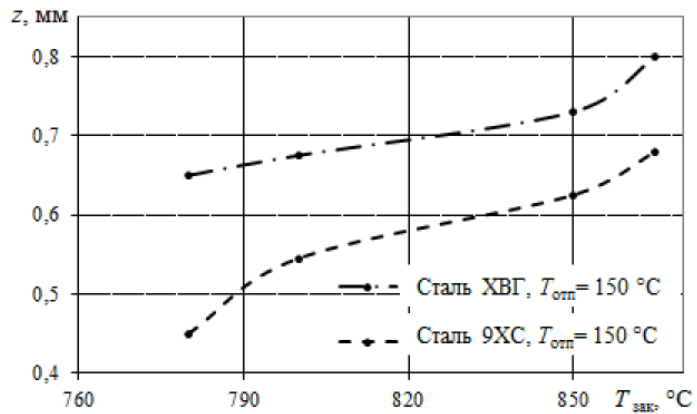


Рис. 2. Зависимость глубины упрочненной зоны z (а) и содержания (С) остаточного аустенита (б) от температуры отпуска $T_{отп}$

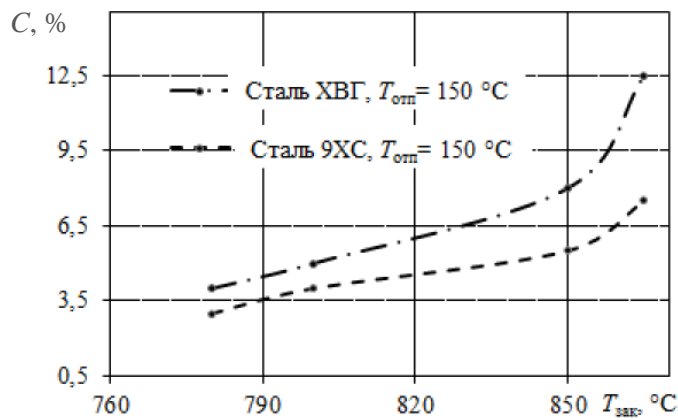
В связи с тем, что аустенит обладает достаточно высокой теплопроводностью ($\lambda = 0,1$ кал/(см·с·градус)), с уменьшением его количества снижается теплопроводность образца. Одновременно при возрастании температуры отпуска увеличивается количество карбидов, имеющих низкую теплопроводность ($\lambda = 0,017$ кал/(см·с·градус)), что также снижает общую теплопроводность. Уменьшение микротвердости в приповерхностном слое объясняется

также снижением общей теплопроводности образцов и, как следствие, нагревом его до более высоких температур при лазерном воздействии. В закаленном слое появляется большое количество аустенита.

На рис. 3 приведены зависимости влияния температуры объемной закалики образцов на глубину упрочненного слоя и остаточный аустенит при низком отпуске.



a



б

Рис. 3. Зависимость глубины упрочненной зоны z (*a*) и содержания (C) остаточного аустенита (*б*) от температуры закалки $T_{зак}$ при низком отпуске

С ростом температуры закалки в поверхностных слоях возрастает содержание остаточного аустенита, что приводит к увеличению глубины «прокаливаемости» поверхности при лазерном воздействии и, как следствие, к увеличению глубины упрочненного слоя.

Таким образом, предварительная объемная термообработка образцов из инструментальной стали оказывает существенное влияние на показатели качества поверхностного слоя при лазерном упрочнении: величину остаточных напряжений, глубину упрочнения и микротвердость поверхности. Для качественного лазерного упрочнения после объемной термообработки в печах необходимо проводить предварительный низкий отпуск. С ростом температуры отпуска содержание остаточного аустенита в поверхностном слое упрочняемой детали снижается, что приводит к уменьшению величины упрочненного слоя и микротвердости поверхности. Рост температуры предварительной закалки положительно сказывается на показателях качества упрочненного слоя, но при этом существенно снижается обрабатываемость резанием, что может негативно отразиться на операциях механической обработки рабочих и базирующих поверхностей инструмента (включая шлифование), предшествующих операции лазерного упрочнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зотов Г.А., Памфилов Е.А.* Повышение стойкости дереворежущего инструмента. М.: Экология, 1991. 295 с.
2. *Бирюков В.* Изменение структуры и свойств сталей при лазерном упрочнении // Фотоника. 2012. № 3. С. 22–27.
3. *Бровер А.В., Бровер Г.И., Дьяченко Л.Д.* Некоторые особенности структурного состояния сталей в зонах лазерной обработки // Черная металлургия. 2007. № 6. С. 36–45. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Григорьянц А.Г., Щиганов И.Н., Мисюров А.И.* Технические процессы лазерной обработки. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 664 с.
5. *Гуреев Д.М., Камашев А.В., Ямщиков С.В.* Механизмы фазовых превращений в железе и сталях при лазерном нагреве. Самара: Самарский университет, 1999. 164 с.
6. *Моисеев А.В.* Износостойкость дереворежущего инструмента. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 111 с.
7. *Попов В.С.* Лазерное упрочнение сталей: сравнение волоконных и CO₂-лазеров // Фотоника. 2009. № 4. С. 18–21.
8. *Пронин М.М., Старцев В.Н., Попов В.О., Вайнерман А.Е., Калганов Б.Д.* Лазерная обработка материалов. Перспективные технологии и оборудование // Вопр. материаловедения. 1999. № 3. С. 375–93.
9. *Синяков К.А.* Влияние скорости нагрева на структуру и свойства инструментальных сталей // Инструмент и технологии. 2008. № 5. С. 151–158.
10. *Ситкина Л.П., Ярьско С.И.* Эффективность технологии лазерной упрочняющей обработки в инструментальном производстве // Изв. ВолгГТУ. 2013. Т. 9, № 7. С. 40–43.
11. *Сомонов В.В., Цибульский И.А.* Эффективность использования волоконных лазеров для лазерной закалки изделий в промышленности // Металлообаб. 2014. № 1. С. 9–12.

12. Яресько С.И., Горяинов Д.С. Моделирование процесса лазерного упрочнения режущего инструмента // Изв. Самар. НЦ РАН. 2011. Т. 13, № 4-3. С. 921–926.
13. Adel K.M., Dhia A.S., Ghazali M.J. The effect of laser surface hardening on the wear and friction characteristics of acicular bainitic ductile iron // International J. of Mechanical and Materials Engineering. 2009. Vol. 4, N 2. P. 167–171.
14. El-Batahy A.M., Ramadan A.R., Moussa A.R. Laser Surface Hardening of Tool Steels – Experimental and Numerical Analysis // J. of Surface Engineered Materials and Advanced Technology. 2013. N 3. P. 146–153.
15. Lee J.-H., Jang J.-H., Joo B.-D., Son Y.-M., Moon Y. H. Laser surface hardening of AISI H13 tool steel // Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition). 2009. Vol. 19, N 4. P. 917–920.

Поступила 20.05.15

UDC 621.983.32:621.78-977
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.157

The Modes of Laser Hardening of Alloyed Steel Wood-Cutting Tools

L.V. Kremleva, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

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

K.K. Snegireva, Postgraduate Student

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Captain Voronin str., 6, Severodvinsk, Arkhangelsk region, 164500, Russian Federation;
e-mail: kremleva67@mail.ru

One of the most promising directions of increasing the wear resistance and durability of wood-cutting tools is a hardening of working surfaces by a laser beam. The article presents the results of experimental studies of the process of laser hardening of alloyed tool steels, widely used for the manufacture of milling wood-cutting tools. The preliminary volume heat treatment of tool steel samples has a significant influence on the quality parameters of the surface layer (residual stresses, hardening depth, surface micro-hardness) in the subsequent laser hardening. The experiments are carried out at the pulsed laser strengthening installation «Kvant-18» with a pulse length of 8 ms on the samples of 9XS and CWM steels. Residual stresses of the hardened zone and residual austenite are determined by Rigaku FSM-2M, the microhardness is measured on the micro-sections by a hardness tester PMT-3. The first series of experiments in laser hardening are carried out on unquenched samples. The laser effect on the structurally nonhomogeneous sample leads to adverse tensile surface stresses, microhardness changes slightly. In the second series of experiments the samples are subjected to volume heat treatment. For the quality of laser hardening after a volume heat treatment it is necessary to carry out low tempering. With increasing the tempering temperature the residual austenite decreases in the surface layer of a hardenable part, which reduces

For citation: Kremleva L.V., Malygin V.I., Snegireva K.K. The Modes of Laser Hardening of Alloyed Steel Wood-Cutting Tools. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 5, pp. 157–166. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.157

the size of the hardened layer and the microhardness of the surface. The pre-quenching temperature rise has a positive effect on the quality parameters of the hardenable layer, but machinability of tool steels significantly decreases that can adversely affect the machining operations of working and basing tools faces (including grinding) prior to the operation of laser hardening.

Keywords: wood-cutting tool, laser hardening, hardening, tempering, retained austenite, hardened layer depth, micro-hardness.

