

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Научный рецензируемый журнал

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

6/366

2018

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION

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

BULLETIN
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Lesnoy Zhurnal

(Forestry Journal)

Scientific peer-reviewed journal

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

6/366

2018

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

EDITORIAL BOARD:

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>А.П. Богданов, С.В. Третьяков, С.В. Коптев, А.С. Ильинцев, С.А. Демиденко.</i> Товарная структура смешанных древостоев после проведения рубок ухода за лесом на стационарном объекте «Рубки ухода С.В. Алексеева 1951 г.».....	9
<i>А.В. Кулькова, Н.Н. Бессчетнова, В.П. Бессчетнов.</i> Многопараметрический анализ в оценке видоспецифичности представителей рода ель (<i>Picea</i>).....	23
<i>В.Ф. Ковязин, К.Х. До, Х.Х. Чан, Х.Х. До.</i> Определение категорий лесных угодий в заповеднике «Кимхи» республики Вьетнам с применением ГИС-технологий	39
<i>Л.А. Иванчина, С.В. Залесов.</i> Влияние усыхания на таксационные показатели одновозрастных еловых древостоев.....	48
<i>М.В. Сурсо.</i> Адаптация мужской репродуктивной сферы можжевельника обыкновенного к климату.....	57
<i>А.А. Лепёхин, А.С. Чеканышкин.</i> Рост и жизнеспособность дуба черешчатого в изреженных рубками ухода насаждениях.....	70
<i>А.В. Манов, И.Н. Кутявин.</i> Горизонтальная структура древостоев и подроста северотаежных коренных ельников чернично-сфагновых в Приуралье.....	78
<i>В.Д. Тунякин, В.С. Вавин, Н.В. Рыбалкина.</i> Новое о лесообразовательном процессе в лесных полосах Каменной Степи.....	89
<i>О.Н. Тюкавина, Д.Н. Клевцов, И.Н. Болотов, Б.Ю. Филиппов, Д.М. Адаи.</i> Биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной северотаежного лесного района.....	101
<i>О.Л. Цандекова, А.Е. Ножинков.</i> Особенности видового состава мохообразных на территории природного комплекса «Рудничный бор».....	109

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>В.Г. Козлов, А.В. Скрыпников, Е.В. Чернышова, Е.В. Чирков, С.А. Поставничий, Р.В. Могутнов.</i> Теоретические основы и методы математического моделирования лесовозных автомобильных дорог.....	117
<i>В.С. Морозов.</i> Особенности расчета поперечного изгиба оснований зимних автомобильных дорог на заболоченных грунтах.....	128

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>Е.Ю. Циулин, А.Б. Шмидт.</i> Численное моделирование модуля упругости LVL с различным сочетанием взаимно перпендикулярных слоев шпона.....	138
<i>А.Е. Алексеев, М.В. Кришьянис.</i> Исходные технологические требования системы позиционирования суппорта обрезного станка от линейного асинхронного двигателя.....	149

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- Е.А. Флорик, Ж.В. Бондаренко, Н.В. Валовень.* Получение настойки из ягод голубики высокорослой и исследование ее влияния на свойства косметической эмульсии..... 160

ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

- В.И. Силин.* А.А. Битрих и лесоводство Европейского Севера..... 172
- Указатель статей, помещенных в «Лесном журнале» в 2018 г. 177
-



CONTENTS

FORESTRY

<i>A.P. Bogdanov, S.V. Tret'yakov, S.V. Koptev, A.S. Il'intsev, S.A. Demidenko.</i> Commodity Composition of Mixed Stands after Improvement Thinning at a Stationary Object "S.V. Alekseev's Improvement Thinning of 1951".....	9
<i>A.V. Kul'kova, N.N. Besschetnova, V.P. Besschetnov.</i> Multivariable Analysis in the Assessment of Spruce Species Specificity (<i>Picea</i>).....	23
<i>V.F. Kovyazin, Q.H. Do, H.H. Tran, H.H. Do.</i> Determination of Forest Land Categories in the Kim Hy Nature Reserve of the Socialist Republic of Vietnam with the GIS Technologies Application.....	39
<i>L.A. Ivanchina, S.V. Zalesov.</i> Influence of Drying out on Forest Valuation Indicators of Even-Aged Spruce Stands.....	48
<i>M.V. Surso.</i> Adaptation of Male Reproductive Sphere of Common Juniper to Climate....	57
<i>A.A. Lepyohin, A.S. Chekanyshkin.</i> Growth and Vitality of English Oak in Plantations after Improvement Thinning.....	70
<i>A.V. Manov, I.N. Kut'yavin.</i> Horizontal Structure of Forest Stands and New Growth of Northern Taiga Virgin Blueberry-Sphagnum Spruce Forests in Cisurals.....	78
<i>V.D. Tunyakin, V.S. Vavin, N.V. Rybalkina.</i> Recent Trends of Forest Formation in Forest Strips of the Kamennaya Steppe.....	89
<i>O.N. Tyukavina, D.N. Klevtsov, I.N. Bolotov, B.Yu. Filippov, D.M. Adaj.</i> Biological Productivity of Scots Pine Cultures in the Northern Taiga Forest Area.....	101
<i>O.L. Tsandekova, A.E. Nozhnikov.</i> Features of Bryophytes Species Composition of the "Rudnichny Pine Forest" Natural Complex.....	109

WOOD EXPLOITATION

<i>G.V. Kozlov, A.V. Skrypnikov, E.V. Chernyshova, E.V. Chirkov, S.A. Postavnichiy, R.V. Mogutnov.</i> Theoretical Foundations and Methods of Mathematical Modeling of Forestry Roads.....	117
<i>V.S. Morozov.</i> Aspects of Cross Bending Calculation for Winter Road Bases on Boggy Grounds.....	128

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

<i>E.Yu. Tsiulin, A.B. Shmidt.</i> Numerical Simulation of LVL Elastic Modulus with Different Combinations of Mutually Perpendicular Veneer Layers.....	138
<i>A.E. Alekseev, M.V. Krisjanis.</i> Initial Technological Requirements for Position Control System of Edging Machine Support from Linear Induction Motor.....	149

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

- E.A. Flyurik, Zh.V. Bondarenko, N.V. Valoven'. Tincture Preparation from Northern High Bush Blueberries and a Study of Their Influence on the Cosmetic Emulsion Properties.....* 160

IN MEMORY OF SCIENTISTS

- V.I. Silin. A.A. Bitrikh and Forestry of the European North.....* 172
- Index of Articles Issued by “Lesnoy Zhurnal” in 2018..... 177
-



УДК 630*5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.9

**ТОВАРНАЯ СТРУКТУРА СМЕШАННЫХ ДРЕВОСТОЕВ
ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ РУБОК УХОДА ЗА ЛЕСОМ
НА СТАЦИОНАРНОМ ОБЪЕКТЕ
«РУБКИ УХОДА С.В. АЛЕКСЕЕВА 1951 г.»***

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

С.В. Третьяков^{1,2}, д-р с.-х. наук, проф.

С.В. Коптев^{1,2}, д-р с.-х. наук, зав. каф.

А.С. Ильинцев^{1,2}, канд. с.-х. наук, науч. сотр., ст. преподаватель

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

¹Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия, 163062; e-mail: alexsandr_bogd@mail.ru, s.v.tretyakov@narfu.ru, s.koptev@narfu.ru, a.ilintsev@narfu.ru, s.demidenko@narfu.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: alexsandr_bogd@mail.ru, s.v.tretyakov@narfu.ru, s.koptev@narfu.ru, a.ilintsev@narfu.ru, s.demidenko@narfu.ru

В статье приведены результаты исследований состояния, структуры и продуктивности древостоев на стационарном объекте – региональном памятнике природы «Рубки ухода С.В. Алексеева 1951 г.». Результаты обработки проведенных полевых наблюдений показали, что рубки ухода не только повышают продуктивность древостоев, но и могут быть эффективной мерой сохранения лиственницы Сукачева в оптимальных условиях произрастания. Установлена успешность целенаправленного формирования чистых и смешанных насаждений лиственницы по сравнению с контрольным древостоем без проведения рубок ухода. В 2014 г. обследованы участки с проведенными в 1951 г. рубками ухода (3 объекта) и со вторым приемом рубок в 2000 г. по методу С.В. Алексеева (3 объекта), заложен контроль без рубок ухода (1 объект). На всех участках определена сортиментная структура древостоев, анализ которой по состоянию на 2014 г. показал, что на участках, пройденных рубками различной интенсивности по запасу (от 60 до 70 %) и количеству стволов (от 50 до 81 %), сформированы древостои с различными показателями качества стволов, прироста, сортиментной структуры. Смешанные лиственничные древостои, сформированные рубками ухода из лучших деревьев хвойных пород, имеют более высокую продуктивность по сравнению с чистыми насаждениями. Эксперимент с оставлением на корню только лиственницы и вырубкой всех остальных деревьев продемонстрировал возможность формирования редкого для естественных условий Европейского Севера России чистого лиственничника.

Ключевые слова: рубки ухода, памятник природы – «Рубки ухода С.В. Алексеева 1951 г.», интенсивность разреживания, лиственница, сортиментная структура, эффективное лесопользование.

***Финансирование:** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Архангельской области в рамках научного проекта № 17-44-290127.

Для цитирования: Богданов А.П., Третьяков С.В., Коптев С.В., Ильинцев А.С., Демиденко С.А. Товарная структура смешанных древостоев после проведения рубок ухода за лесом на стационарном объекте «Рубки ухода С.В. Алексеева 1951 г.» // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 9–22. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.9

Введение

Рубки ухода представляют собой систему лесохозяйственных мероприятий, направленных на выращивание высокопродуктивных древостоев, наиболее полно отвечающих запросам лесного хозяйства. Одной из приоритетных задач развития лесной науки и практики является разработка научных основ, методов и технологий многоцелевого неистощительного лесопользования, воспроизводства и повышения продуктивности лесов различного целевого назначения [11]. Рубки ухода считаются ключевыми лесохозяйственными мероприятиями, основой для перехода на интенсивную и устойчивую модель ведения лесного хозяйства [5, 16]. Экономические предпосылки для их использования – создание высокопродуктивных древостоев с получением большего количества востребованной продукции с единицы площади в виде различных сортиментов, а также формирование оптимальных состава и структуры древостоев к моменту заготовки древесины в спелых насаждениях. В результате проведения рубок ухода в лиственничных древостоях наблюдается снижение внутривидовой конкуренции и усиление роста оставленных деревьев [25], меняется структура древостоев [20, 22], ряды распределения числа деревьев по таксационному диаметру получают правостороннее смещение и становятся близкими к нормальному распределению. Снижение густоты древостоев уменьшает риск последующего повышенного отпада деревьев с большим соотношением высоты и диаметра [26]. При рубках ухода важно знать, при каком составе насаждение будет иметь наибольший запас к моменту рубки и наибольший выход ценных сортиментов, какой состав необходимо оставлять [4], при какой интенсивности разреживания насаждение останется устойчивым [23, 24]. Кроме того, целью рубок ухода может быть сохранение ценных пород деревьев в оптимальных для этого условиях местопроизрастания, например формирование кедровников (*Pinus sibirica* Du Tour) [8]. Также актуальными становятся повышение устойчивости лесов к неблагоприятным факторам, вызванным изменением климата, и поддержание экосистемных услуг насаждений, сохранение биоразнообразия, депонирование углерода [19].

По материалам лесоустройства за последние 50 лет доля лиственницы Сукачева (*Larix sukazewii* Djil.) в лесопокрытой площади сократилась с 0,4 до 0,2 %. Необходимы действенные методы по ее восстановлению. На территории Архангельской области предпринимаются меры по сохранению и защите лиственницы [2, 17], это в первую очередь касается ограничения рубки насаждений с преобладанием или участием этой породы. Однако средний возраст лиственницы в Архангельской области составляет 211 лет, что свидетельствует о преобладании в лиственничных древостоях спелых и перестойных поколений. Это может негативно сказываться на защитных функциях таких насаждений и их устойчивости в результате изменения климата.

Рубки ухода, проведенные С.В. Алексеевым в 1951 г. и в последующем исследователями по аналогичной технологии, показывают, что таким способом можно сформировать чистые и смешанные высокопродуктивные лиственничники, достоверно не отличающиеся биологическим разнообразием от контрольного смешанного насаждения естественного формирования.

Результаты долговременных опытов с рубками ухода в хвойно-лиственничных древостоях позволяют сделать выводы о формировании их сортиментной структуры в зависимости от режима разреживания [1, 8, 12, 15, 18, 21, 22, 27], поддержании защитных функций древостоев с сохранением их устойчивости в условиях изменения климата [19].

При формировании высокопроизводительных лиственничных древостоев рубками ухода можно вырастить древостои с определенной товарной структурой. Зная направленность этих процессов, можно прогнозировать товарную структуру выращиваемого насаждения. Рубки ухода представляют научный и практический интерес и сейчас, о чем говорят материалы многочисленных совещаний ученых-лесоводов, природоохранных организаций, органов власти и производителей [16].

В 2014 г. нами обследован памятник природы регионального значения «Рубки ухода С.В. Алексеева 1951 г.», представляющий наглядный пример значения рубок ухода для формирования высокопродуктивных насаждений и эффективности лесохозяйственных мероприятий, оказывающих большое влияние на рост и развитие вторичных лесов [3].

Данная работа направлена на изучение вопросов повышения продуктивности и организации рационального, неистощительного и многоцелевого использования лесов различного назначения с применением рубок ухода.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является участок леса с проведенными рубками ухода на территории Обозерского лесничества (квартал 67) Северного участкового лесничества Архангельской области. В соответствии с современным лесным районированием указанное лесничество относится к северо-таежному району европейской части Российской Федерации [13] и к среднетаежному лесотаксационному подрайону [10]. Район исследований характеризуется оптимальными условиями произрастания лиственницы и относится к Шелексо-Мехренгскому району распределения лиственницы в Архангельской области. Для севера европейской части России – это наиболее высокопроизводительные насаждения, относящиеся в среднем к III классу бонитета [7].

Рубки ухода проводились в 1951 г. в 15-летнем смешанном молодняке, в состав которого входили лиственница, сосна, ель, береза. Насаждение сформировалось на месте пожара, прошедшего по вырубке в 1935 г. Опыт заложен в трех вариантах, площадь каждого из которых составляла 1,8 га. Общая площадь участка 5,4 га. На рис. 1 приведена схема размещения объекта исследования.



Рис. 1. Схема размещения объекта исследования

Fig. 1. Location chart of the study object

Рубки проводились по трем вариантам:

вариант А1 – сформировано чистое лиственничное насаждение, из древостоя удалялись все деревья сопутствующих пород, а также отставшие в росте деревья лиственницы;

вариант А2 – ставилась задача формирования смешанного насаждения, оставлялись лучшие деревья верхнего яруса, убирались все неперспективные деревья;

вариант А3 – лучшие деревья удалялись, на дальнейшее выращивание оставлялись отставшие в росте (неперспективные) деревья обоих ярусов [6].

В табл. 1 приведена таксационная характеристика насаждений, пройденных рубками ухода в 1951 г. (по данным С.В. Алексева).

Проведение ухода за лесом с указанием дат сплошного перечета для изучения развития древостоя изображено на рис. 2.

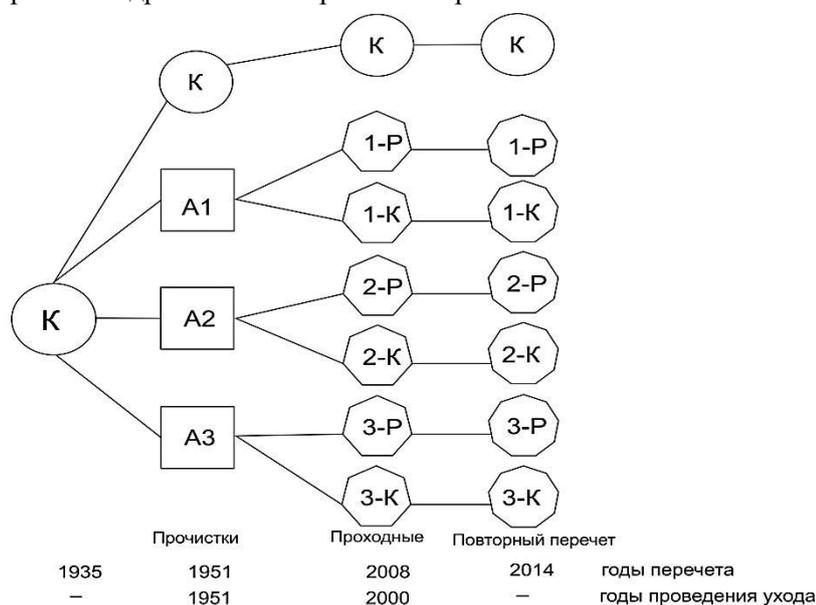


Рис. 2. Схема проведения ухода за лесом с последующим перечетом на экспериментальных участках: 1-К – 3-К – участки леса без ухода в 2000 г.; 1-Р – 3-Р – участки леса с проведением ухода в 2000 г.

Fig. 2. Scheme of forest tending followed by inventory of experimental plots: 1-К – 3-К – plots without tending in 2000; 1-Р – 3-Р – plots with tending in 2000

Спустя 50 лет после первого приема рубок ухода участок был обследован специалистами Обозерского лесхоза, проведены очередные рубки ухода. По возрасту и современным требованиям уход за лесом [14] соответствует проходной рубке. Рубки ухода выполнены в сотрудничестве с учеными АГТУ и СевНИИЛХ весной 2000 г. согласно рекомендациям лесоустройства. При планировании и проведении проходных рубок руководствовались методикой С.В. Алексева, при этом были восстановлены в прежних границах все три варианта рубок 1951 г. При проведении второго приема рубок ухода экспериментальные участки разбивали на две части: в одной (площадь 0,8 га) проводились рубки (номера вариантов с литерой Р), другая (площадь 1,0 га) оставалась нетронутой и служила контрольной (номера вариантов с литерой К).