REFERENCES

1. Zotov G.A, Pamfilov E.A. *Povyshenie stoykosti derevorezhushchego instrumenta* [Increasing of Wood-Cutting Tools Resistance]. Moscow, 1991. 295 p.
2. Biryukov V. *Izmenenie struktury i svoystv staley pri lazernom uprochnenii* [Changes in the Structure and Properties of Steels at Laser Consolidation]. *Fotonika* [Photonics], 2012, no. 3, pp. 22–27.
3. Brover A.V., Brover G.I., D'yachenko L.D. *Nekotorye osobennosti strukturnogo sostoyaniya staley v zonakh lazernoy obrabotki* [Some Features of the Structural State of Steels in the Areas of Laser Processing]. *Chernaya metallurgiya* [Ferrous Metallurgy], 2007, no. 6, pp. 36–45.
4. Grigor'yants A.G., Shchiganov I.N., Misyurov A.I. *Tekhnicheskie protsessy lazernoy obrabotki* [The Technological Processes of Laser Processing]. Moscow, 2006. 664 p.
5. Gureev D.M., Kamashev A.V., Yamshchikov S.V. *Mekhanizmy fazovykh prevrashcheniy v zheleze i stalyakh pri lazernom nagreve* [The Mechanisms of Phase Transformations in Iron and Steel by Laser Heating]. Samara, 1999. 164 p.
6. Moiseev A.V. *Iznosostoykost' derevorezhushchego instrumenta* [Wear Resistance of Wood-Cutting Tools]. Moscow, 1981. 111 p.
7. Popov V.S. *Lazernoe uprochnenie staley: sravnenie volokonnykh i CO₂-lazerov* [Steels Laser Hardening: a Comparison of Fiber and CO₂ Lasers]. *Fotonika* [Photonics], 2009, no. 4, pp. 18–21.
8. Pronin M.M., Startsev V.N., Popov V.O., Vaynerman A.E., Kalganov B.D. *Lazernaya obrabotka materialov. Perspektivnye tekhnologii i oborudovanie* [Laser Materials Processing. Advanced Technologies and Equipment]. *Voprosy materialovedeniya*, 1999, no. 3, pp. 375–393.
9. Sinyakov K.A. *Vliyanie skorosti nagreva na strukturu i svoystva instrumental'nykh staley* [Effect of Heating Rate on the Structure and Properties of Tool Steels]. *Instrument i tekhnologii*, 2008, no. 5, pp. 151–158.
10. Sitkina L.P., Yares'ko S.I. *Effektivnost' tekhnologii lazernoy uprochnyayushchey obrabotki v instrumental'nom proizvodstve* [The Effectiveness of Laser Hardening Treatment Technology in Tool Production]. *Izvestia VSTU*, 2013, vol. 9, no. 7, pp. 40–43.
11. Somonov V.V., Tsibul'skiy I.A. *Effektivnost' ispol'zovaniya volokonnykh lazerov dlya lazernoy zakalki izdeliy v promyshlennosti* [The Effectiveness of the Use of Fiber Lasers for Laser Hardening of Products in the Industry]. *Metalloobrabotka*, 2014, no. 1, pp. 9–12.
12. Yares'ko S.I., Goryainov D.S. *Modelirovanie protsessa lazernogo uprochneniya rezhushchego instrumenta* [The Simulation of Laser Hardening of Cutting Tools]. *Izvestiya*

Samarskogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2011, vol. 13, no. 4–3, pp. 921–926.

13. Adel K.M., Dhia A.S., Ghazali M.J. The Effect of Laser Surface Hardening on the Wear and Friction Characteristics of Acicular Bainitic Ductile Iron. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 2009, vol. 4, no. 2, pp. 167–171.

14. El-Batahgy A.M., Ramadan R.A., Moussa A.R. Laser Surface Hardening of Tool Steels – Experimental and Numerical Analysis. *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 2013, no. 3, pp. 146–153.

15. Lee J.H., Jang J.H., Joo B.D., Son Y.M., Moon Y.H. Laser Surface Hardening of AISI H13 Tool Steel. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2009, vol. 19, no. 4, pp. 917–920.

Received on May 20, 2015



УДК 674.02+674.048.5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.167

НЕФТЕПОЛИМЕРНАЯ СМОЛА НА ОСНОВЕ ФРАКЦИИ C_9 – МОДИФИКАТОР ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ

Н.С. Никулина¹, канд. техн. наук, преп.

Г.Ю. Вострикова², канд. хим. наук, доц.

А.И. Дмитренко³, канд. техн. наук, доц.

О.Н. Филимонова⁴, д-р техн. наук, доц.

С.С. Никулин⁴, д-р техн. наук, проф.

¹Воронежский институт ГПС МЧС России, ул. Краснознамённая, д. 231, г. Воронеж, Россия, 394036; e-mail: nad.nikulina2013@yandex.ru

²Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ул. 20-летия Октября, д. 84, г. Воронеж, Россия, 394006; e-mail: vostr76-08@live.ru

³Воронежская государственная лесотехническая академия, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия, 394087; e-mail: chem@vglta.vrn.ru

⁴Воронежский государственный университет инженерных технологий, просп. Революции, д. 19, г. Воронеж, Россия, 394036; e-mail: olga270757@rambler.ru, e-mail: Nikulin_sergey48@mail.ru

Отходы и побочные продукты, образующиеся и накапливающиеся на предприятиях нефтехимического профиля, являются многочисленными и разнообразными как в качественном, так и в количественном отношении. Решение проблемы переработки и использования этих отходов неразрывно связано с защитой окружающей среды от загрязнений, комплексным использованием сырья и материалов. Это способствует увеличению производительности технологических процессов, более полному и экономичному использованию химического сырья. Многочисленные отходы нефтехимических производств, к которым относятся и предприятия, производящие синтетические каучуки, содержат большое количество соединений, обладающих различной реакционной активностью. Эти соединения могут служить ценным исходным сырьем как для органического синтеза, так и для получения полимерных материалов, которые могут быть использованы в производстве лакокрасочных материалов, композитов различного назначения, пропиточных составов и др. В статье описывается возмож-

Для цитирования: Никулина Н.С., Вострикова Г.Ю., Дмитренко А.И., Филимонова О.Н., Никулин С.С. Нефтеполимерная смола на основе фракции C_9 – модификатор древесноволокнистых плит // Лесн. журн. 2016. № 5. С. 167–176. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.167

ность использования нефтеполимерной смолы на основе фракции C_9 для защитной обработки древесноволокнистых плит. Исследования проводили с использованием метода планирования эксперимента по схеме греко-латинского квадрата четвертого порядка. Экспериментальные результаты обрабатывали с использованием вычислительных средств, в результате чего были получены уравнения регрессии, описывающие влияние основных технологических параметров процесса на свойства образцов плит. Результаты указывают на то, что пропитка плит нефтеполимерной смолой позволяет улучшить водоотталкивающие свойства плитных материалов и повысить их прочность при изгибе. Наилучшие результаты достигнуты у плит, пропитанных при температуре 80 °С и термообработанных при 170 °С в течение 5 ч. Таким образом, обработка древесноволокнистых плит модифицированной нефтеполимерной смолой позволяет эффективно защитить их от неблагоприятных воздействий и продлить срок службы изделий на их основе.

Ключевые слова: промышленные отходы, углеводородная фракция C_9 , нефтеполимерные смолы, схема греко-латинского квадрата четвертого порядка, древесноволокнистые плиты.

Рост промышленного потенциала сопровождается образованием и накоплением отходов и побочных продуктов. Большое количество отходов образуется на предприятиях нефтехимического профиля. Решение проблемы переработки и использования этих отходов неразрывно связано с защитой окружающей среды от загрязнений, комплексным использованием сырья и материалов, что способствует увеличению производительности технологических процессов, более полному и экономичному использованию химического сырья. Данные соединения могут служить ценным исходным сырьем как для органического синтеза, так и для получения полимерных материалов, которые могут быть использованы в производстве лакокрасочных материалов, композитов различного назначения, пропиточных составов и др. [5, 7, 8].

Одним из перспективных направлений использования низкомолекулярных полимеров, синтезированных из побочных продуктов нефтехимии, является защитная обработка древесных материалов, в частности древесноволокнистых плит (ДВП). Как показали результаты опубликованных исследований [2–4, 6], полимерные материалы на основе побочных продуктов нефтехимии могут быть с успехом применены для повышения ряда показателей изделий из древесины. Важным аспектом является и то, что для этого могут быть использованы полимерные материалы, которые по некоторым показателям не пригодны в производстве лакокрасочных материалов (высокая цветность, опалесценция и др.). Авторы работ [3, 4, 7, 8] показали, что использование сополимеров на основе кубовых остатков ректификации стирола и сополиме-

ров на основе отходов производства синтетических каучуков для пропитки ДВП позволяет придавать плитам повышенную прочность и водостойкость.

Цель данного исследования – использование нефтеполимерной смолы (НПС) на основе фракции С₉ в качестве модификатора для придания ДВП повышенных эксплуатационных свойств.

Изучение процесса защитной обработки проводили по плану греко-латинского квадрата четвертого порядка [1]. В качестве основных факторов, оказывающих наибольшее влияние на свойства ДВП, были выбраны: продолжительность пропитки (P_n) – 30, 60, 90, 120 с (фактор А); температура пропиточного состава (T) – 20, 40, 60 и 80 °С (фактор В); продолжительность термообработки (P_T) – 1, 3, 5 и 7 ч (фактор С); температура термообработки (t) – 110, 130, 150 и 170 °С (фактор D). Свойства пропитанных ДВП контролировали по изменению таких показателей, как предел прочности при изгибе, водопоглощение, разбухание по толщине (ГОСТ 4598–86).

Согласно плану эксперимента, предварительно высушенные и взвешенные образцы ДВП толщиной 3,2 мм погружали в пропиточную ванну, содержащую 40 % раствора НПС в сольвенте, и выдерживали в при заданной температуре в течение определенного времени. Пропитанные образцы ДВП извлекали из ванны, подсушивали и подвергали термообработке. После термообработки образцы охлаждали до комнатной температуры и взвешивали. Содержание сополимера в образцах определяли гравиметрически по изменению массы.

После обработки экспериментальных результатов были получены уравнения регрессии, описывающие влияние основных технологических параметров процесса на свойства образцов ДВП:

прочность при изгибе, МПа,

$$Y_{\text{прочн}} = 1,662 \cdot 10^{-5} (35,375 + 0,0518a)(38,26 + 0,0186b)(35,8 + 0,8615c) \times \\ \times (20,58 + 0,1349d);$$

водопоглощение (через 24 ч), %,

$$Y_{\text{водопогл}} = 1,976 \cdot 10^{-4} (18,11 - 0,012a)(18,28 - 0,0221b)(17,27 - 0,0255c) \times \\ \times (19,47 - 0,0164d);$$

разбухание по толщине (через 24 ч), %,

$$Y_{\text{разбух}} = 5,358 \cdot 10^{-4} (13,43 - 0,0147a)(13,04 - 0,0145b)(12,612 - 0,0735c) \times \\ \times (14,27 - 0,0139d).$$

На основе полученных экспериментальных результатов построены графики, отражающие влияние перечисленных выше факторов на свойства образцов ДВП (рис. 1, 2, 3).

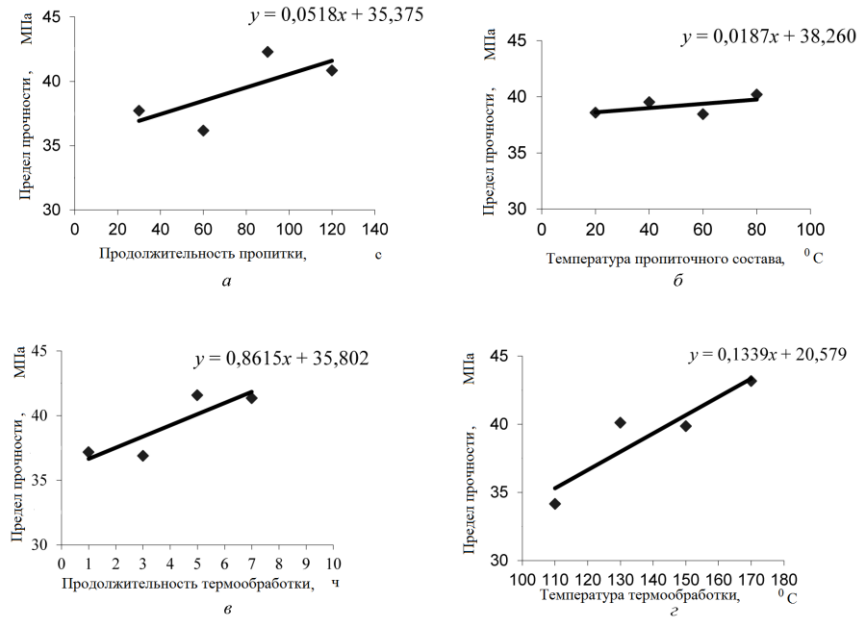


Рис. 1. Зависимость предела прочности при изгибе ДВП от факторов А (а), В (б), С (в), D (г)

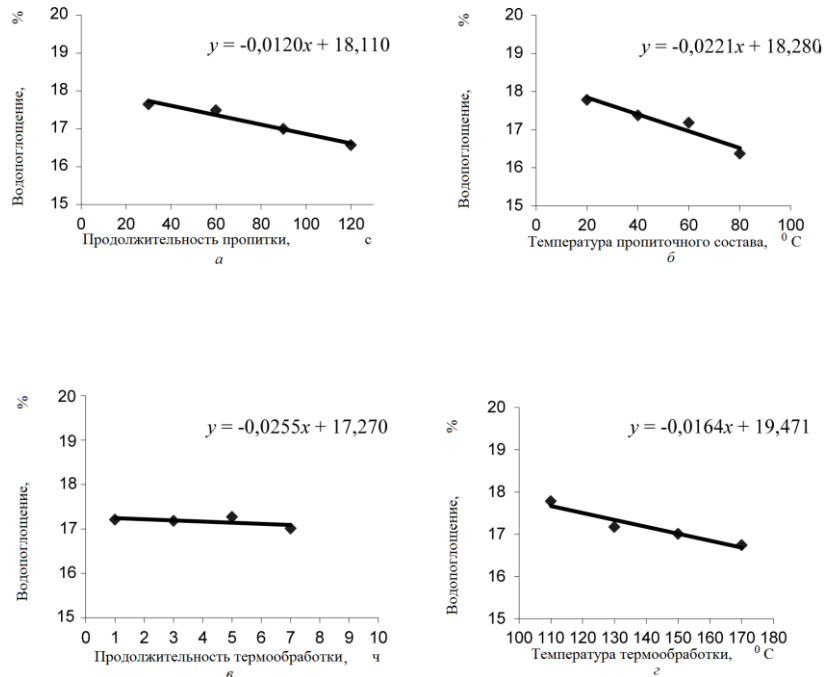


Рис. 2. Зависимость водопоглощения ДВП от факторов А (а), В (б), С (в), D (г)

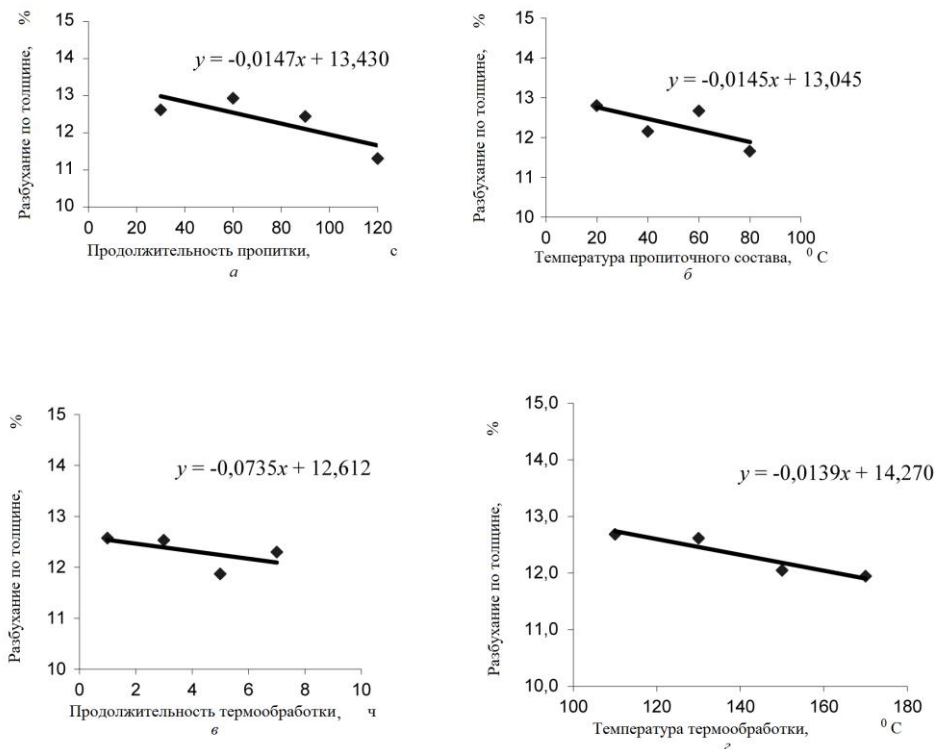
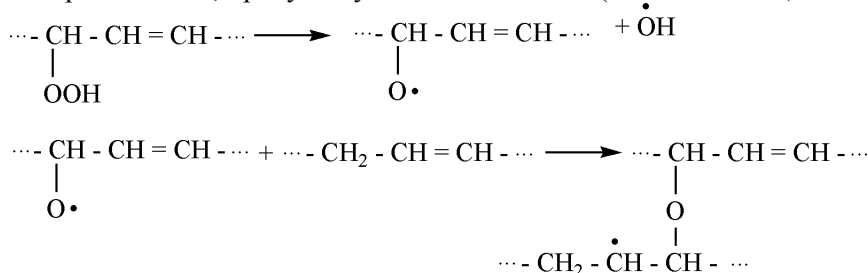


Рис. 3. Зависимость разбухания по толщине ДВП от факторов А (а), В (б), С (в), D (г)

Анализ полученных зависимостей показывает, что условиями, обеспечивающими наилучшие характеристики модифицируемых плит, являются: продолжительность пропитки 90 с (фактор А), температура пропиточного состава 80 °C (фактор В), продолжительность термообработки 5 ч (фактор С) и температура термообработки 170 °C (фактор D). Анализируя ход зависимостей, можно сделать вывод, что в исследованных интервалах влияние такого фактора, как продолжительность пропитки, на свойства ДВП малозначимо. Это связано с тем, что ДВП обладают невысокой плотностью и НПС легко проникает в их структуру за короткий промежуток времени, аналогично и влияние температуры. В целях экономии энергии отсутствует необходимость проводить пропитку при повышенных температурах. Наиболее существенное влияние оказывают продолжительность и, особенно, температура термообработки. Это объясняется тем, что при повышенных температурах ускоряются процессы структурирования. Таким образом, повышенные температуры и продолжительность обработки приводят к возможности протекания целого ряда последовательных, параллельных и последовательно-параллельных процессов.