Таблица 1

Таксационная характеристика насаждения, пройденного рубками ухода в 1951 г., по данным С.В. Алексеева

Элемент леса	До прочистки (прореживание по С.В. Алексееву), шт./га				После прочистки (прореживание по С.В. Алексееву), шт./га				% выборки		Состав	Возраст, лет	Среднее по Лц		Запас на 1 га		
	Лц	Лц*	С	Б	Е	Итого	Лц	Лц*	С	Б			Е	Итого		По числу стволов	По запасу
													Лц	С			
<i>Вариант 1</i>																	
II ярус до 1,5 м	1102	2259	1068	3518	427	8374	674	1708	472	742	180	3776	-	-	-	-	-
I ярус	4923	2147	1641	4968	112	13791	2664	1855	0	34	11	4564	67	63	10Лц	14	16,0
															ед.Б	4,7	4,1
<i>Вариант 2</i>																	
II ярус до 1,5 м	5496	223	804	7931	525	14979	1955	36	804	7305	246	10346	-	-	-	-	-
I ярус	5520	522	961	4312	56	11371	2636	313	302	2435	-	5686	50	60	4Лц1С	14	18,6
															5Б	5,4	4,8
<i>Вариант 3</i>																	
II ярус до 1,5 м	1669	423	869	2217	354	5532	1669	423	869	2217	354	5532	-	-	-	-	-
I ярус	9818	149	1875	13339	-	25180	1372	149	217	2023	-	3761	81	70	4Лц1С	14	16,8
															5Б	3,2	3,6

*Отставшая.

Таким образом были получены 6 опытных участков. В 2014 г. проводились повторные перечеты на всех 6 участках, была заложена дополнительная пробная площадь в смежном участке, не затронутом рубками 1951 г. и 2000 г., которая служила в качестве контроля (литера К). В 2014 г. средний возраст древостоев составлял 78 лет.

Сбор и анализ полевых материалов на постоянных пробных площадях осуществлялись по общепринятой методике и определялись целями исследования. Для таксационной характеристики древесного яруса проводился сплошной переčet деревьев с измерением диаметров по точной шкале.

Для определения средней высоты древесного яруса главной породы и других пород, имеющих более 3 ед. в составе, измеряли диаметр и высоту 15...20 деревьев. У остальных пород измеряли по 3 дерева из трех центральных ступеней толщины.

При перечете стволы делили на категории технической годности:

деловые – деревья, длина деловой части которых в нижней половине ствола составляла не менее 6,5 м, а при высоте ствола до 10,0 м – не менее 1/3 высоты;

полуделовые – деревья, длина деловой части которых составляла от 2,0 до 6,5 м;

дровяные – деревья с длиной деловой части менее 2,0 м.

Для выявления фауности древостоев отмечали случаи повреждений деревьев вредителями, болезнями, встречающиеся пороки с указанием характера повреждения (суховершинность, кривизна, плодовые тела грибов на стволе дерева и т.д.).

Средний возраст элемента леса определяли путем арифметического прибавления календарного периода, прошедшего после последнего обследования, к установленному ранее возрасту.

Для сортиментации древостоев на пробных площадях использовали сортиментные таблицы для сосны (С), ели (Е), березы (Б) и осины (Ос) из лесотаксационного справочника [10], для лиственницы (Лц) – сортиментные таблицы для лиственничных древостоев [9].

В табл. 2 приведена таксационная характеристика древостоев по состоянию на июнь 2014 г.

Результаты исследования и их обсуждение

Наивысшая продуктивность наблюдается в варианте 2-К, где на месте проведения рубок ухода оставались лучшие по размерам деревья с запасом 384 м³/га. Затем идет участок 1-К с оставлением на корню чистого лиственничного древостоя с запасом 334 м³/га в настоящее время. В целом все насаждения, пройденные рубками ухода, имеют высокую продуктивность, характерную для смешанных лиственнично-сосновых древостоев, произрастающих в районе исследований. Высокая продуктивность насаждений обусловлена оптимальным сочетанием древесных пород и своевременным снижением густоты. В верхнем пологе доминируют лиственница и сосна, на первом участке лиственные породы практически отсутствуют, на остальных доля березы и осины в составе не превышает 21 % в отличие от участка контроля, где доля березы составляет 31 %. Отпад на всех участках не превышает 13 м³/га (3,5 % от запаса древостоя).

Таблица 2

Характеристика участков наблюдений по состоянию на июнь 2014 г.

Вариант	Состав*	Элемент леса	Класс бонитета	D, см	H, м	Сумма площадей сечений, м ² /га	Относительная полнота P	Количество деревьев, шт./га	Запас растущего леса, м ³	Сухостой, м ³
Общий контроль	34С34Б17Лп11Е +3Ос	Лп	III	15,5	18,0	4,9	0,15	270	50	0
		С		22,6	22,1	8,6	0,22	240	99	2
		Е		10,8	11,6	4,8	0,21	530	33	0
		Б		14,0	18,6	10,3	0,36	707	100	2
		Ос		17,9	21,8	0,8	0,02	33	10	0
<i>Итого</i>					29,4	0,96	1780	292	4	
1-Р с рубкой. Оставлена Лп, пройдено рубками в 1951 г. и 2000 г.	100Лп ед. С,Е,Б	Лп	II	19,3	20,5	26,9	0,76	951	291	3
		С		20,4	21,1	0,1	0,00	5	1	1
		Е		8,0	9,2	0,1	0,01	16	1	0
		Б		14,4	18,8	0,2	0,01	9	1	0
		<i>Итого</i>						27,3	0,78	981
1-К контроль. Оставлена Лп, пройдено рубкой в 1951 г.	76Лп16Е7Б ед. С	Лп	II	19,8	20,8	22,9	0,64	796	254	7
		С		24,1	22,6	0,4	0,01	16	3	1
		Е		13,0	13,3	7,1	0,28	550	54	0
		Б		14,8	19,0	2,3	0,08	134	23	0
		<i>Итого</i>						32,7	1,01	1496
2-Р с рубкой. Оставлены лучшие деревья, пройдено рубками в 1951 г. и 2000 г.	54Лп23С15Б8Е	Лп	III	17,8	19,5	15,1	0,44	677	159	5
		С		24,4	22,7	5,8	0,15	129	68	1
		Е		11,3	12,0	3,1	0,13	310	22	0
		Б		14,4	18,8	4,4	0,15	278	44	1
		<i>Итого</i>						28,4	0,87	1393
2-К контроль. Оставлены лучшие деревья, пройдено рубкой в 1951 г.	50Лп15С25Б10Е	Лп	II	20,4	21,2	17,1	0,47	589	193	6
		С		25,5	23,1	4,9	0,12	106	56	2
		Е		12,1	12,6	5,4	0,22	473	39	0
		Б		16,7	20,1	9,3	0,31	478	96	5
		<i>Итого</i>						36,7	1,12	1646
3-Р с рубкой. Вырублены лучшие деревья, пройдено рубкой в 1951 г. и 2000 г.	45Лп21С24Б10Е	Лп	III	18,2	19,8	11,8	0,34	489	127	3
		С		25,9	23,3	5,3	0,13	113	58	1
		Е		11,2	11,9	4,1	0,18	418	28	0
		Б		11,2	16,7	4,1	0,15	513	67	6
		<i>Итого</i>						25,3	0,80	1533
3-К контроль. Вырублены лучшие деревья, пройдено рубкой в 1951 г.	40Лп27С22Б11Е ед. Ос.	Лп	II	19,6	20,7	12,0	0,34	442	132	3
		С		26,2	23,4	7,4	0,19	149	88	3
		Е		12,1	12,6	5,0	0,20	435	36	0
		Б		15,3	19,3	7,3	0,25	431	73	5
		<i>Итого</i>						0,1	-	2
<i>Итого</i>					31,8	0,98	1459	330	11	

*Состав насаждений указан в процентах.

На рис. 3 приведена товарная структура исследуемых смешанных древостоев. Это позволяет сопоставить их продуктивность, товарность и полученный эффект от рубок ухода.

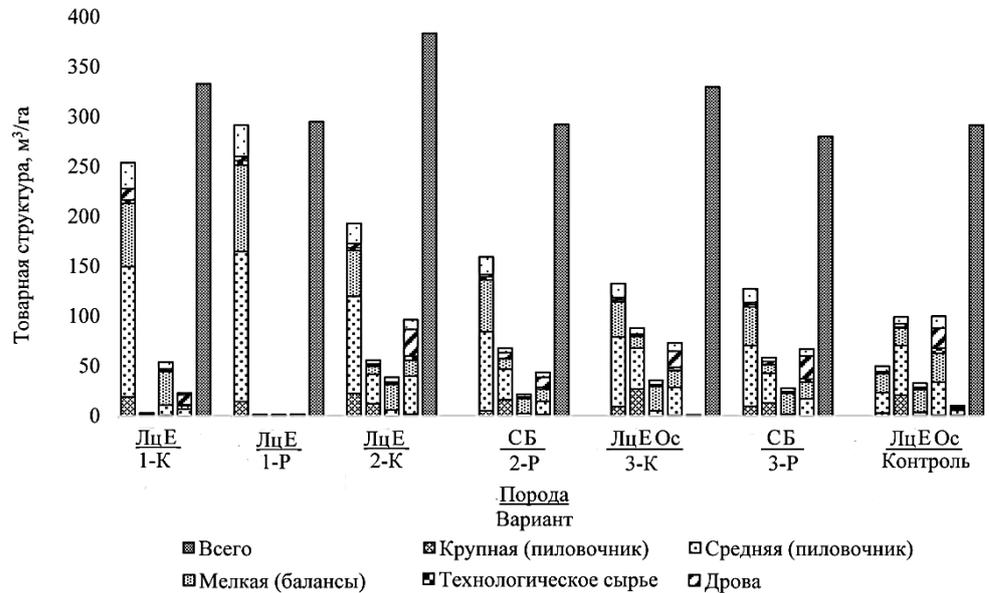


Рис. 3. Товарная структура исследуемых древостоев, пройденных рубками ухода
Fig. 3. Commodity composition of the studied forest stands after improvement thinning

Абсолютные текущие среднепериодические приросты по запасу (в скобках указан вариант рубки):

лиственницаот 0,6 (контроль) до 4,4 (1-Р);
сосна.....от 0,9 (2-К) до 1,4 (3-К);
ель.....от 0,3 (2-Р) до 0,6 (2-К, 3-К);
березаот 0,6 (2-Р) до 1,6 (контроль).

Наибольший среднепериодический прирост по запасу у сосны и ели отмечен в варианте 3-К, где вырублены лучшие (средние) деревья, без рубки ухода в 2000 г., т. е. насаждения с проведенными в 2000 г. рубками к моменту исследований не успели компенсировать вырубленные запасы за счет дополнительного светового прироста.

Наименьший среднепериодический прирост по запасу у сосны и ели получен в вариантах 2-К и 2-Р, где были оставлены лучшие деревья.

Распределение сортиментов по категориям крупности (в скобках указан вариант рубки):

крупная (пиловочник).....от 14 (1-Р) до 36 м³/га (2-К, 3-К);
средняя (пиловочник).....от 109 (3-Р) до 170 м³/га (2-К);
мелкая (балансы).....от 84 (3-Р) до 101 м³/га (1-К);
технологическое сырье.....от 5 (1-Р) до 10 м³/га (контроль);
дрова топливные.....от 4 (1-Р) до 34 м³/га (2-К);
отходыот 28 (3-Р) до 38 м³/га (2-К).

Лучшая товарная структура у древостоя 2-К, где при проведении рубок ухода были оставлены лучшие по состоянию деревья.

Оставление в ходе рубок ухода за лиственницей равномерно расположенных деревьев, оптимально занимающих пространство, с наилучшими показателями прироста, высокими качественными показателями ствола и отсутствием пороков в наибольшей степени оказывает влияние на товарную структуру древостоя.

Заключение

Обследование памятника природы «Рубки ухода С.В. Алексеева 1951 г.» показало высокую эффективность рубок ухода для формирования высокопродуктивного древостоя с преобладанием и участием лиственницы Сукачева. Фактически рубки ухода являются единственным лесохозяйственным мероприятием, позволяющим сформировать из оставленных деревьев чистый или смешанный лиственничный древостой с хорошей товарной структурой, устойчивый к внешним воздействиям. Все насаждения, пройденные рубками ухода, имеют высокую продуктивность, характерную для смешанных лиственнично-сосновых древостоев, произрастающих в зеленомошной группе типов леса северо-таежного района европейской части Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляева Н.В., Данилов Д.А., Ищук Т.А.* Товарная структура ельников кисличных, пройденных рубками ухода // Аграр. науч. журн. 2015. № 1. С. 7–14.
2. *Богданов А.П.* Закономерности строения, рост и нормативы таксации лиственничных древостоев Архангельской области: дис. ... канд. с.-х. наук. Архангельск, 2014. 151 с.
3. *Богданов А.П., Ильинцев А.С., Демиденко С.А.* Формирование структуры древостоев после проведения ухода за лесом // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. П.А. Феклистова. Архангельск: САФУ, 2015. Вып. 18. С. 38–41.
4. *Данилов Д.А., Беляева Н.В., Ковалев Н.В.* Влияние рубок ухода на рост и товарную структуру смешанных древостоев сосны и ели кисличного типа леса // Лесотехн. журн. 2014. № 2. С. 31–36.
5. *Дебков Н.М., Брюханов А.В.* Примеры лесопользования во вторичных лесах Западной Сибири // Сиб. лесн. журн. 2017. № 2. С. 81–92.
6. *Зяблов В.Б., Третьяков С.В.* История создания и характеристика памятника природы «Рубки ухода 1951 г. С.В. Алексеева» // Материалы 2-го регион. раб. совещ. «Лиственничные леса Архангельской области, их использование и воспроизводство» (22–25 сент. 2008 г.). Архангельск: АГТУ, 2008. С. 49–55.
7. *Кашин В.И., Козобродов А.С.* Лиственничные леса Европейского Севера России. Архангельск: Изд-во Арх. фил. РГО РАН, 1994. 219 с.
8. *Коновалова М.Е., Данилина Д.М., Назимова Д.И.* Формирование кедровников рубками ухода в черном поясе Западного Саяна // Лесоведение. 2017. № 5. С. 16–27.
9. *Коптев С.В., Третьяков С.В., Богданов А.П.* Сортиментные таблицы для лиственничных древостоев Европейского Севера // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2014. № 3. С. 59–66.
10. Лесотаксационный справочник по северо-востоку европейской части Российской Федерации: (нормативные материалы для Ненецкого автономного округа, Архангельской, Вологодской областей и Республики Коми) / Федер. агентство лесн. хоз-ва, ФБУ «СевНИИЛХ» [сост.: канд. с.-х. наук Войнов Г.С. и др.]. Архангельск: Правда Севера, 2012. 672 с.

11. Лукина Н.В., Исаев А.С., Крышень А.М., Онучин А.А., Сиринов А.А., Гагарин Ю.Н., Бартаев С.А. Приоритетные направления развития лесной науки как основы устойчивого управления лесами // Лесоведение. 2015. № 4. С. 243–254.
12. Минин Н.С., Захаров А.Ю. Рост сосняков искусственного происхождения под влиянием рубок ухода // Учен. зап. ПетрГУ. 2013. № 6. С. 60–64.
13. Об утверждении Перечня лесорастительных зон и Перечня лесных районов Российской Федерации: приказ Минприроды России от 18.08.2014 № 367. Режим доступа: gosleshoz.gov.ru (дата обращения 14.03.2017).
14. Об утверждении Правил ухода за лесами: приказ Минприроды России от 22.11.2017 № 626 (зарегистрировано в Минюсте РФ 22.12.2017 № 49381). Режим доступа: <https://minjust.consultant.ru/documents/37815?items=1&page=1> (дата обращения 21.02.2018).
15. Сеннов С.Н. Результаты длительных наблюдений за естественным ростом древостоев и влиянием на него рубок ухода. СПб.: СПбНИИЛХ, 2008. 40 с.
16. Стратегия разработки системы лесохозяйственных и природоохранных нормативов для Средне-таежного лесного района с целью внедрения модели устойчивого интенсивного лесного хозяйства // Материалы круглого стола (18 марта 2013 г., Санкт-Петербург) / сост. Н. Шматков. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013. 120 с.
17. Торхов С.В., Трубин Д.В. Лиственница в лесах Архангельской области: состояние, динамика, использование // Материалы регион. раб. совещ. «Лиственничные леса Архангельской области, их использование и воспроизводство» (01–03 июля, 1998 г.). Архангельск: АГТУ, 2002. С. 5–22.
18. Чибисов Г.А., Гуцин В.А., Фомин А.П., Захаров А.Ю. Лесоводственная и экономическая эффективность рубок ухода: практ. пособие. 2-е изд., испр. и доп. Архангельск: Изд-во САФУ, 2011. 108 с.
19. Del Rio M., Bravo-Oviedo A., Pretzsch H., Löf M., Ruiz-Peinado R. A Review of Thinning Effects on Scots Pine Stands: From Growth and Yield to New Challenges Under Global Change // Forest Systems. 2017. Vol. 26, iss. 2. 19 p. Режим доступа: <http://revistas.inia.es/index.php/fs/article/view/11325> (дата обращения: 19.07.2017). DOI: <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2017262-11325>
20. Garbarino M., Weiberg P.J., Motta R. Interacting Effects of Physical Environment and Anthropogenic Disturbances on the Structure of European Larch (*Larix decidua* Mill.) Forests // Forest Ecology and Management. 2009. Vol. 257. Pp. 1794–1802. DOI: 10.1016/j.foreco.2008.12.031
21. Gauthier M., Barrette M., Tremblay S. Commercial Thinning to Meet Wood Production Objectives and Develop Structural Heterogeneity: A Case Study in the Spruce-Fir Forest, Quebec, Canada // Forests. 2015. Vol. 6, iss. 2. Pp. 510–532. Режим доступа: <https://www.mdpi.com/1999-4907/6/2/510/htm> (дата обращения: 17.02.2015). DOI: 10.3390/f6020510
22. Gradel A., Ammer C., Ganbaatar B., Nadaldorj O., Dovdondemberel B., Wagner S. On the Effect of Thinning on Tree Growth and Stand Structure of White Birch (*Betula platyphylla* Sukaczew) and Siberian Larch (*Larix sibirica* Ledeb.) in Mongolia // Forests. 2017. Vol. 8, iss. 4. 23 p. Режим доступа: <https://www.mdpi.com/1999-4907/8/4/105> (дата обращения: 31.03.2017). DOI: 10.3390/f8040105
23. Hämläinen M. Lodgepole Pine – Stability after Thinning: Master Thesis no. 146. Alnarp, Swedish University of Agricultural Sciences, 2010. 43 p.
24. Martinsson O., Lesinski J. Siberian Larch. Forestry and Timber in a Scandinavian Perspective. Östersund, Sweden: Jämtlands County Council Institute of Rural Development, Prinfo Accidenstryckeriet, 2007. 91 p.

25. Novák J., Slodičák M., Dušek D. Aboveground Biomass of Substitute Tree Species Stand with Respect to Thinning – European Larch (*Larix decidua* Mill.) // Journal of Forest Science. 2011. Vol. 57, no. 1. Pp. 8–15. Режим доступа: https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/24_2010-JFS.pdf (дата обращения: 31.01.2011)

26. Schaedel M.S. Density Management in Young Western Larch Stands: Tree Growth, Stand Yield, and Carbon Storage 54 Years after Thinning: Master Thesis. Missoula, MT, University of Montana, 2016. 145 p.