Реакции с участием кислорода воздуха интенсивно протекают в поверхностных слоях. Ограниченность доступа кислорода в глубь композиции снижает активность окислительных процессов, возрастающую роль приобретают реакции высокотемпературной полимеризации, которые активируются различными радикалами, присутствующими в системе (R^* , RO^* , ROO^*):



Процесс пленкообразования неизбежно сопровождается окислительной деструкцией, в результате которой образуются соединения, содержащие карбонильные, карбоксильные, гидроксильные группы. Это приводит к возрастанию содержания функциональных групп, способных взаимодействовать с активными группами лигнина и целлюлозы. Вероятность протекания таких процессов особенно велика в поверхностных слоях, в условиях формирования пленки с большим доступом кислорода воздуха.

Образующийся пространственно-структурированный каркас и его связь с древесным волокном придает ДВП не только повышенные гидрофобные свойства, но и хорошие прочностные показатели.

В зависимости от технологических условий проведения процесса пропитки и последующей термообработки содержание НПС в ДВП изменялось в достаточно узком интервале – от 13,7 до 19,1 % от массы плиты.

Сравнение расчетных и экспериментальных значений, полученных по приведенным выше уравнениям и в обозначенных условиях, представлено в таблице и показывает их хорошую сходимость.

Расчетные и экспериментальные значения показателей ДВП, полученные при оптимальных значениях факторов

Показатель	Значение показателя		Погрешность определения, %
	расчетное	экспериментальное	
Предел прочности при изгибе, МПа	43,7	47,9	9,6
Водопоглощение, %	13,3	15,5	16,9
Разбухание по толщине, %	12,4	10,8	12,8

Анализ результатов эксперимента, физико-механическая, а также физико-химическая сущность исследуемого явления предполагают, что между водопоглощением и разбуханием по толщине, водопоглощением и прочностью при изгибе должна существовать тесная корреляционная связь с положительным эффектом.

Эти зависимости, представленные на рис. 4, свидетельствуют о положительной корреляции между разбуханием по толщине и пределом прочности при изгибе от водопоглощения, рассматриваются как случайные.

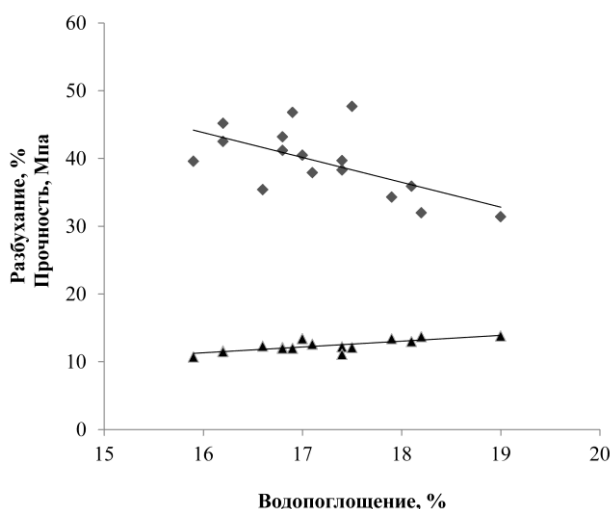


Рис. 4. Зависимость разбухания по толщине и предела прочности при изгибе образцов ДВП от водопоглощения: ■ – прочность; ▲ – разбухание

Визуальный осмотр срезов ДВП, пропитанных НПС, показал хорошее равномерное распределение смолы в объеме получаемой плиты, заполнение производственных дефектов, микро- и макропор. Образующийся полимерный каркас на основе НПС способствует снижению выделения формальдегида из изделий, в которых в качестве связующих использованы феноло- или мочевино-формальдегидные смолы.

Применение НПС, полученных из побочных продуктов нефтехимии, для защитной обработки ДВП позволяет не только улучшать их показатели, но и решать вопросы экологии.

Выводы

1. Экспериментальным путем установлено, что наилучшие результаты у пропитанных ДВП получены при температуре пропитки 80 °С, температуре термообработки 170 °С и продолжительности термообработки 5 ч.
2. Пропитку ДВП нефтеполимерной смолой, которая позволяет улучшить водоотталкивающие свойства плитных материалов и повысить их прочность при изгибе, можно рекомендовать для использования в строительстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грачев Ю.П., Плаксин Ю.М. Математические методы планирования эксперимента. М.: ДеЛиПринт, 2005. 296 с.

2. *Дмитренков А.И., Филимонова О.Н., Вострикова Г.Ю., Никулин С.С.* Модификация нефтеполимерной смолы из фракции C₉ отходами бутадиен-стирольного каучука и ее применение для защитной обработки ДВП // Лесн. журн. 2013. № 4. С. 97–105. (Изв. высш. учеб. заведений).

3. *Никулин С.С., Дмитренков А.И., Бутенко Т.Р., Сидоров С.Л., Шаповалова Н.Н., Хохлова О.А.* Сополимеры на основе кубовых остатков ректификации стирола в производстве древесноволокнистых плит // Лесн. журн. 1996. № 3. С. 82–86. (Изв. высш. учеб. заведений).

4. *Никулин С.С., Дмитренков А.И., Сидоров С.Л., Шаповалова Н.Н., Хохлова О.А.* Использование низкомолекулярных сополимеров из отходов производства синтетических каучуков для пропитки древесноволокнистых плит // Лесн. журн. 1996. № 3. С. 86–89. (Изв. высш. учеб. заведений).

5. *Никулин С.С., Шейн В.С., Злотский С.С., Черкашин М.И., Рахманкулов Д.Л.* Отходы и побочные продукты нефтехимических производств – сырье для органического синтеза. М.: Химия, 1989. 240 с.

6. *Черная А.Н., Никулин С.С.* Модификация нефтеполимерной смолы из фракции C₉ вторичным пенополистиролом и ее применение для защитной обработки древесины // Хим. пром-сть сегодня. 2009. № 4. С. 28–33.

7. *Ali Sami, Muthana Mohammed, Ahmad Dhary.* Synthesis of carbon nanofibers from decomposition of liquid organic waste from chemical and petrochemical industries // Energy Procedia. 2015. Vol. 74. P. 4–14.

8. *Olayanmi Eytayo Olatunde, Moses J. Strydom.* Critical materials and processing challenges affecting the interface and functional performance of wood polymer composites // Materials Chemistry and Physics. 2016. Vol. 171. P. 290–302.

Поступила 29.03.16

UDC 674.02+674.048.5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.167

C₉ Polymeric Petroleum Resin is a Fibreboard Modifier

N.S. Nikulina¹, Candidate of Engineering Sciences

G.Yu. Vostrikova², Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

A.I. Dmitrenkov³, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

O.N. Filimonova⁴, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

S.S. Nikulin⁴, Doctor of Engineering Sciences, Professor

¹Voronezh Institute of State Firefighting Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Krasnoznamennaya ul., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation;

e-mail: nad.nikulina2013@yandex.ru

² Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, 20-letiya Oktyabrya str., 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; e-mail: vostr76-08@live.ru

For citation: Nikulina N.S., Vostrikova G.Yu., Dmitrenkov A.I., Filimonova O.N., Nikulin S.S. C₉ Polymeric Petroleum Resin is a Fibreboard Modifier. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 5, pp. 167–174. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.167

³ Voronezh State Academy of Forestry Engineering, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: chem@vglta.vrn.ru

⁴ Voronezh State University of Engineering Technology, Revolyutsii str., 19, Voronezh, 394036, Russian Federation; e-mail: olga270757@rambler.ru, Nikulin_sergey48@mail.ru

Waste and by-products formed and accumulated at the enterprises of the petrochemical industry are numerous and various in qualitative and quantitative terms. A problem solution of processing and use of this waste is inextricably linked with the protection of the environment from pollution, the integrated use of raw materials. This helps to increase the productivity of technological processes, a more complete and efficient use of chemical raw materials. Numerous wastes of petrochemical industries, which include the companies producing synthetic rubbers, contain a large number of compounds with different reaction activity. These compounds can serve as a valuable raw material for organic synthesis, and obtain polymeric materials that can be used in the manufacture of paints, composites for various purposes, impregnating compositions, etc. The paper describes the possibility of using polymeric petroleum resin based on C₉ fraction for the protective treatment of fibreboards. The research is carried out using the experimental design technique according to the Graeco-Latin square design of order 4. The experimental results are processed using the computing means. As a result the regression equations are derived which describe the influence of the basic technological process parameters on the properties of the fibreboard samples. The impregnated fiberboard by petroleum resin can improve water-repellent properties and flexural strength. The best results of fiberboards have been achieved at the temperature of impregnation of 80 °C, the temperature of heat treatment of 170 °C and duration of heat treatment for 5 hours. The treatment of fibreboards by modified polymeric petroleum resin can effectively protect them from the adverse effects, extend the service life of the products.

Keywords: industrial waste, C₉ hydrocarbon fraction, polymeric petroleum resin, Graeco-Latin square design of order 4, fibreboard.

REFERENCES

1. Grachev Yu.P., Plaksin Yu.M. *Matematicheskie metody planirovaniya eksperimenta* [Mathematical Experimental Design Technique]. Moscow, 2005. 296 p.
2. Dmitrenkov A.I., Filimonova O.N., Vostrikova G.Yu., Nikulin S.S. *Modifikatsiya neftepolimernoy smoly iz fraktsii C₉ otkhodami butadien-stirol'nogo kauchuka i ee primeneniye dlya zashchitnoy obrabotki DVP* [Modification of Polymeric Petroleum Resin Based on C₉ Fraction by Styrene-Butadiene Rubber Waste and Its Use for Protective Treatment of Fiberboard]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 4, pp. 97–105.
3. Nikulin S.S., Dmitrenkov A.I., Butenko T.R., Sidorov S.L., Shapovalova N.N., Khokhlova O.A. *Sopolimery na osnove kubovykh ostatkov rektifikatsii stirola v proizvodstve drevesnovoloknistykh plit* [Copolymers Based on Styrene Distillation Bottoms in the Production of Fiber Boards]. *Lesnoy zhurnal*, 1996, no. 3, pp. 82–86.
4. Nikulin S.S., Dmitrenkov A.I., Sidorov S.L., Shapovalova N.N., Khokhlova O.A. *Ispol'zovanie nizkomolekulyarnykh sopolimerov iz otkhodov proizvodstva sinteticheskikh kauchukov dlya propitki drevesnovoloknistykh plit* [The Use of Low Molecular Weight Copolymers Based on Industrial Waste of Synthetic Rubber for Fibreboard Impregnation]. *Lesnoy zhurnal*, 1996, no. 3, pp. 86–89.

5. Nikulin S.S., Shein V.S., Zlotkiy S.S., Cherkashin M.I., Rakhmankulov D.L. Otkhody i pobochnye produkty neftekhimicheskikh proizvodstv – syr'e dlya organicheskogo sinteza [Waste and By-Products of Petrochemical Production are the Raw Materials for Organic Synthesis]. Moscow, 1989. 240 p.

6. Chernaya A.N., Nikulin S.S. Modifikatsiya neftepolimernoy smoly iz fraktsii C₉ vtorichnym penopolistirolom i ee primeneniye dlya zashchitnoy obrabotki drevesiny [Modification of Petroleum Resin Based on C₉ Fraction by the Secondary Polystyrene Foam and Its Use for the Protective Treatment of Wood]. *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya* [Chemical Industry Today], 2009, no. 4, pp. 28–33.

7. Ali Sami, Muthana Mohammed, Ahmad Dhary. Synthesis of Carbon Nanofibers from Decomposition of Liquid Organic Waste from Chemical and Petrochemical Industries. *Energy Procedia*, 2015, vol. 74, pp. 4–14.

8. Eytayo Olatunde Olakanmi, Moses J. Strydom. Critical Materials and Processing Challenges Affecting the Interface and Functional Performance of Wood Polymer Composites. *Materials Chemistry and Physics*, 2016, vol. 171, pp. 290–302.

Received on March 29, 2016

УДК 676.026.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.177

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРЕССОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЛЮТИНГА

Е.В. Дернова, канд. техн. наук, доц.

В.В. Гораздова, асп.

А.В. Гурьев, канд. техн. наук, доц.

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

Известно, что комплекс потребительских свойств бумаги и картона в производственных условиях формируется под влиянием параметров работы трех основных частей бумаго- или картоноделательных машин: формующей, прессовой и сушильной. При этом лабораторное моделирование образцов бумаги или картона, например в целях оптимизации композиционного состава и свойств, зачастую ограничено набором возможных влияющих параметров. В частности, это относится к моделированию процесса прессования, поскольку в отличие от формования и сушки образцов требует специализированного оборудования, которое позволяло бы надежно регулировать и поддерживать требуемое давление. Одним из вариантов такого оборудования является лабораторный пресс ТЕСНРАР 2011-004, который позволяет проводить обработку модельных образцов бумаги или картона массой 20...600 г/м² при изменении усилия прижима (линейного давления прессования) от 2 до 6 кг/см, а также выполнять многократное прессование не только при фиксированной, но и изменяемой нагрузке. В данной работе представлены результаты лабораторного моделирования воздействия давления прессования в различных условиях и проанализировано влияние данного фактора на разные группы свойств флютинга. В качестве объектов исследования приняты лабораторные изотропные образцы флютинга из традиционных первичных полуфабрикатов (хвойная целлюлоза высокого выхода и листовая нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза) и макулатуры различного качества. Следует отметить, что в экспериментах направленно использовались стандартные лабораторные отливки. Это позволило исключить влияние анизотропии на формирование структуры и свойств образцов. Обработку влажных образцов флютинга проводили при одно- и многократном прохождении отливок через пресс. Результаты изменения сухости образцов флютинга при использовании лабораторного пресса показали хорошую степень приближения к реальным условиям прессования на бумагоделательной машине. Диапазон изменения сухости полотна в лабораторных условиях составил от 17 до 42 %, следовательно, используемое давление прессования можно сопоставлять со значениями, характерными для современных прессовых частей машины. При этом отмечены принципиальные отличия воздействия условий прессования на формирование физико-механических характеристик флютинга из первичных и вторичных волокон. Показано, что использование параметров прессования при выработке флютинга из макулатуры требует учитывать специфику

Для цитирования: Дернова Е.В., Гораздова В.В., Гурьев А.В. Влияние условий прессования на формирование структуры и физико-механических свойств флютинга // Лесн. журн. 2016. № 5. С. 177–188. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.177

вторичных волокон, прошедших многократную переработку и характеризующихся ороговением клеточной стенки волокон и повышенной хрупкостью.

Ключевые слова: флютинг, прессование, первичное волокно, вторичное волокно, макулатура.

Введение

Основное назначение прессовой части состоит в обезвоживании бумажного полотна, обеспечении определенных качественных показателей вырабатываемой продукции и надежности работы бумагоделательной машины (БДМ). В ходе прессования увеличиваются сухость и плотность бумажного полотна, уменьшаются пористость и впитывающая способность, увеличиваются сопротивления разрыву, продавливанию, излому и т.п. Прессование играет важную роль при выработке многослойных видов бумаги и картона. От эффективности работы прессовой части зависят затраты на сушку бумаги и производительность БДМ. В целях сокращения расхода пара на сушку после прессовой части стремятся получить максимально возможную сухость полотна.

В производственной практике используют три направления интенсификации процесса прессования: применение прессов с удлиненной зоной прессования, прессование при повышенной температуре и прессовую сушку [3, 4, 7].

Цель данной работы – проанализировать влияние параметров прессования на структурные и физико-механические характеристики лабораторных образцов флютинга.

Методы исследования

В качестве объектов исследования использовали лабораторные изотропные образцы флютинга из первичных полуфабрикатов (хвойной целлюлозы высокого выхода (ЦВВ) и лиственной нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы (НСПЦ)) и макулатуры различного качества. Выбор указанных объектов исследования был обусловлен следующими причинами:

флютинг имеет достаточно высокую массу 1 м^2 (112 г/м^2), что гарантировало использование давления прессования в широком диапазоне без критического нарушения целостности структуры;

данный вид продукции отличается широким спектром физико-механических характеристик и требований к технологичности последующей переработки;

для производства флютинга используются разнообразные первичные и вторичные полуфабрикаты в различных сочетаниях [1, 6, 8].

В процессе эксперимента были изготовлены и в дальнейшем испытаны следующие варианты лабораторных образцов флютинга:

а) традиционная композиция из первичных волокон, состоящая из 80 % НСПЦ (при степени помола 20°ШР) и 20 % ЦВВ (при степени помола 18°ШР);

б) аналогичная композиция из первичных волокон, но имеющая более высокую степень помола НСПЦ (28°ШР);

в) композиция из 100 % промышленной макулатуры ОСС при степени помола 35°ШР ;

г) композиция из 100 % низкосортной бытовой смешанной макулатуры при степени помола 35°ШР .

Указанные значения степени помола принимали, исходя из производственных условий различных предприятий-изготовителей флютинга.

Влажные образцы флютинга обрабатывали при нескольких вариантах изменения условий прессования:

I – однократное прохождение образца через пресс при линейном давлении прессования 2,0; 3,5 и 5,0 кг/см;

II – трехкратное прохождение образца через пресс при линейном давлении прессования 3,5 кг/см;

III – трехкратное прохождение образца через пресс при последовательном увеличении линейного давления прессования: 2,0–3,5–5,0 кг/см.

Результаты исследования и их обсуждение

Структура бумаги под воздействием прессования подвергается уплотнению, снижается ее пористость, также происходит выравнивание поверхности [2, 10]. Другим важнейшим результатом является повышение сухости материала перед последующей сушкой. Указанные процессы в выполненных экспериментах можно оценить количественно, анализируя данные об изменении отдельных характеристик, представленных в таблице.