27. Zachara T. The Influence of Different Thinning Methods on Dominance Coefficients of Future Crop Trees in Even-Aged Scots Pine Stands // Leśne Prace Badawcze (Forest Research Papers). 2014. Vol. 75, iss. 1. Pp. 31–45. Режим доступа: <https://content.sciendo.com/view/journals/frp/75/1/article-p31.xml> (дата обращения: 09.04.2014). DOI: 10.2478/frp-2014-0004

Поступила 21.02.18

UDC 630*5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.9

Commodity Composition of Mixed Stands after Improvement Thinning at a Stationary Object “S.V. Alekseev’s Improvement Thinning of 1951”

A.P. Bogdanov^{1,2}, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Research Scientist, Associate Professor

S.V. Tret'yakov^{1,2}, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

S.V. Koptev^{1,2}, Doctor of Agricultural Sciences, Head of Department

A.S. Il'intsev^{1,2}, Candidate of Agricultural Sciences, Research Scientist, Senior Lecturer

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

¹Northern Research Institute of Forestry, ul. Nikitova, 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; e-mail: aleksandr_bogd@mail.ru, s.v.tretyakov@narfu.ru, s.koptev@narfu.ru, a.ilintsev@narfu.ru, s.demidenko@narfu.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: aleksandr_bogd@mail.ru, s.v.tretyakov@narfu.ru, s.koptev@narfu.ru, a.ilintsev@narfu.ru, s.demidenko@narfu.ru

The results of research on the state, structure and productivity of forest stands at a stationary object – a natural monument “S.V. Alekseev’s Improvement Thinning of 1951” are represented in the article. The analysis of field observations showed that improvement thinning increases forest stands productivity as well as can be an effective preservation measure for keeping Sukachev’s larch in optimum growth conditions. Successfulness of focused formation of pure and mixed larch stands in comparison with control stand without thinning is established. Experimental areas after improvement thinning of 1951 (3 objects) and after second improvement thinning of 2000 by the S.V. Alekseev’s method (3 objects) were studied in 2014. A control experimental area without improvement thinning was chosen (1 object). Areas assortment structure of forest stands was defined. Its analysis in 2014 showed that areas after improvement thinning of different intensity by reserves (from 60 to 70 %) and trunks quantity (from 50 to 81 %) forest stands with different trunks quality, accretion and assortment structure were formed. Mixed larch forest stands formed by improvement

For citation: Bogdanov A.P., Tret'yakov S.V., Koptev S.V., Il'intsev A.S., Demidenko S.A. Commodity Composition of Mixed Stands after Improvement Thinning at a Stationary Object “S.V. Alekseev’s Improvement Thinning of 1951”. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 9–22. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.9

thinning from the best hardwood trees have more productivity in comparison with the pure stands. An experiment with leaving on only larch trees allows forming pure larch stand rare for the natural conditions of the Russian European North.

Keywords: improvement thinning, a natural monument “S.V. Alekseev’s Improvement Thinning of 1951”, thinning intensity, larch, assortment structure, effective forest management.

REFERENCES

1. Belyayeva N.V., Danilov D.A., Ishchuk T.A. Tovarnaya struktura el’nikov kislichnykh, proydennykh rubkami ukhoda [Commodity Composition of Wood Sorrel Spruce Forest after Improvement Thinning]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [The Agrarian Scientific Journal], 2015, no. 1, pp. 7–14.
2. Bogdanov A.P. *Zakonomernosti stroyeniya, rost i normativy taksatsii listvennichnykh drevostoyev Arkhangel’skoy oblasti: dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Morphology, Growth and Standards of Valuation of Larch Stands in Arkhangelsk Region: Cand. Agric. Sci. Diss.]. Arkhangelsk, 2014. 151 p.
3. Bogdanov A.P., Il’intsev A.S., Demidenko S.A. Formirovaniye struktury drevostoyev posle provedeniya ukhoda za lesom [Stand Structure Formation after Forest Tending]. *Ekologicheskiye problemy Arktiki i severnykh territoriy: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Ecological Issues of the Arctic and Northern Areas: Interuniversity Collection of Scientific Papers]. Ed. by P.A. Feklistov. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2015, no. 18, p. 38–41.
4. Danilov D.A., Belyayeva N.V., Kovalev N.V. Vliyaniye rubok ukhoda na rost i tovarnyuyu strukturu smeshannykh drevostoyev sosny i eli kislichnogo tipa lesa [Effect from Improvement Thinning on Growth and Commodity Composition of Mixed Stands of Pine and Spruce of Wood Sorrel Forest]. *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2014, no. 2, pp. 31–36.
5. Debkov N.M., Bryukhanov A.V. Primery lesopol’zovaniya vo vtorichnykh lesakh Zapadnoy Sibiri [The Examples of Forest Management in Secondary Forests of Western Siberia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2017, no. 2, pp. 81–92.
6. Zyablov V.B., Tret’yakov S.V. Istoriya sozdaniya i kharakteristika pamyatnika prirody «Rubki ukhoda 1951 g. S.V. Alekseyeva» [History and Description of the Nature Monument “S.V. Alekseev’s Improvement Thinning of 1951”]. *Materialy 2-go region. rab. soveshch. «Listvennichnyye lesa Arkhangel’skoy oblasti, ikh ispol’zovaniye i vosproizvodstvo» (22–25 sent. 2008 g.)* [The Materials of the Second Regional Workshop “Larch Forests of Arkhangelsk Region, Their Use and Reproduction” (September 22–25, 2008)]. Arkhangelsk, 2008, pp. 49–55.
7. Kashin V.I., Kozobrodov A.S. *Listvennichnyye lesa Evropeyskogo Severa Rossii* [Larch Forests of the European North of Russia]. Arkhangelsk, Arkh. fil. RGO RAN Publ., 1994. 219 p. (In Russ.)
8. Konovalova M.E., Danilina D.M., Nazimova D.I. Formirovaniye kedrovnikov rubkami ukhoda v chernem poyase Zapadnogo Sayana [Siberian Pine Forests Formation in Dark Taiga of Western Sayan by Improvement Thinning]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2017, no. 5, pp. 16–27.
9. Koptev S.V., Tret’yakov S.V., Bogdanov A.P. Sortimentnyye tablitsy dlya listvennichnykh drevostoyev Evropeyskogo Severa [Assortment Tables for Larch Stands of the European North]. *Vestnik Sev. (Arktich.) feder. un-ta. Ser.: Estestvennyye nauki*, 2014, no. 3, pp. 59–66.
10. *Lesotaksatsionnyy spravochnik po severo-vostoku evropeyskoy chasti Rossiyskoy Federatsii: (normativnyye materialy dlya Nenetskogo avtonomnogo okruga, Arkhangel’skoy, Vologodskoy oblastey i Respubliki Komi)* [Forest Packing Guide of the Northeast of

the European Part of the Russian Federation (standards, specifications and guidelines for Nenets Autonomous District, Arkhangelsk and Vologda regions and Komi Republic). Federal'noye agentstvo lesnogo khozyaystva, FBU SevNIILKH [Federal Agency for Forestry, Northern Research Institute of Forestry]. Content by G.S. Voynov. Arkhangelsk, Pravda Severa Publ., 2012. 672 p.

11. Lukina N.V., Isayev A.S., Kryshen' A.M., Onuchin A.A., Sirin A.A., Gagarin Yu.N., Bartalev S.A. Prioritetnyye napravleniya razvitiya lesnoy nauki kak osnovy ustoychivogo upravleniya lesami [Research Priorities in Forest Science as the Basis of Sustainable Forest Management]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2015, no. 4. pp. 243–254.

12. Minin N.S., Zakharov A.Yu. Rost sosnyakov iskusstvennogo proiskhozhdeniya pod vliyaniyem rubok ukhoda [Growth of Artificial Pine Forests under the Influence of Improvement Thinning]. *Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Petrozavodsk State University], 2013, no. 6, pp. 60–64.

13. *Ob utverzhdenii Perechnya lesorastitel'nykh zon i Perechnya lesnykh rayonov Rossiyskoy Federatsii: Prikaz Minprirody Rossii ot 18.08.2014 № 367* [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation on August 18, 2014, no. 367 “On Approval of the List of Forest Plant Zones of the Russian Federation and the List of Forest Regions of the Russian Federation”]. Available at: rosleshoz.gov.ru (accessed 14.03.2017).

14. *Ob utverzhdenii Pravil ukhoda za lesami: prikaz Minprirody Rossii ot 22.11.2017 № 626 (zaregistrirvano v Minyuste RF 22.12.2017 № 49381)* [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation on November 22, 2017, no. 626 “On Approval of the Rules of Forest Tending (Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on December 22, 2017, No. 49381)]. Available at: <https://minjust.consultant.ru/documents/37815?items=1&page=1> (accessed 21.02.2018).

15. Sennov S.N. *Rezul'taty dlitel'nykh nablyudeniy za estestvennym rostom drevo-stoyev i vliyaniyem na nego rubok ukhoda* [The Results of Long-Term Observations of the Natural Growth of Forest Stands and the Effect from Improvement Thinning on It]. Saint Petersburg, SPBNIILKH Publ., 2008. 40 p. (In Russ.)

16. Strategiya razrabotki sistemy lesokhozyaystvennykh i prirodookhrannykh normativov dlya Sredne-tayezhnogo lesnogo rayona s tsel'yu vnedreniya modeli ustoychivogo intensivnogo lesnogo khozyaystva [Strategy of the System Development of Forest Management and Environmental Standards for the Middle Taiga Forest Zone for Implementation of Sustainable Intensive Forestry Model]. *Materialy kruglogo stola (18 marta 2013 g., Sankt-Peterburg)* [Proceedings of the Roundtable, Saint Petersburg, March 18, 2013]. Moscow, WWF, 2013. 120 p.

17. Torkhov S.V., Trubin D.V. Listvennitsa v lesakh Arkhangel'skoy oblasti: sostoyaniye, dinamika, ispol'zovaniye [Larch in the Forests of Arkhangelsk Region: State, Dynamics, Use] *Materialy regional'nogo rabochego soveshchaniya «Listvennichnyye lesa Arkhangel'skoy oblasti, ikh ispol'zovaniye i vosproizvodstvo» (01–03 iyulya, 1998 g.)* [Proceedings of the Regional Workshop “Larch Forests of Arkhangelsk Region, Their Use and Reproduction”, July 01–03, 1998]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2002, pp. 5–22.

18. Chibisov G.A., Gushchin V.A., Fomin A.P., Zakharov A.Yu. *Lesovodstvennaya i ekonomicheskaya effektivnost' rubok ukhoda: prakt. posobiye* [Silvicultural and Economic Efficiency of Improvement Thinning: Practical Guide] Arkhangelsk, NArFU Publ., 2011. 108 p. (In Russ.)

19. Del Río M., Bravo-Oviedo A., Pretzsch H., Löf M., Ruiz-Peinado R. A Review of Thinning Effects on Scots Pine Stands: From Growth and Yield to New Challenges Under Global Change. *Forest Systems*, 2017, vol. 26, iss. 2, 19 p. Available at: <http://revistas.inia.es/index.php/fs/article/view/11325> (accessed 19.07.2017). DOI: <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2017262-11325>.

20. Garbarino M., Weiberg P.J., Motta R. Interacting Effects of Physical Environment and Anthropogenic Disturbances on the Structure of European Larch (*Larix decidua* Mill.) Forests. *Forest Ecology and Management*, 2009, vol. 257, pp. 1794–1802. DOI: 10.1016/j.foreco.2008.12.031.

21. Gauthier M., Barrette M., Tremblay S. Commercial Thinning to Meet Wood Production Objectives and Develop Structural Heterogeneity: A Case Study in the Spruce-Fir Forest, Quebec, Canada. *Forests*, 2015, vol. 6, iss. 2, pp. 510–532. Available at: <https://www.mdpi.com/1999-4907/6/2/510/htm> (accessed 17.02.2015). DOI: 10.3390/f6020510.

22. Gradel A., Ammer C., Ganbaatar B., Nadaldorj O., Dovdondemberel B., Wagner S. On the Effect of Thinning on Tree Growth and Stand Structure of White Birch (*Betula platyphylla* Sukaczew) and Siberian Larch (*Larix sibirica* Ledeb.) in Mongolia. *Forests*, 2017, vol. 8, iss. 4, 23 p. Available at: <https://www.mdpi.com/1999-4907/8/4/105> (accessed 31.03.2017). DOI: 10.3390/f8040105

23. Hämäläinen M. *Lodgepole Pine – Stability after Thinning*. Master Thesis no. 146. Alnarp, Swedish University of Agricultural Sciences, 2010. 43 p.

24. Martinsson O., Lesinski J. *Siberian Larch. Forestry and Timber in a Scandinavian Perspective*. Ostersund, Sweden, Jämtlands County Council Institute of Rural Development, Prinfo Accidenstryckeriet, 2007. 91 p.

25. Novák J., Slodičák M., Dušek D. Aboveground Biomass of Substitute Tree Species Stand with Respect to Thinning – European Larch (*Larix decidua* Mill.). *Journal of Forest Science*, 2011, vol. 57, no. 1, pp. 8–15. Available at: https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/24_2010-JFS.pdf (accessed 31.01.2011).

26. Schaedel M.S. *Density Management in Young Western Larch Stands: Tree Growth, Stand Yield, and Carbon Storage 54 Years after Thinning*. Master Thesis. Missoula, MT, University of Montana, 2016. 145 p.

27. Zachara T. The Influence of Different Thinning Methods on Dominance Coefficients of Future Crop Trees in Even-Aged Scots Pine Stands. *Lešne Prace Badawcze (Forest Research Papers)*, 2014, vol. 75, iss. 1, pp. 31–45. Available at: <https://content.sciendo.com/view/journals/frp/75/1/article-p31.xml> (accessed 09.04.2014). DOI: 10.2478/frp-2014-0004.

Received on February 21, 2018

УДК 582.475

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.23

МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В ОЦЕНКЕ ВИДОСПЕЦИФИЧНОСТИ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА ЕЛЬ (*Picea*)

А.В. Кулькова, асп.

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

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

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, просп. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия, 603107; e-mail: kulkova12@gmail.com

Род ель (*Picea abies* Dietr.) активно используется в городском озеленении, ландшафтном строительстве и является одной из главных лесообразующих пород не только в России, но и в мире. Для успешной адаптивной селекции деревьев необходимы научные знания об эколого-физиологическом состоянии каждого вида. В данной работе исследовано 13 видов и форм рода ель в условиях интродукции в Нижегородскую область. Все растения размещены в пределах питецума ботанического сада Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. Изучена специфика видов по содержанию крахмала и жиров, уровню развития ксилемы и степени ее лигнификации с использованием традиционных методов гистохимического анализа. Выполнен статистический, дисперсионный, факторный и кластерный анализы. Обнаружена выраженная неоднородность исследуемого состава представителей рода ель по характеристикам их физиологического статуса. Подтверждена существенность и статистическая достоверность зафиксированных различий. Факторный анализ позволил представить 16 анализируемых характеристик физиологического состояния растений с помощью 4 главных компонент, выступавших независимыми комплексными факторами их дифференциации. Кластерный анализ на основе нормированных значений исходных признаков и с использованием главных компонент дал возможность сгруппировать исследуемые виды по степени их статистической близости в евклидовом пространстве. Дендрограммы, построенные для каждой из указанных алгоритмических схем, имели принципиальное сходство. Близость характеристик экзотов к показателям аборигенного вида *P. abies* определила степень их соответствия экологическому фону района интродукции. Ранжирование рассматриваемых видов по степени их отдаленности от ели европейской позволило присвоить каждому из интродуцентов ранг соответствия аборигенным видам.

Ключевые слова: ель, интродукция, адаптация, гистохимия, жиры, крахмал, ксилема, лигнификация, физиологический статус.

Введение

Род ель (*Picea abies* Dietr.) широко распространен на территории Евразии и Северной Америки и объединяет 36 видов, в составе которых выделены многочисленные внутривидовые таксоны. Большое хозяйственное значение обуславливает их активное привлечение в искусственные насаждения различного целевого назначения как в границах своих ареалов, так и за их пределами.

Для цитирования: Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Многопараметрический анализ в оценке видоспецифичности представителей рода ель (*Picea*) // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 23–38. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.23

При этом успех интродукционных мероприятий во многом определяется возможностями адаптации экзотов к существующим условиям среды, в связи с этим биологические механизмы, обеспечивающие их резистентность, вызывают повышенный интерес специалистов. Детализация характеристик различных видов, входящих в таксономическую систему рода ель, традиционно выступает предметом многоплановых лесоводственных, экологических и ботанических исследований, сохраняя свою актуальность на современном этапе [4, 5, 7, 8, 12, 13, 16, 22].

Цель исследований – разработать эффективный алгоритм комплексного анализа и с его помощью установить видоспецифичность представителей рода ель по показателям их физиологического статуса.

Предметом исследований выступала специфика видов рода ель по содержанию крахмала и жиров, уровню развития ксилемы и степени ее лигнификации.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования стал пицетум ботанического сада Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. В его составе 13 видов и форм рода ель, различающихся своими ареалами: ель Глена (*Picea glehnii* (F. Schmidt) Mast.); ель канадская (*Picea glauca* (Moench) Voss); ель шероховатая (*Picea asperata* Masters); ель черная (*Picea mariana* Mill., Britton, Sterns & Poggenburg); ель колючая форма серебристая (*Picea pungens* Engelm. f. *argentea*); ель колючая форма голубая (*Picea pungens* Engelm. f. *glauca*); ель сербская (*Picea omorika* (Pančić) Purk.); ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) H. Karst.); ель Энгельмана (*Picea engelmannii* Parry ex Engelm.); ель колючая (*Picea pungens* Engelm.); ель аянская (*Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière); ель корейская (*Picea koraiensis* Nakai); ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.). В схеме опыта они представлены от 1 до 4 деревьев в соответствии с их сохранностью и онтогенетической однотипностью.

Методологический подход к организации работы предусматривал соблюдение принципов единственного логического различия, надежности, пригодности и целесообразности опыта. Рандомизированное размещение образцов на участке позволило реализовать принципы случайности, равномерности и повторности учетных единиц для каждого вида. Исследования проведены полевым стационарным и лабораторными методами с привлечением широко используемых схем формирования выборок [6, 10]. Элиминация дифференцирующего влияния среды достигалась сравнением объектов и образцов только в пределах одного опытного участка с едиными схемами размещения, одинаковой агротехникой создания и выращивания, однотипным посадочным материалом при прочих равных условиях произрастания. Это исключило целенаправленное предоставление какому-либо из потомств исследуемых видов преимуществ в обеспечении основными жизненными ресурсами. С каждого из них заготовлено по 5 нормально развитых однолетних побегов, которые равномерно размещались на периферии среднего яруса хорошо освещенного участка кроны. Всего отобрано 145 образцов. Исключение влияния фактора времени, вызывающего хронографическую изменчивость, обеспечивалось одновременным отбором образцов, одновременными наблюдениями и учетами показателей, сравнением только одновозрастных деревьев, их побегов и других частей.

При постановке задач проводимых исследований исходили из того, что на первом этапе необходимо выстроить методическую схему комплексной сравнительной оценки рассматриваемых видов в составе рода ель. В качестве тестируемого блока характеристик был выбран комплекс признаков биологического состояния растений, определяющих их адаптацию к сложившимся экологическим и резистентность к лимитирующим факторам внешней среды. В качестве средства изучения объектов применен гистохимический метод анализа, который достаточно активно привлекается для этих целей у нас в стране [1, 3, 4] и за рубежом [15, 18]. Используются как признаки непосредственного учета, так и производные от них показатели, наиболее информативно описывающие биологическое состояние изучаемых растений.

Первичной единицей выборки выступали временные препараты поперечных срезов из средней части годичного прироста, которые после окрашивания анализировали под микроскопом «Микмед-2». Контроль – срезы, не подвергавшиеся воздействию тестирующих реагентов [3, 4]. Содержание крахмала и жиров в клетках оценивали дифференцировано по следующим учетным зонам каждой ткани: сердцевина, сердцевинные лучи, перимедуллярная зона ксилемы, ранняя и поздняя ксилемы, смоляные ходы ранней, поздней ксилемы и флоэмы, прикамбиальная зона флоэмы, прифеллогенная зона флоэмы, средняя зона флоэмы, корковая зона (зона паренхимных клеток, лежащая на периферии побега между феллогеном и внешней границей побега). Оценку давали по каждой зоне тканей отдельно, в сумме баллов по всем зонам и в средних значениях балльных оценок для зоны, по каждому учетному дереву и виду вычисляли средние значения.

Присутствие крахмала в тканях побегов связывают с устойчивостью растений к неблагоприятным зимним условиям [14, 21]. Крахмал выявляли цветной реакцией на раствор Люголя [11]. Оценку его содержания давали в условных баллах по предложенной нами [3, 4] 6-балльной шкале: 0 – крахмал отсутствует полностью: не удастся обнаружить ни одного крахмального зерна ни в одной клетке учетной зоны ткани; 1 – крахмал в ограниченном количестве присутствует в единичных (до 10 %) клетках учитываемой ткани; 2 – крахмал присутствует в меньшем числе клеток: окрашенные крахмальные зерна удастся зафиксировать примерно в 20...30 % клеток; 3 – крахмал фиксируется примерно в половине всех учитываемых клеток ткани (40...60 %); 4 – крахмал отмечается в большей части клеток (70...90 %); 5 – крахмал в большом количестве присутствует во всех клетках (100 %) учитываемой ткани.

Присутствие жиров и жироподобных веществ в тканях растений во многом предопределяет их резистентность к воздействию низких температур, обеспечивает сбалансированность многих процессов жизнедеятельности растительных организмов. Жиры фиксировали реакцией на Судан-III [11]. Их содержание также учитывали в условных баллах [3]: 0 – окрашивание отсутствует на всей площади поперечного среза, различий в состоянии окрашенного и контрольного срезов не обнаруживается; 1 – бледно-розовое окрашивание незначительной части учетной ткани или учетной зоны на поперечном срезе, наблюдается фрагментарное окрашивание поперечного среза (реакция на Судан-III у отдельных тканей или у некоторой их части); 2 – бледно-розовое окрашивание учетной ткани или учетной зоны полностью (вся визируемая поверхность среза приобретает слабо выраженные признаки реакции на Судан-III); 3 – интенсивное красно-оранжевое окрашивание части учетной

ткани или учетной зоны (часть учетной зоны имеет интенсивное окрашивание); 4 – полное интенсивное окрашивание учетной ткани или учетной зоны (вся учетная зона имеет полное интенсивное окрашивание); 5 – на фоне интенсивного окрашивания учетной зоны наблюдается присутствие жира в капельно-жидком состоянии (ярко окрашенные капли жира отчетливо заметны в части или во всех учетных зонах).

Признаки содержания указанных веществ и соотношения между ними:

- 1 – содержание крахмала в учитываемых тканях;
- 2 – содержание жиров в учитываемых тканях;
- 3 – отношение содержания крахмала к содержанию жиров;
- 4 – суммарное содержание крахмала и жиров в учитываемых тканях;
- 5 – доля содержания крахмала;
- 6 – доля содержания жиров.

Состояние и темпы развития ксилемы древесных растений, процессы образования и лигнификации ее клеток, соотношение между формируемыми при этом ранней и поздней древесиной, а также их наследственная обусловленность выступают предметом разностороннего изучения [17, 19]. Одревеснение клеток ксилемы оценивали с помощью качественной реакции лигнина на флороглюцин [11].

Для интегральной оценки состояния ксилемы учитывали показатели, которым были присвоены следующие номера:

7 – общее количество рядов клеток ксилемы, сформировавшейся на момент учета;

8 – количество рядов полностью одревесневших клеток ранней ксилемы;

9 – количество рядов абсолютно не одревесневших клеток ксилемы;

10 – количество рядов частично одревесневших клеток ксилемы;

11 – общая глубина одревеснения ксилемы с учетом коэффициента балльной оценки уровня лигнификации, определяемая как сумма произведений числа рядов клеток учетной зоны на балл ее лигнификации (оценка 0–5 баллов), отнесенных к максимальной балльной оценке (5 баллов), выражалась в скорректированном на степень лигнификации числе рядов клеток ксилемы;

12 – абсолютный процент одревеснения клеток ксилемы, определяемый как процентная доля одревесневших в той или иной степени клеток относительно общего числа клеток ксилемы;

13 – относительный процент одревеснения клеток ксилемы, определяемый как процентная доля полностью одревесневших клеток и скорректированный на степень лигнификации числа рядов клеток ксилемы относительно общего числа клеток ксилемы;

14 – общая сумма рядов полностью одревесневших клеток ксилемы (оценка 5 баллов);

15 – отношение числа полностью одревесневших клеток к сумме не одревесневших и частично одревесневших клеток;

16 – отношение числа полностью одревесневших клеток ксилемы к числу частично одревесневших.

В качестве основного организационного принципа рассматривали комплексность сравнительных оценок исследуемых видов, в силу чего были привлечены методы многопараметрического анализа результатов первичной статистической обработки фактических данных. В соответствии с этим обязательным

условием было наличие у каждого из анализируемых объектов одинакового набора показателей. Образцы, не имевшие (по той или иной причине) хотя бы одного, исключали из схемы опыта. При этом принимали во внимание существующие представления о таксономической значимости каждого из признаков и то, что достаточные сведения об их относительном «весе» и идентификационной таксономической значимости отсутствуют. В соответствии с этим в основу расчетов положен принцип информативной равноценности всех используемых в анализе признаков. Все признаки, привлеченные для определения таксономической близости, рассматривали как идентификационные и имеющие равную значимость. При этом каждый многомерный объект (учетное дерево) описывали однозначными оценками учитываемых параметров, каждая из которых имела отношение только к данному учетному дереву. Весовые коэффициенты переменных не вводили исходя из представлений об идентификационной равноценности признаков. Поправки на неравномерность комплексов не применяли в силу одинаковой численности первоначальных учетов значений каждого параметра у всех многомерных объектов.

Обобщенное статистическое расстояние в евклидовом пространстве [10] позволяет выявить дивергенцию и генотипические различия растений по комплексу признаков, исключая фоновую изменчивость, индуцированную окружающей средой [20]. Наиболее эффективным средством решения подобных задач выступают факторный и кластерный анализы [2, 22].

Известно [10, 20], что результаты группировки в кластеры зависят от метода агломерации, выбора признаков и их количества. Признаки должны слабо коррелировать, а их число может быть достаточно большим [10, 20]. Для построения дендрограмм применяли центроидный парно-групповой метод, или восходящую иерархическую процедуру классификации, адекватную методу ближнего соседа [10]. Принципом формирования числовых массивов являлось то, что относительно каждого из признаков существовала возможность вычисления оценок корреляции и ковариации со всеми остальными признаками объектов в многомерном комплексе сравнения. Вычисление на этих условиях обобщенных расстояний между объектами в многомерном пространстве признаков позволяет дать для комплекса анализируемых объектов сопоставимые оценки того, насколько близко находятся объекты друг к другу или наоборот.

На первом этапе комплексных сравнений был применен метод главных компонент [10, 20]. Факторный анализ главных компонент позволил представить многочисленные характеристики анализируемых видов или редуцированным числом сформированных из них обобщающих показателей. В главную компоненту объединены признаки, корреляции между которыми выражены в наибольшей степени. При этом предусмотрено логическое обоснование их отнесения к той или иной компоненте. Между сформированными в таком порядке комплексными факторами корреляция минимальна. В реализованной схеме определено использование тех эффективных независимых факторов (главных компонент), начальные собственные значения которых превышают 1. Доля общей дисперсии, обусловленная их действием, должна быть не менее 70 %. Для нахождения однозначного решения применен метод ортогонального вращения, или метод варимакса. Полученные главные компоненты использованы в кластерном анализе и при построении дендрограмм [10].

Таблица 1

Матрица значений содержания крахмала, жиров и состояния ксилемы у различных видов ели

№ признака	<i>P. glehnii</i>	<i>P. glauca</i>	<i>P. asperata</i>	<i>P. mariana</i>	<i>P. pungens f. argentea</i>	<i>P. pungens f. glauca</i>	<i>P. omorika</i>	<i>P. abies</i>	<i>P. engelmannii</i>	<i>P. pungens</i>	<i>P. jezoensis</i>	<i>P. koraiensis</i>	<i>P. obovata</i>
1	7,55	9,53	9,00	7,00	7,90	9,20	8,60	8,40	8,47	9,28	9,10	7,80	9,20
2	14,00	11,40	10,60	11,20	11,10	10,70	10,70	9,90	10,70	11,00	11,70	11,60	11,0
3	1,86	1,20	1,18	1,60	1,41	1,17	1,25	1,18	1,28	1,19	1,29	1,55	1,21
4	21,60	21,00	19,60	18,20	19,00	19,90	19,30	18,30	19,20	20,30	20,80	19,40	20,20
5	0,35	0,46	0,46	0,38	0,42	0,46	0,45	0,46	0,44	0,46	0,44	0,40	0,46
6	0,65	0,54	0,54	0,62	0,58	0,54	0,55	0,54	0,56	0,54	0,56	0,60	0,54
7	15,80	16,80	13,40	17,20	14,60	22,60	17,80	13,25	13,20	14,45	15,40	13,60	12,60
8	7,30	6,73	5,10	7,80	7,00	9,20	9,60	5,70	5,93	6,45	6,60	6,10	6,40
9	3,10	3,13	2,90	2,60	2,60	3,80	2,60	2,05	2,40	2,45	2,20	2,30	2,60
10	5,40	6,93	5,40	6,80	5,00	9,60	5,60	5,50	4,87	5,55	6,60	5,20	3,60
11	4,00	5,19	4,14	5,04	3,76	6,56	4,48	4,31	3,87	4,20	4,99	4,04	2,88
12	80,20	80,80	77,90	84,50	82,10	83,20	84,70	84,2	81,10	83,00	85,50	82,70	78,70
13	71,50	70,60	68,80	74,20	73,80	69,70	78,30	75,00	73,60	73,80	75,10	74,30	72,70
14	7,30	6,73	5,10	7,80	7,00	9,20	9,60	6,15	6,13	6,45	6,60	6,10	6,40
15	0,89	0,70	0,64	0,82	0,94	0,69	1,18	0,77	0,84	0,84	0,77	0,82	1,03
16	1,47	1,06	1,03	1,13	1,52	0,99	1,69	1,08	1,28	1,21	1,04	1,21	1,94

Примечание. Нумерация признаков дана по ранее принятой (см. стр. 26).

Статистический, дисперсионный, факторный и кластерный анализы вели в электронных таблицах Microsoft Excel, а также с помощью пакета прикладных программ SPSS по общепринятым методикам [6, 10]. Использовали собственные рабочие алгоритмы и схемы, апробированные на аналогичных объектах [1, 2]. Оценку уровней изменчивости показателей давали по шкале С.А. Мамаева [9].

Результаты исследования и их обсуждение

В процессе первичного статистического анализа была сформирована матрица исходных средних значений анализируемых признаков (табл. 1), в которую были внесены величины, сохранившие свою статистическую надежность (t-критерии Стьюдента превысили табличный уровень) и точность (величина относительной ошибки не превысила допустимые 5 %).

Дисперсионный анализ подтвердил наличие существенных различий между сравниваемыми видами и формами ели по всем анализируемым признакам (табл. 2).

В исследуемом комплексе сравниваемых объектов между ними установлены существенные различия по всем анализируемым характеристикам: опытные значения критерия Фишера превосходят допустимые табличные значения.

Таблица 2

Существенность физиологических различий между различными видами ели

Признак	Критерий Фишера		Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_h^2$)				Критерий различия	
			по Плохинскому		по Снедекору			
	$F_{оп}$	F_{05}	h^2	$\pm s_h^2$	h^2	$\pm s_h^2$	HCP_{05}	D_{05}
1	8,05	1,83	0,4225	0,0525	0,3929	0,0552	0,697	1,195
2	14,40	1,83	0,5669	0,0394	0,5516	0,0408	0,741	1,270
3	15,03	1,83	0,5774	0,0384	0,5630	0,0397	0,145	0,249
4	8,27	1,83	0,4293	0,0519	0,4004	0,0545	1,033	1,771
5	13,23	1,83	0,5459	0,0413	0,5289	0,0428	0,025	0,043
6	13,23	1,83	0,5459	0,0413	0,5289	0,0428	0,025	0,043
7	7,12	1,83	0,3928	0,0552	0,3596	0,0582	2,250	3,856
8	3,86	1,83	0,2596	0,0673	0,2078	0,0720	1,477	2,531
9	6,18	1,83	0,3598	0,0582	0,3224	0,0616	0,501	0,858
10	5,23	1,83	0,3221	0,0616	0,2796	0,0655	1,354	2,321
11	3,99	1,83	0,2662	0,0667	0,2155	0,0713	0,981	1,681
12	3,01	1,83	0,2150	0,0714	0,1560	0,0767	3,739	6,409
13	2,73	1,83	0,1987	0,0728	0,1369	0,0785	3,866	6,627
14	3,03	1,83	0,2160	0,0713	0,1571	0,0766	1,572	2,694
15	2,44	1,83	0,1814	0,0744	0,1166	0,0803	0,205	0,352
16	3,52	1,83	0,2422	0,0689	0,1876	0,0739	0,344	0,589

Примечание. $F_{оп}$ – опытное значение критерия Фишера; F_{05} – табличное значение критерия Фишера на 5-процентном уровне значимости; h^2 – доля влияния организованного фактора; $\pm s_h^2$ – ошибка доли влияния организованного фактора; HCP_{05} – наименьшая существенная разность на 5-процентном уровне значимости; D_{05} – критерий Тьюки на 5-процентном уровне значимости.

Однако эффективность влияния межвидовых различий оказалась неодинаковой по разным признакам. В оценках по алгоритму Плохинского наибольшая величина ($57,74 \pm 3,84$ %) зафиксирована по суммарному содержанию крахмала и жиров в тканях побегов (табл. 2). Достаточно сильно влияние различий по содержанию жиров ($56,69 \pm 3,94$ %), доле крахмала и доле жиров (по $54,59 \pm 4,13$ %), содержанию крахмала ($42,25 \pm 5,25$ %). Оценки состояния ксилемы оказались заметно меньше: от $18,14 \pm 7,44$ % (отношение числа слоев полностью одревесневших клеток ксилемы к числу ее частично одревесневших и не одревесневших клеток) до $39,28 \pm 5,52$ % (общее число клеток ксилемы). Реализация расчетного алгоритма Снедекора дала весьма близкие значения при некотором снижении результатов. Критерии существенности различий (наименьшая существенная разность и D-критерий Тьюки) позволяют установить, между какими именно объектами (см. табл. 1) различия достигают уровня существенных. Статистическая достоверность полученных значений и подтвержденная существенность различий между сравниваемыми видами и их формами дали возможность использовать многомерный анализ. Группировка общего комплекса характеристик физиологического статуса сравниваемых видов ели привела к извлечению 4 главных компонент.

На рис. 1 отражен порядок графического выделения наиболее значимых комплексных факторов. Критерием служила величина их начальных собственных значений: у главных компонент она превышает «единичный порог». В соответствии с этим условием надежное распределение всех исходных признаков по ним ограничено 4 главными компонентами. Отчетливо заметно, что

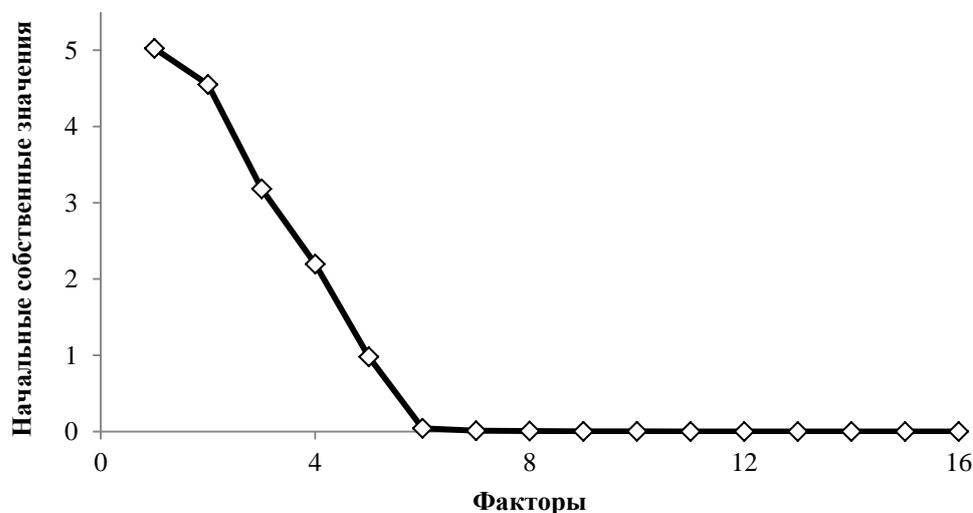


Рис. 1. Выделение главных компонент в комплексе 16 признаков физиологического состояния деревьев различных видов ели

Fig. 1. Selection of the principal components in the complex of 16 physiological state parameters of various spruce species trees

отсечение так называемого «гравия», или компонент, которые признаются малозначимыми, произошло вполне удовлетворительно. Все они (за исключением 5-й компоненты) характеризуются приблизительно одинаковыми величинами начальных собственных значений, близкими к нулю. Распределение анализируемых признаков по 4 главным компонентам представлено в табл. 3.