Влияние линейного давления при прессовании на характеристики структуры флютинга

Давление, кг/см	Толщина, мкм	Плотность, г/см ³	Пористость, мл/с	Шероховатость, мл/с	Воздухопроницаемость, с
<i>ЦВВ 18 °ШР + НСПЦ 20 °ШР</i>					
2,0	195	0,578	5100	3790	3,2
3,5	184	0,626	5050	4010	3,9
5,0	179	0,795	4150	3820	6,2
3×3,5	171	0,650	2030	3530	7,9
2,0–3,5–5,0	156	0,699	920	3760	15,5
<i>ЦВВ 18 °ШР + НСПЦ 28 °ШР</i>					
2,0	148	0,668	1430	3170	10,1
3,5	154	0,684	640	3270	22,0
5,0	147	0,723	470	3470	30,6
3×3,5	143	0,727	350	3590	38,7
2,0–3,5–5,0	145	0,733	360	3710	43,2
<i>Макулатура промышленная ОСС 35 °ШР</i>					
2,0	145	0,725	220	4100	56,0
3,5	139	0,727	200	4120	61,0
5,0	130	0,752	200	4170	59,0
3×3,5	132	0,732	200	4000	62,0
2,0–3,5–5,0	129	0,790	180	4050	69,0
<i>Макулатура бытовая 35 °ШР</i>					
2,0	151	0,572	1080	4010	17,0
3,5	153	0,569	760	4520	24,5
5,0	150	0,655	450	3950	30,7
3×3,5	152	0,553	430	3810	30,4
2,0–3,5–5,0	129	0,630	350	4080	43,0

Образцы первичного флютинга с использованием в композиции НСПЦ, размолотой до 28 °ШР, и образцы вторичного флютинга из промышленной макулатуры ОСС показали быстрый прирост сухости при минимальном давлении (2,0 кг/см) и дальнейшее интенсивное ее повышение при увеличении общего воздействия пресса. Динамичное повышение сухости указанных образцов является следствием повышенной способности флютинга из размолотой полуцеллюлозы и высококачественной промышленной макулатуры к уплотнению во влажном состоянии.

Образцы, изготовленные из слабо размолотой полуцеллюлозы, а также из низкокачественной бытовой смешанной макулатуры, в процессе лабораторного прессования проявляют низкую способность к уплотнению во влажном состоянии. Вследствие этого волокнистая структура таких образцов при сжатии в момент прессования медленно насыщается водой, которая также медленно удаляется при дальнейшем прессовании.

Анализ экспериментальных данных позволил установить следующее: плотность и толщина всех видов образцов в результате лабораторного прессования изменяются закономерно;

абсолютные значения пористости лабораторных образцов флютинга из первичных полуфабрикатов в целом выше, чем макулатурного, что является следствием присутствия в макулатурной массе большого количества мелких фракций волокон;

пористость образцов из первичных волокон сильно размолотой НСПЦ в 3,0–3,5 раза ниже, чем у соответствующих по условиям прессования образцов из слабо размолотой полуцеллюлозы, что обусловлено лучшей сомкнутостью структуры, формируемой из разработанных волокон;

прессование в лабораторных условиях оказывает незначительное влияние на шероховатость поверхности флютинга вне зависимости от его композиции. Значения данного показателя варьируются в диапазоне от 3100 до 4100 мл/с. Это связано, во-первых, с использованием в качестве «одежды» листов фильтровальной бумаги, а во-вторых, нивелированием свойств поверхности в ходе последующей сушки образцов;

изменение воздухопроницаемости по Герлею в целом обратно пропорционально данным, полученным для пористости по Бендтсену. Для образцов первичного флютинга данный показатель изменяется более чем в 10 раз, для вторичного – в 2–4 раза. Это свидетельствует о большей чувствительности данного метода испытаний по сравнению с определением пористости.

Процессы, происходящие при прессовании бумаги (повышение сомкнутости структуры, снижение толщины), могут сопровождаться сжатием самих волокон [5, 9]. Таким образом, использование чрезмерного давления прессования может отрицательно сказываться на характеристиках, отражающих сопротивление сжатию структуры флютинга.

Данные об изменении стандартных характеристик качества флютинга (в относительных единицах) в условиях лабораторного прессования представ-

лены на рис. 1, 2. За 100 % приняты значения характеристик, полученные при давлении прессования 2,0 кг/см применительно к традиционной композиции первичного флютинга (при степени помола НСПЦ 20 °ШР) и вторичному флютингу из макулатуры ОСС.

Прежде всего, следует отметить различный характер степени влияния условий прессования на образцы флютинга из первичных волокон.

Однократное прохождение прессового зазора в исследованном диапазоне изменения давления вызывает пропорциональный рост сопротивления продавливанию (П) примерно на 20 %. Переход к многократному прессованию обеспечивает дальнейший прирост П образцов флютинга из размолотой НСПЦ, но практически не влияет на прочность флютинга стандартной композиции со степенью помола НСПЦ 20 °ШР.

Характеристики сопротивления сжатию образцов флютинга с использованием в композиции размолотой НСПЦ при увеличении давления однократного прессования последовательно возрастают на 10...15 %. У образцов стандартной композиции в тех же условиях прессования сопротивление сжатию по методу SCT и сопротивление торцевому сжатию (ССТ) практически не меняются, сопротивление плоскостному сжатию (СМТ) снижается на 18 %.

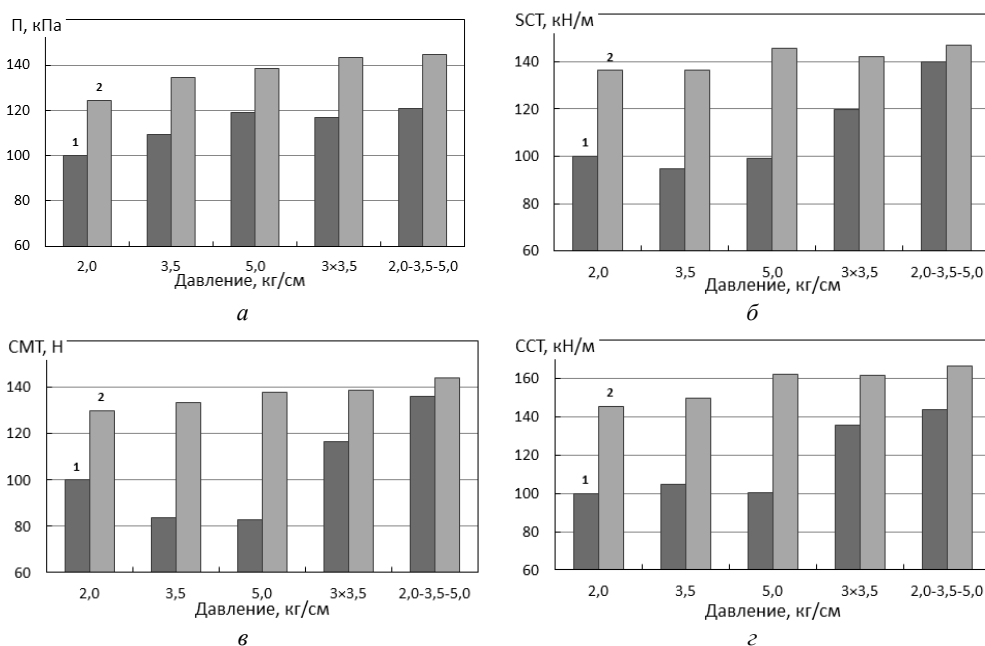


Рис. 1. Влияние давления прессования на стандартные физико-механические характеристики флютинга из первичных полуфабрикатов: а – сопротивление продавливанию (П); б – сопротивление сжатию по методу SCT; в – сопротивление плоскостному сжатию (СМТ); г – сопротивление торцевому сжатию (ССТ); 1 – ЦВВ 18 °ШР + НСПЦ 20 °ШР; 2 – ЦВВ 18 °ШР + НСПЦ 28 °ШР

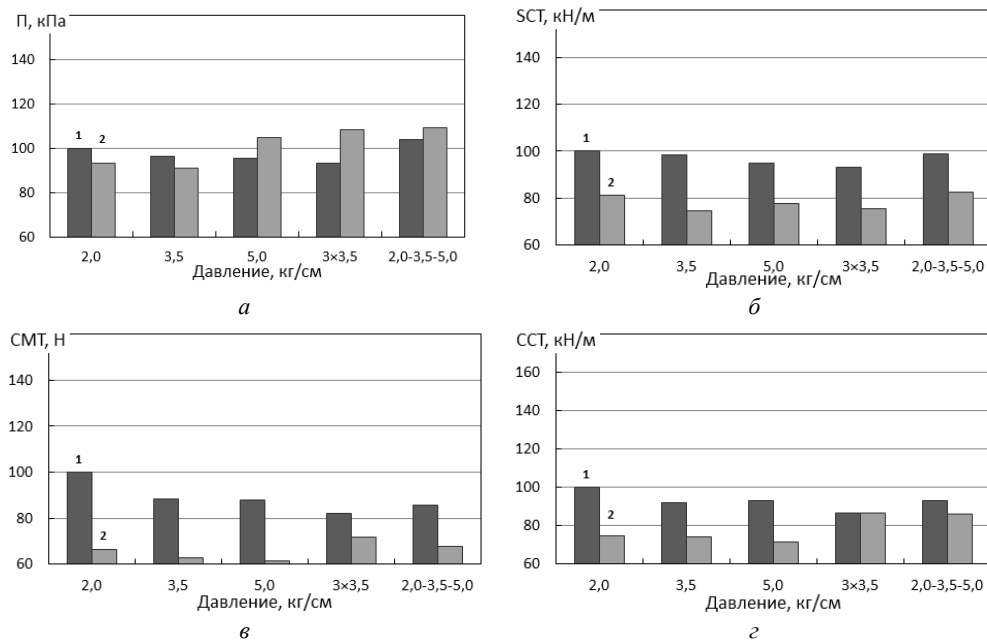


Рис. 2. Влияние давления прессования на стандартные физико-механические характеристики флютинга из вторичных полуфабрикатов: 1 – макулатура промышленная ОСС (35 °ШР); 2 – макулатура бытовая (35 °ШР) (обозначения а – г приведены на рис. 1)

Использование многократного прессования образцов первичного флютинга стандартной композиции положительно сказывается на всех характеристиках сопротивления сжатию, но не влияет на значение Π . В частности, использование многократного прессования с последовательным повышением давления от 2,0 до 5,0 кг/см увеличивает СМТ, SCT и ССТ на 38...42 % по сравнению с исходным уровнем для давления 2,0 кг/см.