Таблица 3

Матрица главных компонент комплекса различных видов ели

Признак	Компонента			
	1	2	3	4
1	–	–0,851	–	–
2	–	0,785	–	–
3	–	0,995	–	–
4	–	–	–	0,793
5	–	–0,996	–	–
6	–	0,996	–	–
7	0,969	–	–	–
8	0,941	–	–	–
9	–	–	–	0,687
10	0,787	–	–	–
11	0,781	–	–	–
12	–	–	–	–0,760
13	–	–	–	–0,773
14	0,939	–	–	–
15	–	–	0,962	–
16	–	–	0,964	–
Начальные собственные значения компонент	5,025	4,551	3,181	2,195
Доля дисперсии главных компонент, %	31,408	28,441	19,883	13,722
Общая доля дисперсии главных компонент, %			93,454	

К первой компоненте причислены основные оценки интенсивности развития и степени лигнификации ксилемы. Вторая компонента объединила оценки содержания крахмала, жиров, их отношение и доли содержания, но не включает в себя характеристики состояния ксилемы. Третья компонента представлена двумя косвенными признаками одревеснения (отношением числа полностью одревесневших клеток к сумме не одревесневших и частично одревесневших клеток (признак 15) и отношением числа полностью одревесневших клеток к числу частично одревесневших (признак 16)) и двумя отношениями числа полностью одревесневших клеток к сумме не одревесневших и частично одревесневших клеток и к числу частично одревесневших клеток. В состав четвертой компоненты вошло суммарное содержание крахмала и жиров, количество абсолютно не одревесневших клеток, абсолютный и относительный процент одревеснения.

Заметно, что нагрузки фактора по каждой из полученных в таком порядке группировок уверенно превышают принятый минимум начальных собственных значений, равный 1. Обоснованность достигнутой редукции числа действующих факторов подтверждена большой долей общей дисперсии, приходящейся на полученные в ходе факторного анализа 4 главные компоненты (93,454 %), которая заметно больше критического 70-процентного порога. Они сформировали отдельный блок многомерных характеристик сравниваемых объектов, представленных нормированными величинами, и послужили основой проведения кластерного анализа, последовательные шаги реализации которого представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Схема кластеризации 13 видов ели по нормированным значениям
16 физиологических признаков с использованием квадрата евклидова расстояния**

Этап	Шаги агломерации		Коэффициенты		Этапы появления первого кластера		Следующий этап
	Кластеры		Дистанция примыкания	Единицы масштаба	1	2	
	1	2					
1	9	10	4,450	1,92	0	0	3
2	5	12	4,941	2,13	0	0	5
3	8	9	7,392	3,19	0	1	4
4	8	11	10,915	4,70	3	0	5
5	5	8	12,339	5,32	2	4	7
6	2	3	13,107	5,65	0	0	7
7	2	5	20,876	9,00	6	5	8
8	2	13	24,629	10,61	7	0	9
9	2	4	30,687	13,22	8	0	10
10	2	7	36,955	15,92	9	0	11
11	1	2	48,889	21,07	0	10	12
12	1	6	58,018	25,00	11	0	0

В табл. 4 отражена последовательность этапов объединения плюсовых деревьев в кластеры, соответствующая этому величина квадрата евклидовой дистанции и адекватное ей значение расстояния, выраженное в масштабных единицах 25-разрядной шкалы, принятой для графического представления дендрограмм (рис. 2).

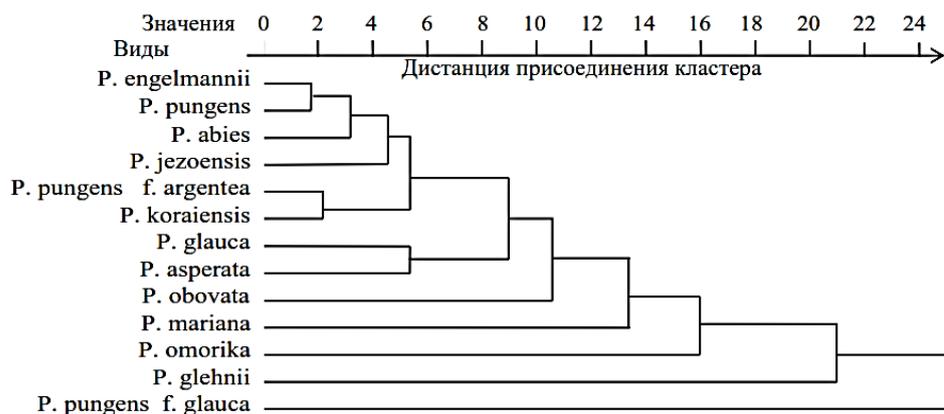


Рис. 2. Дендрограмма сходства 13 видов ели по нормированным значениям 16 исходных признаков физиологического состояния

Fig. 2. Dendrogram of similarities of 13 spruce species according to reated values of 16 initial characteristics of physiological state

Дендрограмма сходства по нормированным значениям 16 исходных признаков объединила исследуемые виды ели в кластеры в соответствии с проявлениями их сезонного физиологического состояния. Наиболее близкими между собой по указанному комплексу характеристик с минимальным расстоянием 1,92 ед. на 25-разрядной шкале оказались виды североамериканского происхождения: *P. engelmannii* и *P. pungens*. В наибольшей мере отличаются от остальных *P. glehnii* и *P. pungens f. glauca*: дистанции их вхождения в единую иерархическую систему соответственно составили 21,07 и 25,00 ед. Ее ядром можно признать хорошо оформленный кластер из 6 видов ели: *P. engelmannii*, *P. pungens*, *P. abies*, *P. jezoensis*, *P. pungens f. argentea*, *P. koraiensis*. Остальные последовательно присоединяются к нему, либо образовав пару как *P. glauca* и *P. asperata*, либо – в индивидуальном порядке.

Проведение кластеризации с построением дендрограмм на основе главных компонент (см. табл. 3) дало сопоставимый в основных чертах результат при некоторых вполне понятных в такой ситуации различиях (табл. 5, рис. 3).

Таблица 5

Схема кластеризации 13 видов ели по 4 главным компонентам 16 физиологических признаков с использованием квадрата евклидова расстояния

Этап	Шаги агломерации		Коэффициенты		Этапы появления первого кластера		Следующий этап
	Кластеры		Дистанция примыкания	Единицы масштаба	1	2	
	1	2					
1	9	10	0,555	1,07	0	0	2
2	9	11	1,103	2,13	1	0	4
3	5	12	1,447	2,80	0	0	4
4	5	9	1,877	3,63	3	2	6
5	2	3	2,380	4,60	0	0	8
6	5	8	3,057	5,91	4	0	7
7	4	5	4,809	9,30	0	6	8
8	2	4	5,942	11,49	5	7	9
9	2	13	9,154	17,70	8	0	10
10	2	7	11,060	21,39	9	0	11
11	2	6	11,881	22,97	10	0	12
12	1	2	12,929	25,00	0	11	0

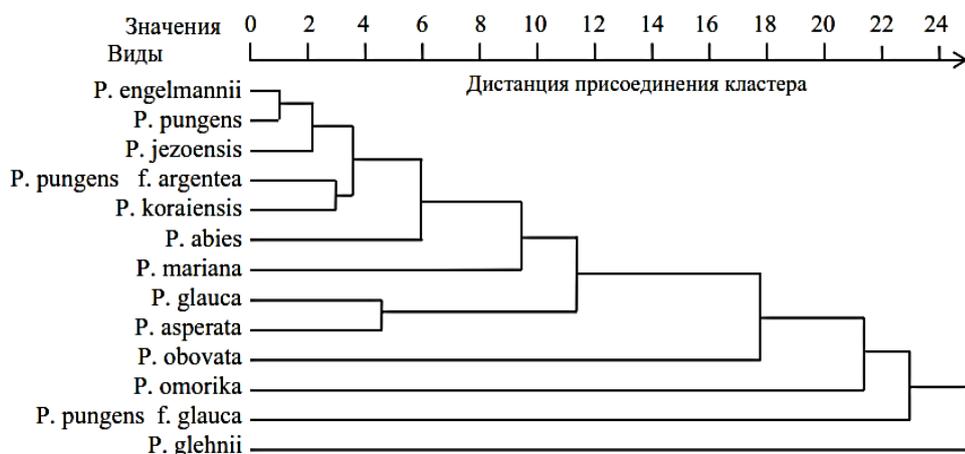


Рис. 3. Дендрограмма сходства 13 видов ели по 4 главным компонентам признаков физиологического состояния

Fig. 3. Dendrogram of similarities of 13 spruce species according to 4 principal components of physiological state characteristics

Как и в первом случае (см. рис. 2), удается обнаружить инициальную группу, к которой поэтапно присоединяются оставшиеся объекты (рис. 3).

Однако в данном варианте решения основная группа представлена 9 видами: *P. engelmannii*, *P. pungens*, *P. jezoensis*, *P. pungens f. argentea*, *P. koraiensis*, *P. abies*, *P. mariana*, *P. glauca*, *P. asperata*.

При некоторых расхождении в порядке группировки на дендрограммах (см. рис. 2, 3) удается заметить устойчиво сохранившиеся агломерации. Не изменила свои позиции при некотором повышении плотности строения (дистанция равна 1,07 ед.) ранее указанная пара: *P. engelmannii* и *P. pungens*. Наиболее специфичные виды *P. glehnii* и *P. pungens f. glauca* остались такими и в варианте с использованием для группировки полученных оценок главных компонент.

Уровень отдаленности анализируемых характеристик экзотов от показателей аборигенного вида *P. abies* определяет степень их соответствия экологическому фону района интродукции и обеспечивает успешность адаптации в новых условиях произрастания. Использование профиля обобщенных расстояний ели европейской для ранжирования рассматриваемых видов по степени их отдаленности от нее в многомерном пространстве признаков позволило присвоить каждому из интродуцентов ранг соответствия аборигенным видам (табл. 6).

При наблюдаемой принципиальной стабильности полученных разным способом результатов заметно, что отдельные виды (*P. pungens* и *P. jezoensis*; *P. obovata* и *P. omorika* и др.) незначительно изменили свой ранг при переходе от кластеризации на основе исходных признаков к выполнению группировки по главным компонентам.

Таблица 6

Ранжирование интродуцентов относительно ели европейской

Нормированные значения 16 признаков			Главные компоненты		
Вид	Дистанция	Ранг	Вид	Дистанция	Ранг
<i>P. abies</i>	0,000	0	<i>P. abies</i>	0,000	0
<i>P. engelmannii</i>	5,986	1	<i>P. engelmannii</i>	2,071	1
<i>P. pungens</i>	8,798	2	<i>P. jezoensis</i>	2,223	2
<i>P. jezoensis</i> ;	14,277	3	<i>P. pungens</i>	3,002	3
<i>P. pungens f. argentea</i>	15,119	4	<i>P. koraiensis</i>	3,704	4
<i>P. koraiensis</i>	15,340	5	<i>P. pungens f. argentea</i>	4,286	5
<i>P. asperata</i>	21,054	6	<i>P. mariana</i>	5,940	6
<i>P. glauca</i>	27,287	7	<i>P. asperata</i>	6,594	7
<i>P. mariana</i>	27,849	8	<i>P. glauca</i>	8,615	8
<i>P. obovata</i>	30,419	9	<i>P. omorika</i>	12,077	9
<i>P. omorika</i>	36,619	10	<i>P. obovata</i>	12,538	10
<i>P. pungens f. glauca</i>	62,895	11	<i>P. pungens f. glauca</i>	14,882	11
<i>P. glehnii</i>	74,978	12	<i>P. glehnii</i>	20,594	12

Заключение

Виды рода ель, введенные в состав интродукционного участка, существенно различаются между собой по наличию крахмала и жиров в тканях однолетних побегов и синхронно учитываемым показателям сезонного состояния их ксилемы. Сведенное к минимуму влияние факторов среды на проявление различий по анализируемым признакам позволило объяснять их наличие только влиянием видовой специфики изучаемых объектов, что подтвердили результаты дисперсионного анализа. Статистическая достоверность полученных характеристик физиологического статуса исследуемых деревьев и существенность различий между ними по всем тестируемым признакам привела к формированию многомерного комплекса характеристик каждого вида. Это обусловило возможность определения степени их близости в многомерном пространстве признаков, адекватно отражающей сходство их биологии. Выявленное сходство экзотов с аборигенными видами того же рода определяет успешность их интродукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Образование и лигнификация ксилемы плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Лесн. журн. 2013. № 2. С. 45–52. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2013.2.45
2. Бессчетнова Н.Н. Генотипическая неидентичность плюсовых деревьев сосны обыкновенной по содержанию крахмала // Изв. Оренбург. ГАУ. 2013. № 4(42). С. 20–23.
3. Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Эффективность отбора плюсовых деревьев: моногр. Н. Новгород: Нижегород. ГСХА, 2016. 464 с.
4. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кулькова А.В., Мишукова И.В. Содержание крахмала в тканях побегов разных видов ели (*Picea* A. Dietr.) в условиях интродукции // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 57–68. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57

5. Бобринев В.П., Пак Л.Н., Банищикова Е.А. Агротехника выращивания сеянцев ели сибирской в Забайкальском крае // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 70–77. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.70
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. Изд. 5-е, доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
7. Зарубина Л.В. Состояние естественного возобновления ели в мелколиственных лесах на севере России // Лесн. журн. 2016. № 3. С. 52–65. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.52
8. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Оценка жизнеспособности ели в березняке черничном в процессе его возрастного развития // Лесн. журн. 2016. № 5. С. 44–60. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.44
9. Мамаев С.А. О проблемах и методах внутривидовой систематики древесных растений. II. Амплитуда изменчивости // Закономерности формообразования и дифференциации вида у древесных растений: тр. Ин-та экологии растений и животных. Вып. 64. Свердловск: РИСО УФАН СССР, 1969. С. 3–38.
10. Никитин К.Е., Швиденко А.З. Методы и техника обработки лесоводственной информации. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 272 с.
11. Прозина Н.М. Ботаническая микротехника: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1960. 205 с.
12. Сунгурова Н.Р., Бабич Н.А., Сунгуров Р.В., Любов В.К., Попов А.Н. Энергетический потенциал культур сосны и ели // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 78–84. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.78
13. Сунгурова Н.Р., Коновалов В.Н. Ассимиляционный аппарат ели в культурах на долгомошной вырубке // Лесн. журн. 2016. № 2. С. 31–40. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.31
14. Brahim M.B., Loustau D., Gaudillère J.P., Saur E. Effects of Phosphate Deficiency on Photosynthesis and Accumulation of Starch and Soluble Sugars in 1-Year-Old Seedlings of Maritime Pine (*Pinus pinaster* Ait) // Annals of Forest Science. 1996. Vol. 53, no. 4. Pp. 801–810. Режим доступа: https://www.afs-journal.org/articles/forest/pdf/1996/04/AFS_0003-4312_1996_53_4_ART0001.pdf (дата обращения: 02.02.2018). DOI: 10.1051/forest:19960401
15. Kramer P.J. The Role of Physiology in Forestry // The Forestry Chronicle. 1956. Vol. 32, iss. 3. Pp. 297–308. DOI: 10.5558/tfc32297-3
16. Larsson E., Sundström J.F., Sibon F., von Arnold S. Expression of *PaNAC01*, a *Picea abies* CUP-SHAPED COTYLEDON Orthologue, Is Regulated by Polar Auxin Transport and Associated with Differentiation of the Shoot Apical Meristem and Formation of Separated Cotyledons // Annals of Botany. 2012. Vol. 110, iss. 4. Pp. 923–934. DOI: 10.1093/aob/mcs151
17. Mayr S., Bertel C., Dämon B., Beikircher B. Static and Dynamic Bending Has Minor Effects on Xylem Hydraulics of Conifer Branches (*Picea abies*, *Pinus sylvestris*) // Plant, Cell & Environment. 2014. Vol. 37, iss. 9. Pp. 2151–2157. Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pce.12307> (дата обращения: 25.07.2014). DOI: 10.1111/pce.12307
18. Myking T., Vakkari P., Skrøppa T. Genetic Variation in Northern Marginal *Taxus baccata* L. Populations. Implications for Conservation // Forestry. 2009. Vol. 82, iss. 5. Pp. 529–539. Режим доступа: <https://academic.oup.com/forestry/article/82/5/529/615826> (дата обращения: 01.12.2009). DOI: 10.1093/forestry/cpp022
19. Scoffoni C. Modelling the Outside-Xylem Hydraulic Conductance: Towards a New Understanding of Leaf Water Relations // Plant, Cell & Environment. 2015. Vol. 38, iss. 1. Pp. 4–6. Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pce.12433> (дата обращения: 22.08.2014). DOI: 10.1111/pce.12433
20. Tausz M., Bytnerowicz A., Arbaugh M.J., Wonisch A., Grill D. Multivariate Patterns of Biochemical Responses of *Pinus ponderosa* Trees at Field Plots in the San Bernardino Mountains, Southern California // Tree Physiology. 2001. Vol. 21, iss. 5. Pp. 329–336.

Режим доступа: <https://academic.oup.com/treephys/article/21/5/329/1650238> (дата обращения: 01.03.2001). DOI: 10.1093/treephys/21.5.329

21. Woodruff D.R., Meinzer F.C. Water Stress, Shoot Growth and Storage of Non-Structural Carbohydrates Along a Tree Height Gradient in a Tall Conifer // *Plant., Cell & Environment*. 2011. Vol. 34, iss. 11. Pp. 1920–1930. Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3040.2011.02388.x> (дата обращения: 01.07.2011). DOI: 10.1111/j.1365-3040.2011.02388.x

22. Zou J., Sun Y., Li L., Wang G., Yue W., Lu Z., Wang Q., Liu J. Population Genetic Evidence for Speciation Pattern and Gene Flow Between *Picea wilsonii*, *P. morrisonicola* and *P. neoveitchii* // *Annals of Botany*. 2013. Vol. 112, iss. 9. Pp. 1829–1844. Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3838563/> (дата обращения: 11.11.2013). DOI: 10.1093/aob/mct241

Поступила 01.02.18

UDC 582.475

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.23

Multivariable Analysis in the Assessment of Spruce Species Specificity (*Picea*)

A.V. Kul'kova, Postgraduate Student

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

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

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, pr. Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation; e-mail: kulkova12@gmail.com

Trees of the genus *Picea abies* Dietr. are widely used in urban greening and landscaping. Spruce is one of the main forest-forming species in Russia and the whole world. Successful adaptive selection of trees requires scientific knowledge about each species ecological and physiological states. In the study we had investigated 13 species and forms of spruce introduced to the conditions of Nizhny Novgorod region. All the plants are placed within piceum of Botanical garden of Lobachevsky State University in Nizhny Novgorod. Spasticity of the species in starch and fats content, level of xylem development and its degree of delignification was studied with the use of traditional methods of histochemical analysis. Statistical, variance, factor and cluster analysis were performed. Visible heterogeneity of the studied composition of spruce species according to parameters of their physiological state was found. Significance and statistical validity of the recorded differences were confirmed. Factor analysis allowed presentation of 16 test parameters of plants physiological state by 4 principal components performed as independent comprehensive factors of their differentiation. Cluster analysis based on rated values of initial characteristics and with the use of principal components allowed grouping of the studied species according to their statistical proximity in Euclidean space. Dendrograms constructed for each of these algorithmic schemes had fundamental similarities. Proximity of the exotic species characteristics to the native species *P. abies* characteristics determined the degree of their compliance with environmental background of the introduction area. Ranking of the considered species according to their remoteness from European spruce allowed assigning to each of the exotic species a rank of compliance of the native species.

Keywords: spruce, introduction, adaptation, histochemistry, fats, starch, xylem, lignification, physiological status.

For citation: Kul'kova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Multivariable Analysis in the Assessment of Spruce Species Specificity (*Picea*). *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 23–38. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.23

REFERENCES

1. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. Obrazovaniye i lignifikatsiya ksilemy plyusovykh derev'yev sosny obyknovennoy [Formation and Lignification of Xylem of Pine Plus Trees]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2013, no. 2, pp. 45–52.
2. Besschetnova N.N. Genotipicheskaya neidentichnost' plyusovykh derev'yev sosny obyknovennoy po sodержaniyu krakhmala [Genotypic Nonidentity of Starch Content in Plus Trees of Scots Pine]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Izvestia Orenburg State Agrarian University], 2013, no. 4(42), pp. 20–23.
3. Besschetnova N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Effektivnost' otbora plyusovykh derev'yev: monogr.* [Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). Efficiency of Plus Trees Selection: Monography]. Nizhny Novgorod, NGSKHA Publ., 2016. 464 p. (In Russ.)
4. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kul'kova A.V., Mishukova I.V. Soderzhaniye krakhmala v tkanyakh pobegov raznykh vidov eli (*Picea* A. Dietr.) v usloviyakh introduktsii [Starch Content in Tissues of Shoots of Different Spruce Species (*Picea* A. Dietr.) under Introduction Conditions]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2017, no. 4, pp. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57
5. Bobrinev V.P., Pak L.N., Banshchikova E.A. Agrotekhnika vyrashchivaniya seyantsev eli sibirskoy v Zabaykal'skom kraye [Agricultural Cultivation of Siberian Spruce Seedlings in Zabaykalsky Krai]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2017, no. 3, pp. 70–77. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.70
6. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy): ucheb.* [Methodology of Field Experiment (with the Basics of Statistical Analysis of Research Results): Textbook]. Moscow, Agropromizdat, 1985. 351 p. (In Russ.)
7. Zarubina L.V. Sostoyaniye estestvennogo vozobnovleniya eli v melkolistvennykh lesakh na severe Rossii [State of Spruce Natural Regeneration in Small-Leaved Forests in the North of Russia]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2016, no. 3, pp. 52–65. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.52
8. Konovalov V.N., Zarubina L.V. Otsenka zhiznesposobnosti eli v bereznyake chernichnom v protsesse ego vozrastnogo razvitiya [Assessment of Viability of Spruce in Bilberry Birch Forest in Its Age Development]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2016, no. 5, pp. 44–60. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.44
9. Mamayev S.A. O problemakh i metodakh vnutrividovoy sistematiki drevesnykh rasteniy. II. Amplituda izmenchivosti [The Problems and Methods of Intraspecific Taxonomy of Wood Plants. II. Amplitude of Variability]. *Zakonomernosti formoobrazovaniya i differentsiatsii vida u drevesnykh rasteniy: trudy In-ta ekologii rasteniy i zhivotnykh. Vyp. 64* [Patterns of Morphogenesis and Differentiation of Wood Plants Species. Proceedings of the Institute of Plants and Animals Ecology. Iss. 64]. Sverdlovsk, RISO UFAN SSSR Publ., 1969, pp. 3–38.
10. Nikitin K.E., Shvidenko A.Z. *Metody i tekhnika obrabotki lesovodstvennoy informatsii* [Methods and Technology of Forestry Information Processing]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 272 p. (In Russ.)
11. Prozina N.M. *Botanicheskaya mikrotekhnika: ucheb. posobiye* [Botanical Microtechnics: Educational Textbook]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1960. 205 p. (In Russ.)
12. Sungurova N.R., Babich N.A., Sungurov R.V., Lyubov V.K., Popov A.N. Energeticheskiy potentsial kul'tur sosny i eli [Energy Potential of Pine and Spruce Crops]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2017, no. 3, pp. 78–84. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.78
13. Sungurova N.R., Konovalov V.N. Assimilyatsionnyy apparat eli v kul'turakh na dolgomoshnoy vyrubke [Spruce Assimilation Apparatus in Plantations at the Polytric Cutting]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2016, no. 2, pp. 31–40. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.31

14. Brahim M.B., Loustau D., Gaudillère J.P., Saur E. Effects of Phosphate Deficiency on Photosynthesis and Accumulation of Starch and Soluble Sugars in 1-Year-Old Seedlings of Maritime Pine (*Pinus pinaster* Ait). *Annals of Forest Science*, 1996, vol. 53, no. 4, pp. 801–810. Available at: https://www.afs-journal.org/articles/forest/pdf/1996/04/AFS_0003-4312_1996_53_4_ART0001.pdf (accessed 02.02.2018). DOI: 10.1051/forest:19960401
15. Kramer P.J. The Role of Physiology in Forestry. *The Forestry Chronicle*, 1956, vol. 32, iss. 3, pp. 297–308. DOI: 10.5558/tfc32297-3
16. Larsson E., Sundström J.F., Sitbon F., von Arnold S. Expression of *PaNAC01*, a *Picea abies* CUP-SHAPED COTYLEDON Orthologue, Is Regulated by Polar Auxin Transport and Associated with Differentiation of the Shoot Apical Meristem and Formation of Separated Cotyledons. *Annals of Botany*, 2012, vol. 110, iss. 4, pp. 923–934. DOI: 10.1093/aob/mcs151
17. Mayr S., Bertel C., Dämon B., Beikircher B. Static and Dynamic Bending Has Minor Effects on Xylem Hydraulics of Conifer Branches (*Picea abies*, *Pinus sylvestris*). *Plant, Cell & Environment*, 2014, vol. 37, iss. 9, pp. 2151–2157. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pce.12307> (accessed 25.07.2014). DOI: 10.1111/pce.12307
18. Myking T., Vakkari P., Skrøppa T. Genetic Variation in Northern Marginal *Taxus baccata* L. Populations. Implications for Conservation. *Forestry*, 2009, vol. 82, iss. 5, pp. 529–539. Available at: <https://academic.oup.com/forestry/article/82/5/529/615826> (accessed 01.12.2009). DOI: 10.1093/forestry/cpp022
19. Scoffoni C. Modelling the Outside-Xylem Hydraulic Conductance: Towards a New Understanding of Leaf Water Relations. *Plant, Cell & Environment*, 2015, vol. 38, iss. 1, pp. 4–6. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pce.12433> (accessed 22.08.2014). DOI: 10.1111/pce.12433
20. Tausz M., Bytnerowicz A., Arbaugh M.J., Wonisch A., Grill D. Multivariate Patterns of Biochemical Responses of *Pinus ponderosa* Trees at Field Plots in the San Bernardino Mountains, Southern California. *Tree Physiology*, 2001, vol. 21, iss. 5, pp. 329–336. Available at: <https://academic.oup.com/treephys/article/21/5/329/1650238> (accessed 01.03.2001). DOI: 10.1093/treephys/21.5.329
21. Woodruff D.R., Meinzer F.C. Water Stress, Shoot Growth and Storage of Non-Structural Carbohydrates Along a Tree Height Gradient in a Tall Conifer. *Plant, Cell & Environment*, 2011, vol. 34, iss. 11, pp. 1920–1930. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3040.2011.02388.x> (accessed 01.07.2011). DOI: 10.1111/j.1365-3040.2011.02388.x
22. Zou J., Sun Y., Li L., Wang G., Yue W., Lu Z., Wang Q., Liu J. Population Genetic Evidence for Speciation Pattern and Gene Flow Between *Picea wilsonii*, *P. morrisonicola* and *P. neoveitchii*. *Annals of Botany*, 2013, vol. 112, iss. 9, pp. 1829–1844. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3838563/> (11.11.2013). DOI: 10.1093/aob/mct241

Received on February 01, 2018

УДК 574.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.39

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ ЛЕСНЫХ УГОДИЙ В ЗАПОВЕДНИКЕ «КИМХИ» РЕСПУБЛИКИ ВЬЕТНАМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ*

В.Ф. Ковязин¹, д-р биол. наук, проф.

Куанг Хи До², зав. каф. лесной зоологии

Хоанг Хиеу Чан³ магистрант

Хонг Хань До⁴, аспирант

¹Санкт-Петербургский горный университет, Васильевский остров, 21-я линия, д. 2, Санкт-Петербург, Россия, 199106; e-mail: vfkedr@mail.ru

²Вьетнамский национальный университет лесного хозяйства, г. Суан Май, район Чьонг Ми, г. Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам; e-mail: dohuufuv@gmail.com

³Данангский университет экономики, ул. Нгу Хань Шон, д. 71, район Нгу Хань Шон, г. Дананг, Социалистическая Республика Вьетнам; e-mail: hoanghieu3010@gmail.com

⁴Санкт-Петербургский лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: dohanh326@gmail.com

Социалистическая Республика Вьетнам расположена в области субэкваториального муссонного климата, но в силу большой протяженности страны с севера на юг ее климатические условия существенно различаются, природа страны богата и разнообразна. Более 80 % территории страны занимают низкие и средневысотные горы, покрытые тропическими лесами, для изучения которых создаются лесные резерваты. Самый большой по площади – природный заповедник «Кимхи», где нами проведены исследования по определению категорий лесных угодий. Для установления площади каждой категории лесных угодий разработана цифровая карта объекта, исходной информацией для ее создания послужили результаты фотограмметрической обработки космических снимков. С использованием современных ГИС-технологий получена база данных лесных угодий заповедника, установлены границы и площади, занятые естественными и искусственными лесами, пустырями, землями сельскохозяйственного назначения, жилой застройкой, водными объектами и др. Общая площадь заповедника составляет 15 416 га, из них 90 % занято лесами. В лесном фонде заповедника преобладают древостои естественного происхождения (90 %), искусственно созданные леса занимают всего 4 %, на пустыри приходится около 6 %, на прочие угодья – менее 1 % от всей площади. Установлено, что леса естественного происхождения резервата «Кимхи» являются первичными, следовательно, нуждаются в сохранении и рациональном управлении.

Ключевые слова: лесные угодья, природный заповедник «Кимхи», сельскохозяйственная коммуна, цифровая карта, ГИС-технологии.

Введение

Социалистическая Республика Вьетнам – государство, расположенное на полуострове Индокитай в Юго-Восточной Азии. Его площадь составляет 331 698 км² [16, 17]. Более 80 % территории страны занимают низкие и средне-

*Статья опубликована в рамках реализации программы развития научных журналов в 2018 г.

Для цитирования: Ковязин В.Ф., До К.Х., Чан Х.Х., До Х.Х. Определение категорий лесных угодий в заповеднике «Кимхи» Республики Вьетнам с применением ГИС-технологий // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 39–47. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.39

высотные горы, покрытые тропическими лесами [7]. Для сохранения и изучения лесов создаются особо охраняемые природные территории (ООПТ) [6]. В республике основным видом ООПТ является лесной резерват – это леса, предназначенные для изучения и сохранения природы и являющиеся государственным стандартом лесных тропических экосистем, их генетическим ресурсом. Во Вьетнаме действует 167 ООПТ. Самый большой по площади – природный заповедник «Кимхи», созданный по решению Народного комитета провинции Баккан (№ 1804/QD-UB от 09.01.2003 г.) [10]. В настоящее время в заповеднике ведутся лесоводственные исследования, направленные на изучение лесных угодий, поскольку часть его земель используется сельскохозяйственными коммунами для ведения сельского хозяйства [12, 13]. Нами в течение 2017–2018 гг. изучены лесные территории, находящиеся в границах заповедника. По результатам исследований с применением ГИС-технологий разработана цифровая карта, определены площади лесных угодий. Результаты исследований переданы администрации заповедника для практического использования.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований является заповедник «Кимхи» (общая площадь 15 416 га), расположенный на северо-востоке Вьетнама, в провинции Баккан. Его насаждения являются типичной лесной экосистемой на карстовом известняке [1, 2] и представлены вечнозелеными широколиственными породами, характерными для лесов горной части Северного Вьетнама [8, 9].

Природный заповедник «Кимхи» окружают и частично входят в его границы земли сельскохозяйственных коммун [19]: Ким-Хи, Ан-Тинь, Ланг-Сан, Луонг-Тхуонг, Као-Шон, Ву-Муон, Кон-Минь, Бах-Тхонг. На севере заповедник граничит с административным районом Нган-Шон. Географические координаты объекта исследования: $220^{\circ}10'40''$... $220^{\circ}18'40''$ с. ш. и $1050^{\circ}54'25''$... $1060^{\circ}08'40''$ в. д. (рис. 1) [20].



Рис. 1. Схема расположения заповедника «Кимхи» и окружающих его коммун на карте Социалистической Республики Вьетнам

Fig. 1. Location chart of the Kim Hy Nature Reserve and the surrounding communes on the map of the Socialist Republic of Vietnam

Большую часть заповедника занимают известняковые горы, принадлежащие горным системам Нган-Шон и Бак-Шон. Средний уклон рельефа местности составляет 20...30°. В горах отмечаются карстовые явления, создающие много пещер и подземных рек. Леса имеют высокую густоту, большое разнообразие видов растений и значительные запасы древесины.

С учетом рельефа местности заповедник разделен на две части.

Территория со скалистыми горами распространена на западе и юго-западе заповедника. Это лесная зона, распределенная по известняковым горам со сложным рельефом местности, множеством высоких вершин со средними высотой 600...700 м и уклоном 25...35°. В этой части заповедника имеется лишь несколько автомобильных дорог, присутствующих в лесу людей немного, т. е. лесная экосистема почти не подвержена антропогенному воздействию.

Относительно равнинная территория находится на севере, востоке и юго-востоке заповедника. Это менее сложная местность, со средней высотой 400...600 м над уровнем моря и уклоном 20...25°. Здесь проживает основная часть сельского населения провинции, имеются автомобильные дороги. Данная часть заповедника обладает высоким потенциалом для развития сельского и лесного хозяйства [21, 22].

Природные условия района исследования изучались по литературным источникам и документам заповедника «Кимхи» [10], использовались паспорта растительности, приведенные в работах [14, 15].

Для определения категорий лесных угодий нами разработана цифровая «Карта лесных угодий» заповедника, которая представляет собой модель объекта исследований. Исходной картографической информацией для ее создания послужили результаты фотограмметрической обработки космических снимков заповедника «Кимхи», загруженные с сайта «earthexplorer.usgs.gov» [11, 18]. Для формирования ГИС-проекта «Карта лесных угодий» использовалась математическая основа географической систем координат, на которой строились кресты сетки координат [3, 4]. На основе исходной картографической информации, предоставленной Институтом инвентаризации и планирования леса (Вьетнам), создавалось растровое изображение плана проекта. Существующую жесткую основу проекта сканировали с помощью планшетного сканера и программы «Fine Reader» преобразовывали. Далее в программе ГИС «MapInfo Professional 15.0» сопоставляли исходную карту и карту дистанционного зондирования, основываясь на границах между таксационными участками леса, представленных в исходной информации, затем переходили на карту дистанционного зондирования [5]. По изображениям местности, полученным с помощью дистанционного зондирования (по растительным индикаторам), и данным полевых исследований создавали базы данных земельных угодий природного заповедника «Кимхи».

Таблица исходных данных представляет собой карту, включающую все объекты ГИС-проекта, и перечень необходимой информации о них (рис. 2). Путем оцифровки растрового изображения создавались объекты карты: границы объекта и угодий, естественный и искусственный леса, пустыри, земли сельскохозяйственного назначения, жилая застройка, водная поверхность и др.

Результаты исследования и их обсуждение

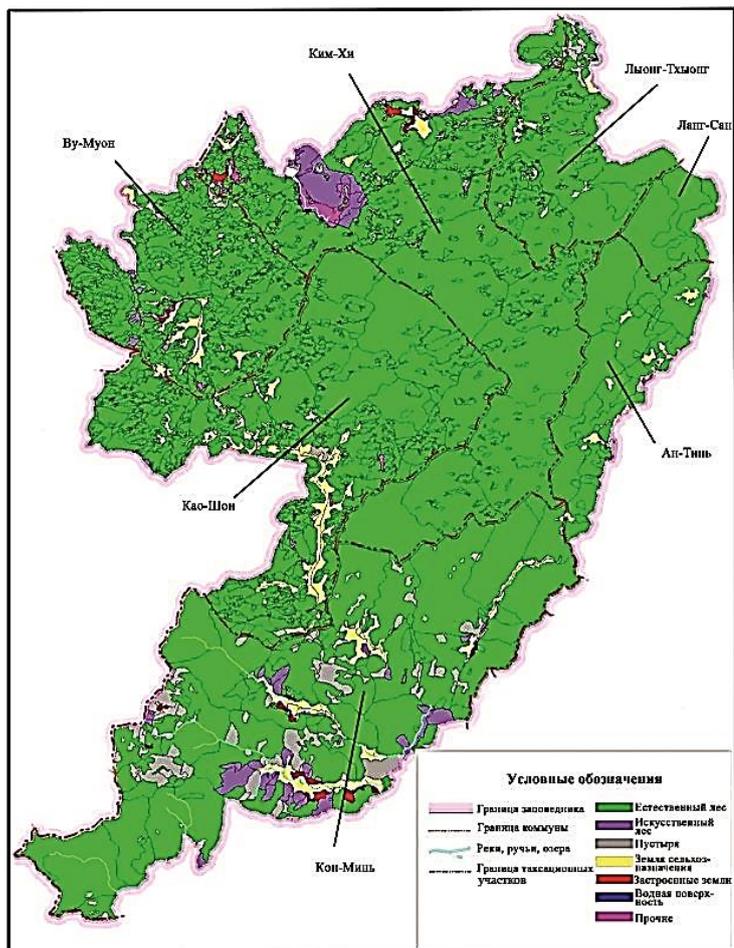
Разработанная нами цифровая карта природного заповедника «Кимхи» со всеми нанесенными на нее слоями приведена на рис. 3.