Таким образом, последовательное уплотнение структуры лабораторных образцов флютинга из слабо размолотых волокон предотвращает нарушение их целостности и несущей способности, что положительно сказывается на сопротивлении сжатию.

Влияние условий лабораторного прессования на уровень стандартных физико-механических характеристик макулатурного флютинга существенно отличается от результатов, полученных для первичных материалов.

Во-первых, прочность лабораторных образцов, характеризуемая сопротивлением продавливанию, имеет слабый отклик на повышение давления при однократном прессовании вне зависимости от используемой макулатуры. Многократное прохождение образцов через прессовый зазор позволяет для низкосортной макулатуры увеличить значение Π на 15...17 %, для макулатуры ОСС – лишь на 4 %.

Во-вторых, все характеристики сопротивления сжатию образцов флютинга из макулатуры ОСС снижаются под воздействием лабораторного прессования. Исключение составляет SCT, достигаемый при многократном прессовании

с повышением давления, который соответствует исходному значению при минимальном давлении. Наибольшее отрицательное влияние проявилось на сопротивлении плоскостному сжатию, которое снижается менее чем на 18 %.

В-третьих, характеристики сопротивления сжатию образцов флютинга из низкосортной бытовой макулатуры изначально имеют существенно более низкий уровень, который понижается с увеличением давления при однократном прессовании. Использование многократного прессования позволяет повысить уровень лишь ССТ и SCT.

Использование в экспериментах дополнительных характеристик, отражающих поведение структуры флютинга при одноосном растяжении (рис. 3, 4), обусловлено необходимостью косвенной оценки способности данного материала к переработке. При изготовлении гофрированного картона на современных линиях флютинг подвергается значительным растягивающим нагрузкам при подаче и прохождении гофропресса. Недостаточные растяжимость и устойчивость к образованию трещин могут служить причиной снижения производительности гофроагрегатов даже при высоком уровне стандартных характеристик качества.

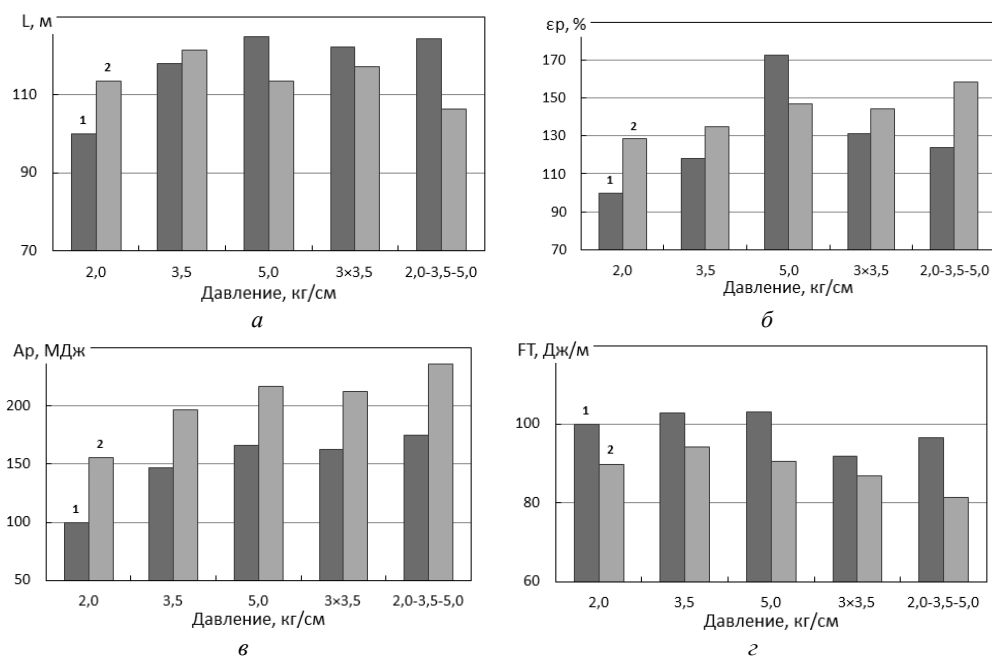


Рис. 3. Влияние давления прессования на характеристики прочности и деформативности первичного флютинга: а – разрывная длина (L); б – деформация разрушения (ϵ_p); в – работа разрушения (A_p); г – трещиностойкость (FT); 1 – ЦВВ 18 °ШР + НСПЦ 20 °ШР; 2 – ЦВВ 18 °ШР + НСПЦ 28 °ШР

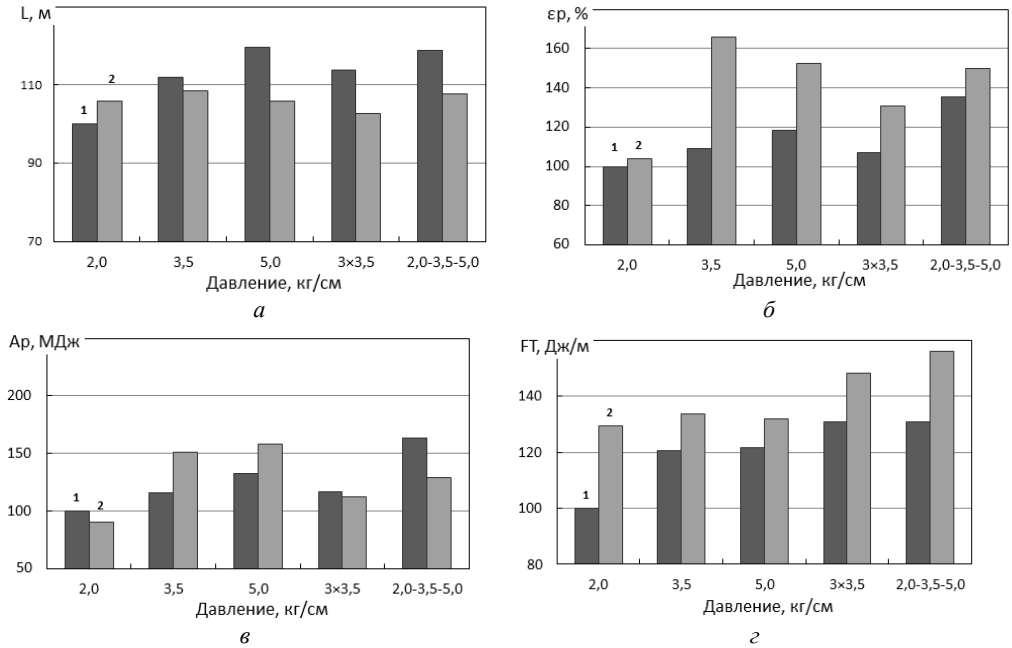


Рис. 4. Влияние давления прессования на характеристики прочности и деформативности макулатурного флютинга: 1 – макулатура промышленная ОСС (35 °ШР); 2 – макулатура бытовая (35 °ШР) (обозначения а – г приведены на рис. 3)

Установлено, что характеристики прочности (L – разрывная длина; A_p – работа разрушения) при растяжении первичного флютинга в условиях лабораторного прессования в целом изменяются аналогично сопротивлению продавливанию. Наиболее оптимальным условием, обеспечивающим прирост разрывной длины вне зависимости от степени разработки волокон НСПЦ, является последовательное повышение давления при многократном прессовании. При этом прочность образцов флютинга с использованием слабо размолотой полуцеллюлозы возрастает более чем на 50 %, флютинга с использованием НСПЦ при степени помола 28 °ШР – на 15 %.

Изменение в тех же условиях лабораторного эксперимента деформации разрушения ϵ_p существенно отличается. Для образцов с использованием слабо размолотой НСПЦ прирост ϵ_p на 70 % и более обеспечивается при однократном прессовании с линейным давлением 5,0 кг/см. Применение двух вариантов многократного прессования приводит к приросту деформации разрушения на 25...30 %. Таким образом, можно отметить более широкую технологическую возможность для повышения и регулирования деформативности флютинга.

Работа разрушения A_p образцов первичного флютинга, как комплексная характеристика деформативности и прочности, закономерно повышается при увеличении давления однократного прессования и многократном прохождении через пресс. Совокупный прирост A_p достигает 75...80 %.