Huyen	Xa	Sth	LDR	DTBD
Na Ri	Ong Manh	18	PHI	13,38
Na Ri	Kim Hi	6	NG	0,94
Na Ri	Kim Hi	48	TBND	0,00
Na Ri	Kim Hi	24	DT2	0,08
Na Ri	Kim Hi	2	NGND	1,34
Na Ri	Kim Hi	0	ND	0,27
Na Ri	Kim Hi	52	NG	0,00
Na Ri	Kim Hi	54	NG	0,00
Na Ri	Kim Hi	29	NG	0,00
Na Ri	Kim Hi	42	NG	0,68
Na Ri	Kim Hi	58	NG	0,14
Na Ri	Kim Hi	60	NGND	0,83
Na Ri	Kim Hi	64	NGND	0,36
Na Ri	Kim Hi	53	NGND	0,24
Na Ri	Kim Hi	57	NGND	0,18
Na Ri	Kim Hi	67	NGND	0,16
Na Ri	Kim Hi	63	NGND	0,14
Na Ri	Kim Hi	62	NGND	0,14
Na Ri	Kim Hi	66	NGND	0,14
Na Ri	Kim Hi	44	NGND	0,14
Na Ri	Kim Hi	61	NGND	0,11
Na Ri	Kim Hi	29	NGND	0,32
Na Ri	Kim Hi	33	NGND	0,18
Na Ri	Kim Hi	38	NGND	0,15
Na Ri	Kim Hi	80	NGND	3,16
Na Ri	Kim Hi	40	NGND	1,34
Na Ri	Kim Hi	65	NGND	0,63
Na Ri	Kim Hi	55	NGND	0,26
Na Ri	Kim Hi	32	NGND	0,21

Рис. 2. Таблица исходных данных с обозначением номеров столбцов: 1 – провинция; 2 – коммуна; 3 – номер таксационного участка; 4 – условное обозначение земельного участка; 5 – площадь угодья, га

Fig. 2. Initial data table with notation of column numbers: 1 – province; 2 – commune; 3 – number of a taxation plot; 4 – identifier of a land plot; 5 – land area, ha

Рис. 3. Цифровая карта лесных угодий природного заповедника «Кимхи»
Fig. 3. Digital Map of Forest Lands of the Kim Hy Nature Reserve



Категории лесных угодий заповедника «Кимхи»

Категория	Коммуна										Итого	
	Ланг-Сан	Луонг-Тхуонг	Ким-Хи	Ан-Тинь	Кон-Минь	Као-Шон	Ву-Муон					
Земли лесного фонда:	1334,4	1552,6	3238,1	888,4	2620,6	2707,7	1527,9					13869,7
а) лесные земли	8,66	10,07	21,01	5,76	17,00	17,56	9,91					89,97
естественный лес	1193,3	1366,3	3094,2	781,07	2368,0	2654,4	1448,8					12906,1
искусственный лес	7,74	8,86	20,07	5,07	15,36	17,22	9,39					83,71
б) пустыри	1131,7	1307,9	2905,5	777,3	2182,0	2637,9	1371,8					12314,1
Прочие угодья	7,34	8,48	18,85	5,04	14,15	17,11	8,90					79,87
Общая площадь	61,6	58,4	188,8	3,8	186,0	16,5	76,9					592,0
	0,40	0,38	1,22	0,02	1,21	0,11	0,50					3,84
	141,1	186,3	143,9	107,4	252,6	53,3	79,1					963,7
	0,92	1,21	0,94	0,70	1,64	0,34	0,51					6,26
	261,4	183,5	249,2	133,1	287,6	201,3	230,2					1546,3
	1,70	1,19	1,62	0,86	1,86	1,31	1,49					10,03
	1595,8	1736,0	3487,3	1021,6	2908,2	2909,0	1758,0					15416,0
	10,35	11,26	22,62	6,63	18,87	18,87	11,40					100,00

Примечание. В числителе приведены данные в гектарах, в знаменателе – в процентах.

Для удобства отображения составлены следующие комбинации слоев: естественный лес, искусственный лес, пустыри, земля сельхозназначения, жилая застройка, водная поверхность, прочие земли, гидрография, границы заповедника, коммун и лесных таксационных участков.

Результаты исследований площадей различных лесных угодий по цифровой карте заповедника «Кимхи» представлены в виде таблицы.

Как видно из данных таблицы, общая площадь заповедника составляет 15 416 га, из которых земли лесного фонда занимают 13 869,7 га, или 89,97 % от общей его площади. На естественные лесные экосистемы приходится 12 314,1 га, или 79,88 % от общей площади.

Заключение

По результатам исследований можно заключить, что на известковых почвах заповедника «Кимхи» сформировались естественные леса разного породного состава, которые являются в этих горных условиях дикой природой. Леса естественного происхождения относятся к первичным, отвечают требованиям охраны природы и нуждаются в сохранении и рациональном управлении.

Искусственные насаждения формируются редко, поскольку непокрытые лесом земли в заповеднике отсутствуют. Их создают только на землях сельскохозяйственных коммун, после изъятия их у фермеров, так как эти земли входят в границы заповедника «Кимхи».

Горный рельеф местности и отсутствие развитой дорожной сети на территории заповедника позволяют сохранять оптимальное соотношение лесных угодий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ванин А.И.* Определитель деревьев и кустарников: учеб. пособие. М.: Лесн. пром-сть, 1967. 236 с.
2. *Гроздова Н.Б., Некрасов В.И., Глоба-Михайленко Д.А.* Деревья, кустарники и лианы: справ. пособ. М.: Лесн. пром-сть, 1986. 349 с.
3. *Ковязин В.Ф., Вада А.А.* Зонирование земель памятника природы «Комаровский берег» // Экология родного края: Проблемы и пути решения: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (28–29 апреля 2016 г.). Кн. 1. Киров: Радуга-ПРЕСС, 2016. С. 86–89.
4. *Ковязин В.Ф., Мартынов А.Н., Мельников Е.С., Аникин А.С., Минаев В.Н., Беляева Н.В.* Основы лесного хозяйства и таксация леса: учеб. пособие. 3-е изд., испр. и доп. СПб.: Лань, 2012. 432 с.
5. *Ковязин В.Ф., Павлючук К.С.* Разработка базы данных особо охраняемой природной территории «Комаровский берег» // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: материалы X Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (4–5 декабря 2012 г.). Кн. 2. Киров: Вят. гос. гум. ун-т, 2012. С. 102–107.
6. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2011 году / под ред. Голубевой Д.А., Сорокиной Н.Д. СПб.: Сезам-Принт, 2011. 434 с.
7. Danh lục các loài thực vật Việt Nam. Vol. 2. [List of Plant Species of Vietnam. Vol. 2.] / Đại học quốc gia Hà Nội – Trung tâm tài nguyên và môi trường [Vietnam National University Hanoi – Center for Research Resources and the Environment]. Hà Nội: Nhà xuất bản Nông nghiệp Publ., 2001. 139 p. (In Vietnamese)
8. Giới thiệu chung Khu bảo tồn thiên nhiên Kim Hỷ [Kim Hỷ Nature Reserve Introduction] // Internet Portal of the Forest Industry. Режим доступа: <http://kiemlam.backan.gov.vn/portal/kbtkimhy/Pages/2016-3-2/Gioi-thieu-chung-Khu-bao-ton-thien-nhien-Kim-Hy1zh92h.aspx> (дата обращения: 20.10.2017).
9. *Konecny M.* Geograficke informacni systemy [Geographical Information System] // Folia prirodoved. Fak. UJEP, Brne, 1985. Vol. 26, no. 13. 196 p. (In Eng.)
10. *Lê T.R.* Một số đặc điểm cơ bản của hệ thực vật Việt Nam [Some Basic Characteristics of the Flora of Vietnam]. Hà Nội: Khoa học và Kỹ Thuật Publ., 1978. 135 p. (In Vietnamese)
11. *Nguyễn H.Đ.* Thực Vật Chí Việt Nam. Vol. 11 [Flora of Vietnam. Vol. 11]. Khoa Học Kỹ Thuật Publ., 2007. 262 p. (In Vietnamese)
12. *Nguyễn T.B.* Cẩm nang tra cứu và nhận biết các họ thực vật hạt kín (magnoliophyta, angiospermae) ở Việt Nam [Handbook to Reference and Identification of the Families of Angiospermae Plants in Vietnam]. Hà Nội: Nông nghiệp Publ., 1997. 532 p. (In Vietnamese)
13. *Nguyễn T.B.* Danh lục các loài thực vật Việt Nam. Vol. 1 [List of Plant Species in Vietnam. Vol. 1]. Hà Nội: Nông nghiệp Publ., 2003. 633 p. (In Vietnamese)
14. *Phạm H.H.* Cây cỏ Việt Nam. Vol. 1, 2, 3 [Vietnamese Grass. Vol. 1, 2, 3]. Hồ Chí Minh: Tre Publ., 1993. 3600 p. (In Vietnamese)
15. *Phạm H.H.* Cây cỏ có vị thuốc ở Việt Nam [Medicinal Plants Have Medicinal Properties in Vietnam]. Hồ Chí Minh: Tre Publ., 1998. 860 p. (In Vietnamese)
16. Query and Order Satellite Images, Aerial Photographs, and Cartographic Products Through the U.S. Geological Survey // Internet Portal of the Forest Industry. Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 18.10.2017).
17. Sách đỏ Việt Nam. Part 2. Thực vật [Vietnam Red Data Book. Part 2: Botany] / Bộ Khoa học và Công nghệ, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam [Ministry of Science and Technology of Vietnam, Vietnam Academy of Science and Technology]. Hà Nội: Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và công nghệ Publ., 2007. 612 p. (In Vietnamese)

18. Ten cây rừng Việt Nam [Name of Vietnamese Forest Trees] / Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn [Ministry of Agriculture and Rural Development of Vietnam]. Hà Nội: Nông nghiệp Publ., 2000. 460 p. (In Vietnamese)

19. *Trần H.* Cây cảnh, hoa Việt Nam [Ornamental Plants and Flowers in Vietnam]. Hà Nội: Nông nghiệp Publ., 1993. 448 p. (In Vietnamese)

20. *Trần H.* Tài nguyên cây gỗ Việt Nam [Resources of Vietnamese Timber]. Hà Nội: Nông nghiệp Publ., 2002. 767 p. (In Vietnamese)

21. *Võ V.C.* Từ điển cây thuốc Việt Nam [Dictionary of Medicinal Plants of Vietnam]. Hà Nội: Y học Publ., 1997. 1468 p. (In Vietnamese)

22. *Võ V.C., Trần H.* Cây cỏ có ích ở Việt nam. Vol. 1 [Useful Grasses in Vietnam. Vol. 1]. Hồ Chí Minh: Giaoduc Publ., 1999. 815 p. (In Vietnamese)

Поступила 24.08.18

UDC 574.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.39

Determination of Forest Land Categories in the Kim Hy Nature Reserve of the Socialist Republic of Vietnam with the GIS Technologies Application

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

Quang Huy Do², Head of the Department of Forest Zoology

Hoang Hieu Tran³, Master Degree Student

Hong Hanh Do⁴, Postgraduate Student

¹Saint-Petersburg Mining University, Vasil'yevskiy ostrov, 21 liniya, 2, Saint Petersburg, 199106, Russian Federation; e-mail: vfkedr@mail.ru

²Vietnam National University of Forestry, Xuan Mai Town, Chuong My District, Ha Noi, Socialist Republic of Vietnam; dohuyfuv@gmail.com

³University of Economics – The University of Danang, Ngu Hanh Son str., 71, Ngu Hanh Son District, Da Nang, Socialist Republic of Vietnam; e-mail: hoanghieu3010@gmail.com

⁴Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: dohanh326@gmail.com

The Socialist Republic of Vietnam is located in subequatorial monsoon climate region, however, due to the large extent of the country from north to south its climatic conditions vary significantly. The region nature is rich and diverse. More than 80 % of the country's territory is occupied by low and subdued mountains covered with tropical forests. Forest reserves are being created for studying these mountains. The largest in area is the Kim Hy Nature Reserve, where we have done our research for determining the forest land categories. A digital map of an object was developed in order to define the area of each forest land category. The results of photogrammetric plotting of satellite data were the initial information for map's creation. A database of the reserve's forest lands has been created. Reserve's borders and territories occupied by natural and artificial forests, wastelands, agricultural lands, residential buildings, water bodies, etc. have been established. Everything has been done with the use of the modern GIS technologies. The total area of the reserve is 15416 ha, 90 % of which is forests. The forest fund of the reserve is dominated by forest stands of natural origin (90 %), artificial forests occupy only 4 %, wastelands cover 6 %, other lands – 10 %

For citation: Kovyazin V.F., Do Q.H., Tran H.H., Do H.H. Determination of Forest Land Categories in the Kim Hy Nature Reserve of the Socialist Republic of Vietnam with the GIS Technologies Application. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no.6, pp. 39–47. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.39

of the total area. It is defined that natural origin forests of the Kim Hy Nature Reserve are old-growth, therefore, they need conservation and rational management.

Keywords: forest lands, Kim Hy Nature Reserve, agricultural commune, digital map, GIS technologies.

REFERENCES

1. Vanin A.I. *Opredelitel' derev'yev i kustarnikov: ucheb.* [The Identifier of Trees and Shrubs: Educational Textbook]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1967. 236 p. (In Russ.)
2. Grozdova N.B., Nekrasov V.I., Globa-Mikhaylenko D.A. *Derev'ya, kustarniki i liany: sprav. posob.* [Trees, Shrubs and Lianas: A Reference Book]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1986. 349 p. (In Russ.)
3. Kovyazin V.F., Vada A.A. Zonirovaniye zemel' pamyatnika prirody «Komarovskiy bereg» [Lands Zoning of the Komarovskiy Coast Natural Monument]. *Ekologiya rod-nogo kraya: Problemy i puti resheniya: materialov Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem (28–29 aprelya 2016 g.) Kn. 1.* [Proceedings of the All-Russia Sci.-Pract. Conf. with Int. Particip. “Ecology of the Native Land: Problems and Solutions”, April 28–29, 2016. Book 1]. Kirov, Raduga-PRESS Publ., 2016, pp. 86–89.
4. Kovyazin V.F., Martynov A.N., Mel'nikov E.S., Anikin A.S., Minayev V.N., Belyayeva N.V. *Osnovy lesnogo khozyaystva i taksatsiya lesa: ucheb. posobiye* [Basics of Forestry and Forest Valuation: Educational Textbook]. Saint Petersburg, Lan' Publ., 2012. 432 p. (In Russ.)
5. Kovyazin V.F., Pavlyuchuk K.S. Razrabotka bazy dannykh osobo okhranyayemoy prirodnoy territorii «Komarovskiy bereg» [Development of a Database of Specially Protected Natural Area – Komarovskiy Coast]. *Biodiagnostika sostoyaniya prirodnykh i prirodno-tekhnogennykh sistem: materialy X Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem (4–5 dekabrya 2012 g.). Kn. 2.* [Proceedings of the 10th All-Russia Sci. and Pract. Conf. with Int. Particip. “Biodiagnostics of the State of Natural and Natural-anthropogenic Systems”, December 4–5, 2012]. Kirov, VGGU Publ., 2012, pp. 102–107.
6. *Okhrana okruzhayushchey sredy, prirodopol'zovaniye i obespecheniye ekologicheskoy bezopasnosti v Sankt-Peterburge v 2011 godu* [Protection of the Environment, Management of Natural Resources and Environmental Safety in Saint Petersburg in 2011]. Ed. by Golubeva D.A., Sorokina N.D., Saint Petersburg, Sezam-Print Publ., 2011. 434 p. (In Russ.)
7. *Danh luc cac loai thuc vat Viet Nam. Vol. 2.* [List of Plant Species of Vietnam. Vol. 2]. Đại học quốc gia Hà Nội – Trung tâm tài nguyên và môi trường [Vietnam National University Hanoi – Center for Research Resources and the Environment]. Hà Nội, Nhà xuất bản Nông nghiệp Publ., 2001. 139 p. (In Vietnamese)
8. Giới thiệu chung Khu bảo tồn thiên nhiên Kim Hỷ [Kim Hy Nature Reserve Introduction]. *Internet Portal of the Forest Industry.* Available at: <http://kiemlam.backan.gov.vn/portal/kbtkimhy/Pages/2016-3-2/Gioi-thieu-chung-Khu-bao-ton-thien-nhien-Kim-Hy1zh92h.aspx> (accessed 20.10.2017).
9. Konecny M. Geograficke informacni systemy [Geographical Information System]. *Folia prirodoved. Fak. UJEP, Brne, 1985, vol. 26, no. 13.* 196 p. (In Eng.)
10. Lê T.R., *Mot so dac diem co ban cua he thuc vat Viet Nam* [Some Basic Characteristics of the Flora of Vietnam]. Hà Nội, Khoa học và Kỹ Thuật Publ., 1978. 135 p. (In Vietnamese)

11. Nguyễn H.Đ. *Thực Vật Chí Việt Nam*. Vol. 11 [Flora of Vietnam. Vol. 11]. Khoa Học Kỹ Thuật Publ., 2007. 262 p. (In Vietnamese)
12. Nguyễn T.B. *Cẩm nang tra cứu và nhận biết các họ thực vật hạt kín (magnoliophyta, angiospermae) ở Việt Nam* [Handbook to Reference and Identification of the Families of Angiospermae Plants in Vietnam]. Hà Nội, Nông nghiệp Publ., 1997. 532 p. (In Vietnamese)
13. Nguyễn T.B. *Danh lục các loài thực vật Việt Nam*. Vol. 1 [List of Plant Species in Vietnam. Vol. 1]. Hà Nội, Nông nghiệp Publ., 2003. 633 p. (In Vietnamese)
14. Phạm H.H. *Cây cỏ Việt Nam*. Vol. 1, 2, 3 [Vietnamese Grass. Vol. 1, 2, 3]. Hồ Chí Minh, Tre Publ., 1993. 3600 p. (In Vietnamese)
15. Phạm H.H. *Cây cỏ có vị thuốc ở Việt Nam* [Medicinal Plants Have Medicinal Properties in Vietnam]. Hồ Chí Minh, Tre Publ., 1998. 860 p. (In Vietnamese)
16. Query and Order Satellite Images, Aerial Photographs, and Cartographic Products Through the U.S. Geological Survey. *Internet Portal of the Forest Industry*. Available at: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (accessed 18.10.2017).
17. *Sách đỏ Việt Nam*. Part 2: Thực vật [Vietnam Red Data Book. Part 2: Botany]. Bộ Khoa học và Công nghệ, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam [Ministry of Science and Technology of Vietnam, Vietnam Academy of Science and Technology]. Hà Nội, Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và công nghệ Publ., 2007. 612 p. (In Vietnamese)
18. *Tên cây rừng Việt Nam* [Name of Vietnamese Forest Trees]. Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn [Ministry of Agriculture and Rural Development of Vietnam]. Hà Nội, Nông nghiệp Publ., 2000. 460 p. (In Vietnamese)
19. Trần H. *Cây cảnh, hoa Việt Nam* [Ornamental Plants and Flowers in Vietnam]. Hà Nội, Nông nghiệp Publ., 1993. 448 p. (In Vietnamese)
20. Trần H. *Tài nguyên cây gỗ Việt Nam* [Resources of Vietnamese Timber]. Hà Nội, Nông nghiệp Publ., 2002. 767 p. (In Vietnamese)
21. Võ V.C. *Từ điển cây thuốc Việt Nam* [Dictionary of Medicinal Plants of Vietnam]. Hà Nội, Y học Publ., 1997. 1468 p. (In Vietnamese)
22. Võ V.C., Trần H. *Cây cỏ có ích ở Việt Nam*. Vol. 1 [Useful Grasses in Vietnam. Vol. 1]. Hồ Chí Minh, Giaoduc Publ., 1999. 815 p. (In Vietnamese)

Received on August 24, 2018

УДК 630*416.16:630*5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.48

ВЛИЯНИЕ УСЫХАНИЯ НА ТАКСАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОДНОВОЗРАСТНЫХ ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ

Л.А. Иванчина, асп.