В то же время изменение трещиностойкости (FT) в данных условиях прессования для первичного флютинга выражено слабо. Отмеченное поведение характеристик деформативности и прочности образцов первичного флютинга при повышении давления прессования является закономерным, поскольку они в основном формируются за счет усиления межволоконных контактов.

Вместе с тем, следует отметить меньшее по отношению к первичному флютингу изменение прочности структуры макулатурных образцов. В частности, разрывная длина образцов из промышленной макулатуры ОСС возрастает на 25...30 %, из низкосортной макулатуры – на 10...12 %.

Волокна макулатурной массы имеют определенную степень ороговения и хрупкости клеточной стенки. Вследствие этого образцы флютинга из макулатуры ОСС, отличающиеся более равномерным составом, с повышением давления прессования имеют меньший прирост деформации разрушения в исследованном диапазоне изменения давления прессования (по сравнению с первичным флютингом). Максимальный прирост составил 35 %.

Флютинг из низкосортной бытовой макулатуры, напротив, отличается разнородностью состава волокон, в том числе за счет большего количества мелких фракций. Это способствует возникновению большого числа контактов при формировании структуры в связи с усилением прессования. При однократном прохождении через пресс прирост деформации при растяжении составляет 50...70 %, при многократном – 30...50 %. Прирост трещиностойкости образцов макулатурного флютинга при изменении условий прессования достигает 30 %.

Заключение

В целом экспериментальные данные об изменении сухости в лабораторных условиях показали хорошую степень приближения к реальным условиям прессования на БДМ. Диапазон изменения сухости полотна в лабораторных условиях составил от 17 до 42 %, следовательно, используемое давление прессования можно сопоставлять со значениями, характерными для современных прессовых частей БДМ.

Полученные результаты продемонстрировали принципиальное отличие воздействия условий прессования на формирование физико-механических характеристик флютинга из первичных и вторичных волокон и показали, что подбор параметров прессования при выработке флютинга из макулатуры требует учета специфики вторичных волокон, прошедших многократную переработку и характеризующихся ороговением клеточной стенки волокон и повышением их хрупкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитриева М.Н., Дьякова Е.В., Дулькин Д.А.* Повышение технологичности переработки макулатурного флютинга при введении в композицию первичного волокна // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2012. № 9. С. 58–62.
2. *Дулькин Д.А., Ковернинский И.Н., Комаров В.И., Спиридонов В.А.* Мировые тенденции в развитии техники и технологии переработки макулатуры. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 109 с.
3. *Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И., Блинова Л.А.* Свойства целлюлозных волокон и их влияние на физико-механические характеристики бумаги и картона / Под ред. В.И. Комарова. Архангельск: Изд-во САФУ, 2011. 176 с.
4. *Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И.* Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 1118 с.
5. *Дулькин Д.А., Южанинова Л.А., Миронова В.Г., Спиридонов В.А.* Научные основы переработки макулатуры // Лесн. журн. 2005. № 1-2. С. 104–122. (Изв. высш учеб. заведений).
6. *Зеленова С.В., Казаков Я.В.* Определение структурно-размерных характеристик целлюлозных волокон в бумажном листе // Материалы докл. 15-й Коми республик. молодеж. науч. конф. Сыктывкар, 2004. Т. 1. С. 74–76.
7. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. Т. II. Производство бумаги и картона. Ч. 1. Технология производства и обработки бумаги и картона. СПб.: Политехника, 2005. 423 с.
8. *Яблочкин Н.И., Комаров В.И., Ковернинский И.Н.* Макулатура в технологии картона. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. 252 с.
9. *Heitmann J.A.* Pulp Properties in Pulp and Paper Manufacture // TAPPI J. 1992. N 9. P. 85–96.
10. *Karlsson H.* Fibre Guide – Fibre analysis and process applications in the pulp and paper industry. Sweden, Kista, 2006. 102 p.

Поступила 15.02.16

УДК 676.026.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.177

The Effect of Pressing on the Structure Formation and Physical and Mechanical Properties of Fluting

E.V. Dernova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

V.V. Gorazdova, Postgraduate Student

A.V. Gur'ev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

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

A complex of consumer properties of paper and cardboard in the production environment is influenced by the working conditions of three basic parts of paperboard machines: forming, pressing and drying. A laboratory simulation of paper or cardboard samples, for example, in order to optimize the composition and properties, is often limited by a set of possible influencing parameters. It refers to the simulation of the pressing process, as this process unlike the samples forming and drying processes, requires specialized equipment to adjust and maintain the desired pressure. As a variant of this equipment is a laboratory press TECHPAP 2011-004, which allows processing samples of paper or paperboard weighing of 20...600 g/m² when changing clamping force (the line pressing pressure) from 2 to 6 kg/cm, and perform a multiple pressing at a fixed or variable load. This paper presents the results of laboratory simulation of the pressing pressure impact in different conditions and the analysis of the effect of this factor on the properties of fluting. The laboratory fluting isotropic samples of the traditional primary semi-finished products (softwood high-yield pulp and neutral sulfite semichemical pulp) and waste paper of various qualities are accepted as the objects of the research. The standard lab sheets are used in the experiments. This allows us to eliminate the influence of the anisotropy on the formation of the samples structure and properties. The treatment of wet fluting samples is carried out at one and multiple passes of lab sheets through the press. The results of dryness measuring of the fluting samples with the use of a laboratory press have shown a good degree of approximation to the real conditions of a paper-making machine pressing. The range of variation of the paper web dryness in the laboratory conditions is from 17 to 42 %, therefore, the used compacting pressure can be compared with the values typical for the modern pressing parts of a machine. The fundamental differences of the impact of pressing conditions on the formation of the physical and mechanical fluting characteristics of primary and secondary fibers are installed. The use of pressing parameters in the fluting processing from waste paper requires taking into account the specifics of secondary fibers that have passed multiple processing and are characterized by the hornification of cell walls and increased fragility.

Keywords: fluting, pressing, primary fiber, secondary fiber, waste paper.

For citation: Dernova E.V., Gorazdova V.V., Gur'ev A.V. The Effect of Pressing on the Structure Formation and Physical and Mechanical Properties of Fluting. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 5, pp. 177–188. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.177

REFERENCES

1. Dmitrieva M.N., D'yakova E.V., Dul'kin D.A. Povyshenie tekhnologichnosti pererabotki makulturnogo flyutinga pri vvedenii v kompozitsiyu pervichnogo volokna [The Improvement of Processability of Waste Fluting at Primary Fiber Inclusion in the Composition]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2012, no. 9, pp. 58–62.
2. Dul'kin D.A., Koverninskiy I.N., Komarov V.I., Spiridonov V.A. *Mirovye tendentsii v razvitiu tekhniki i tekhnologii pererabotki makulturnykh volokon* [Global Trends in the Development of Equipment and Technology of the Wastepaper Processing]. Arkhangel'sk, 2002. 109 p.
3. Dul'kin D.A., Spiridonov V.A., Komarov V.I., Blinova L.A. *Svoystva tsellyuloznykh volokon i ikh vliyanie na fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki bumagi i kartona* [The Properties of Cellulosic Fibers and Their Influence on Physical and Mechanical Properties of Paper and Paperboard]. Arkhangel'sk, 2011. 176 p.
4. Dul'kin D.A., Spiridonov V.A., Komarov V.I. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya vtorignogo volokna iz makulturnykh volokon v mirovoy i otechestvennoy industrii bumagi* [Current Status and Prospects of Using of Recycled Fibre in the World and Native Paper Industry]. Arkhangel'sk, 2007. 1118 p.
5. Dul'kin D.A., Yuzhaninova L.A., Mironova V.G., Spiridonov V.A. Nauchnye osnovy pererabotki makulturnykh volokon [Scientific Basis of Waste Paper Treatment]. *Lesnoy zhurnal*, 2005, no. 1–2, pp. 104–122.
6. Zelenova S.V., Kazakov Ya.V. Opredelenie strukturno-razmernykh kharakteristik tsellyuloznykh volokon v bumazhnom liste [Determination of Structural and Dimensional Characteristics of Cellulose Fibers in a Paper Sheet]. *Materialy dokl. 15-y Komi respublik. molodezh. nauch. konf.* [Proc. of the 15th Komi Republican Youth Sci. Conf.]. Syktyvkar, 2004, vol. 1, pp. 74–76.
7. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. V 3 t. T. II. Proizvodstvo bumagi i kartona. Ch.1. Tekhnologiya proizvodstva i obrabotki bumagi i kartona* [The Technology of Pulp and Paper Production. In 3 V. Vol. 2. Manufacture of Paper and Paperboard. Part 1. Technology of Production and Processing of Paper and Paperboard]. Saint Petersburg, 2005. 423 p.
8. Yablochkin N.I., Komarov V.I., Koverninskiy I.N. *Makulturnaya tekhnologiya kartona* [Waste Paper in the Cardboard Technology]. Arkhangel'sk, 2004. 252 p.
9. Heitmann J.A. Pulp Properties in Pulp and Paper Manufacture. *TAPPI Journal*, 1992, no. 9, pp. 85–96.
10. Karlsson H. *Fibre Guide – Fibre Analysis and Process Applications in the Pulp and Paper Industry*. Sweden, Kista, 2006. 102 p.

Received on February 15, 2016