С.В. Залесов, д-р с.-х. наук, проф.

Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: ivanchina.ludmila@yandex.ru, zalesov@usfeu.ru

Проанализированы последствия усыхания ели в одновозрастных ельниках зоны хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Пермского края. На основании 10 пробных площадей установлено изменение основных таксационных показателей еловых древостоев. Отмечается, что насаждения наиболее продуктивных типов леса (ельника липнякового, ельника кисличного и ельника зеленомошного) характеризуются относительно высокой производительностью. Так, запас растущих деревьев в ельнике липняковом варьируется от 292 до 685 м³/га, в ельнике кисличном – от 337 до 530 м³/га, в ельнике зеленомошном – от 259 до 606 м³/га. Большинство древостоев пробных площадей имеют высокую относительную полноту при доминировании ели в составе. Среди сопутствующих ей древесных пород в условиях ельника липнякового представлены осина, береза, пихта и липа мелколистная, в условиях ельников кисличного и зеленомошного – осина, береза, пихта и сосна обыкновенная. В результате усыхания произошло снижение относительной полноты, значительно уменьшилась густота древостоев, сократился запас ценной сырорастающей древесины. Изменился породный состав древостоев за счет сокращения доли ели и увеличения доли мягколиственных пород. При этом на всех пробных площадях с насаждениями ельника липнякового доминирование в формулах состава перешло к мягколиственным породам и липе мелколистной, т. е. произошла смена коренных ельников на производные мягколиственные насаждения. Выполненное распределение деревьев, произрастающих на пробных площадях, по категориям санитарного состояния показало, что в насаждениях всех исследуемых типов леса присутствуют деревья IV категории санитарного состояния – усыхающие, что свидетельствует о продолжении процесса усыхания еловых древостоев. Значения показателей среднего диаметра ели после усыхания части деревьев на абсолютном большинстве пробных площадей меньше, чем до начала усыхания, т. е. в первую очередь идет усыхание наиболее крупных деревьев, имеющих диаметр выше среднего. Массовое усыхание еловых древостоев негативно влияет на экономику Пермского края, нанося огромный материальный ущерб.

Ключевые слова: Пермский край, хвойно-широколиственные (смешанные) леса, ельники, усыхание, таксационные показатели, смена пород.

Введение

Нередко смена коренных хвойных насаждений на производные мягколиственные происходит в результате воздействия на них природных и антропогенных факторов [1, 7, 11]. Подобная смена крайне нежелательна, поскольку производные мягколиственные насаждения значительно хуже выполняют экологические функции [2, 7], чаще подвергаются заболеваниям [11], менее

Для цитирования: Иванчина Л.А., Залесов С.В. Влияние усыхания на таксационные показатели одновозрастных еловых древостоев // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 48–56. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.48

долговечны. Причинами указанных смен пород являются сплошнолесосечные рубки, пожары, ветровалы, нерегулируемая пастьба скота, чрезмерные рекреационные нагрузки и др. [4, 7, 11]. В последние десятилетия в нашей стране и за ее пределами наблюдается массовое усыхание еловых древостоев [12–15], что также может привести к нежелательной смене пород. В частности, в научной литературе описаны случаи смены ели на березу после проведения санитарных рубок в усохших ельниках [10].

Случаи массового усыхания характерны и для еловых лесов Пермского края [5]. Однако серьезных комплексных исследований по выявлению последствий усыхания, за редким исключением [6], не проводилось.

Целью исследования явилось установление влияния усыхания деревьев ели на изменение таксационных показателей древостоев.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования служили одновозрастные ельники Очерского и Чайковского лесничеств, расположенных в зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Пермского края [8].

В ходе исследования было заложено 10 пробных площадей (ПП) по общеизвестной апробированной методике [3] осенью 2013 г., до усыхания деревьев ели. В пределах каждой ПП проводился сплошной пересчет деревьев, измерялась высота деревьев, определялся возраст модельных деревьев, устанавливалось санитарное состояние каждого дерева [9]. В зависимости от санитарного состояния деревьям присваивались следующие категории: I – здоровое, II – ослабленное, III – сильно ослабленное, IV – усыхающее, V – свежий сухостой, Va – свежий ветровал, Vb – свежий бурелом, VI – старый сухостой, VIa – старый ветровал, VIb – старый бурелом, VII – аварийное. ПП закладывались в смешанных по составу насаждениях трех типов леса: ельник кисличный (Е. к.), ельник зеленомошный (Е. зм.), ельник липняковый (Е. лп.).

Повторный пересчет деревьев был выполнен на всех ПП во второй половине лета 2017 г., что позволило установить средние таксационные показатели каждого древостоя после усыхания.

Результаты исследования и их обсуждение

Здоровые еловые древостои в зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Пермского края характеризуются высокими таксационными показателями (табл. 1).

Древостои высокопродуктивные (половина ПП имеет I класс бонитета), высокополнотные (половина ПП имеет относительную полноту 1,0), густые и очень густые (половина ПП имеет густоту свыше 1 тыс. шт./га). Участие ели в составе древостоев по запасу составляет: не менее 30 % – в насаждениях липнякового типа леса (ПП 7), 40 % – в насаждениях кисличного типа леса (ПП 13). Максимальная доля ели в составе древостоев отмечена в насаждениях зеленомошного типа леса (от 80 %). Поскольку различия в возрасте у 15 модельных деревьев ели, отобранных на каждой ПП, не превышали продолжительности класса возраста, все древостои признаны одновозрастными. Возраст модельных деревьев устанавливался по кернам, взятым возрастным буровом у шейки корня.

Таблица 1

№ ПП	Состав по элементам леса	Возраст, лет	Средние		Густота, шт./га	Полнота		Класс бонитета	общий	Запас, м ³ /га	
			высота, м	диаметр, см		абсолютная, м ³ /га	относительная			растущего леса	в том числе захламленность
<i>Тип леса – Е. ли.</i>											
3	4Е	21,2	22,2	293	11,3	0,3	II	220	121	99	
	30с	17,0	15,0	557	9,9	0,3		90	81	9	
	3Б +П	26,9 15,9	30,6 15,6	98 28	7,2 0,5	0,2 0,02		7	85	5	2
<i>Итого</i>											
6	6Е	20,3	—	976	28,9	0,8	II	411	292	119	
	20с	20,7	35,1	432	41,7	1,0		526	393	133	
	1Б 1Лп +П	16,5 21,2 11,5	19,5 32,4 12,6	474 158 126	14,2 13,0 1,6	0,5 0,1 0,06		149 138 21	123 138 9	26 — 12	
<i>Итого</i>											
7	3Е	18,2	—	1263	75,8	1,0	II	856	685	171	
	6Лп	23,2	26,1	277	14,8	0,3		183	175	8	
	1П +Б	27,4 16,2 22,7	37,6 15,8 28,0	291 413 61	32,2 8,1 3,8	0,7 0,2 0,1		397 85 41	385 64 31	12 21 10	
<i>Итого</i>											
<i>Тип леса – Е. к.</i>											
4	7Е	24,5	22,4	586	23,0	0,5	I	302	283	19	
	2Б	18,9	17,9	267	6,8	0,2		66	61	5	
	10с +П	19,8 23,0	18,4 21,8	121 59	3,2 2,2	0,1 0,1		35 24	29 24	6 —	
<i>Итого</i>											
10	7Е	21,6	—	1033	35,2	0,9	III	428	398	30	
	3П	18,0	27,2	467	27,1	0,8		412	278	134	
	—	17,4	26,6	322	17,9	0,7		186	147	39	
<i>Итого</i>											
13	4Е	21,7	24,6	407	19,3	0,5	I	265	204	61	
	6П +0с	21,1 22,6	23,1 20,6	707 60	29,7 2,0	0,7 0,1		333 23	307 23	26 —	
	—	18,8	—	1173	50,9	1,0		623	536	87	
<i>Итого</i>											
14	6Е	18,3	24,9	397	19,3	0,5	III	245	204	41	
	3С	23,7	36,0	111	11,3	0,3		119	116	3	
	1П	14,8	17,9	85	2,2	0,1		20	18	2	
<i>Итого</i>											
<i>Тип леса – Е. зм.</i>											
11	9Е	21,2	22,1	696	26,6	0,7	I	341	300	41	
	1С	23,9	29,3	68	4,6	0,1		52	52	—	
	—	22,6	—	764	31,2	0,8		393	352	41	
<i>Итого</i>											
12	10Е	21,8	26,2	1038	56,0	1,0	I	644	595	49	
	+С	23,5	32,0	13	1,0	0,02		10	10	—	
	+П	8,5	9,6	75	0,6	0,03		3	1	2	
<i>Итого</i>											
15	8Е	17,9	—	1125	57,7	1,0	I	657	606	51	
	2С	22,8	23,3	398	16,9	0,4		226	194	32	
	—	25,8	29,6	75	5,1	0,1		65	65	—	
<i>Итого</i>											
<i>Итого</i>											

В период с 2014 по 2017 гг. в указанных древостоях произошло усыхание деревьев ели. Данные о распределении запаса деревьев по категориям санитарного состояния, установленные на основании перечета деревьев, выполненного на ПП в 2017 г., показали, что доля старого сухостоя ели в насаждениях ельника липнякового варьирует от 30,0 до 53,3 %, ельника кисличного – от 28,6 до 33,4 %, ельника зеленомошного – от 30,2 до 34,3 % (табл. 2).

Таблица 2

**Распределение деревьев ели (в числителе – м³/га, в знаменателе – %)
по категориям санитарного состояния и запасу после усыхания ели**

№ ПП	Распределение деревьев										Итого
	I	II	III	IV	V	Va	Vb	VI	VIa	VIb	
<i>Тип леса – Е. лп.</i>											
3	<u>19</u> 8,6	<u>8</u> 3,5	<u>13</u> 6,1	–	<u>1</u> 0,5	–	–	<u>80</u> 36,4	<u>7</u> 3,4	<u>91</u> 41,5	<u>220</u> 100
6	<u>13</u> 2,5	<u>55</u> 10,6	<u>0,5</u> 0,1	–	<u>40</u> 8,3	–	–	<u>284</u> 53,3	<u>133</u> 25,2	–	<u>526</u> 100
7	<u>71</u> 38,1	<u>8</u> 6,1	<u>3</u> 1,1	<u>2</u> 0,7	<u>36</u> 19,7	–	–	<u>55</u> 30,0	–	<u>8</u> 4,3	<u>183</u> 100
<i>Тип леса – Е. к.</i>											
4	<u>122</u> 40,5	<u>10</u> 3,2	<u>0,4</u> 0,1	<u>5</u> 1,6	<u>52</u> 17,1	–	–	<u>95</u> 31,4	<u>2</u> 0,6	<u>17</u> 5,5	<u>302</u> 100
13	<u>76</u> 28,5	<u>28</u> 10,5	<u>6</u> 2,2	–	–	<u>6</u> 2,4	–	<u>89</u> 33,4	<u>13</u> 5,0	<u>48</u> 18,0	<u>265</u> 100
14	<u>90</u> 36,8	<u>7</u> 2,9	<u>3</u> 1,2	<u>2</u> 0,7	<u>32</u> 12,9	<u>0,1</u> 0,04	<u>0,4</u> 0,2	<u>70</u> 28,6	<u>12</u> 4,9	<u>29</u> 11,8	<u>245</u> 100
10	<u>67</u> 16,3	<u>22</u> 5,3	<u>0,2</u> 0,05	<u>11</u> 2,7	<u>56</u> 13,6	–	–	<u>122</u> 29,5	<u>67</u> 16,3	<u>67</u> 16,3	<u>412</u> 100
<i>Тип леса – Е. зм.</i>											
11	<u>155</u> 45,5	<u>12</u> 3,4	<u>17</u> 5,0	–	–	–	–	<u>116</u> 34,1	<u>17</u> 5,0	<u>24</u> 7,0	<u>341</u> 100
12	<u>134</u> 20,8	<u>52</u> 8,1	<u>7</u> 1,0	<u>39</u> 6,1	<u>169</u> 26,2	–	–	<u>194</u> 30,2	<u>10</u> 1,5	<u>39</u> 6,1	<u>644</u> 100
15	<u>97</u> 42,8	<u>10</u> 4,6	<u>9</u> 3,9	–	<u>1</u> 0,3	–	–	<u>77</u> 34,3	<u>9</u> 4,2	<u>22</u> 9,9	<u>226</u> 100

Усыхание деревьев ели продолжается, о чем свидетельствует наличие усыхающих деревьев на большинстве ПП. Кроме того, величина текущего отпада (деревья IV, V, Va, Vb категорий санитарного состояния) только на ПП 3, 11 и 15 ниже величины естественного отпада в еловых древостоях аналогичного возраста.

Усыхание деревьев ели обусловило изменение основных таксационных показателей древостоев (табл. 3).

Материалы табл. 1 и 3 подтверждают, что если на момент первого обследования (2013 г.) сухостой в древостоях отсутствовал, то в 2017 г. его запас в насаждениях ельника липнякового варьировал от 86 до 349 м³/га, ельника кисличного – от 104 до 212 м³/га, ельника зеленомошного – от 78 до 363 м³/га. Основное количество деревьев усохло в 2014 и 2015 гг., о чем свидетельствует относительно небольшой запас свежего сухостоя на всех ПП.

У двух древостоев изменился класс бонитета: на ПП 13 снизился с I до II, на ПП 6 – со II до IV. У половины исследуемых древостоев уменьшилась относительная полнота: на ПП 10 – от 1,0 до 0,8; на ПП 11 – от 0,8 до 0,6; на ПП 12 – от 1,0 до 0,7. Значительно снизилась густота: древостои, которые до усыхания ели характеризовались как очень густые, после усыхания деревьев указанной породы можно оценить как густые. Значительно сократился запас ценной еловой древесины.

Таблица 3

№ ПП	Состав по элементам леса	Возраст, лет	Средние		Густота, шт./га	Полнота		Класс бонитета	общий	Запас, м ³ /га		
			диаметр, см	высота, м		абсолютная, м ³ /га	относительная			растущего леса	в том числе сухостой	закладченность
3	2Е	86	23,1	21,8	89	4	0,1	II	220	40	81	
	4Ос		15,1	17,0	545	10	0,4		89	80	–	
	4Б		31,1	26,9	93	7	0,3		95	85	1	
	Итого		12,6	13,0	8	0,1		7	1	4		
6	1Е	71	–	19,7	736	21	0,8	IV	411	206	86	
	4Б		16,1	11,9	158	3	0,1		526	69	324	
	4Ос		30,9	20,9	147	11	0,4		138	116	22	
	1Лп		19,7	16,6	453	14	0,6		149	123	–	
	+П		30,4	21,0	74	5	0,2		22	22	–	
	Итого		12,1	8,2	95	1	–	21	6	3		
7	2Е	86	–	15,7	926	35	1,0	II	856	336	349	
	П		22,7	21,4	192	8	0,2		183	84	91	
	+Б		15,9	16,3	347	7	0,3		85	60	4	
	7Лп		25,9	21,8	52	3	0,1		41	30	1	
			37,6	27,3	291	32	1,0		397	385	12	
	Итого		–	21,7	883	50	1,0	706	559	96		
4	6Е	73	23,0	24,9	267	11	0,3	I	302	137	146	
	П		26,4	24,5	37	2	0,1		24	23	1	
	2Б		18,2	19,1	253	7	0,3		66	60	1	
	10С		19,2	20,2	103	3	0,1		36	28	2	
			Итого		–	22,2	659		23	0,8	428	248
10	5Е	81	23,1	16,2	233	10	0,3	III	412	100	178	
	5П		27,9	17,9	222	13	0,5		186	113	34	
			–	17,1	456	23	0,8		598	213	212	
	3Е		23,8	21,3	227	10	0,3		266	110	89	
	6П		24,9	21,9	507	25	1,0		334	261	47	
	Итого		20,6	22,6	60	2	0,1	23	23	23		
13	4Е	77	–	21,9	793	37	1,0	II	623	394	136	
	5С		22,2	17,3	261	10	0,3		245	102	102	
	10С		35,9	23,8	107	11	0,4		119	114	2	
			17,9	14,7	85	2	0,1		20	18	–	
			Итого		–	18,6	453		23	0,8	384	234
14	8Е	63	21,8	21,0	435	16	0,4	I	341	184	116	
	2С		32,0	24,6	56	5	0,2		52	51	1	
			–	22,8	491	21	0,6		393	235	117	
	10Е		25,2	19,9	438	22	0,6		644	232	363	
	+С		32,0	23,5	13	1	0,04		10	10	–	
	Итого		8,0	9,3	613	0,3	0,7	3	1	–		
15	6Е	76	–	17,6	513	23	0,7	I	657	243	363	
	4С		22,5	22,0	261	10	0,3		226	116	78	
			29,6	25,8	75	5	0,2		65	65	–	
			–	23,9	336	15	0,5		291	181	78	
			Итого		–	–	–		–	–	–	–

У большинства исследуемых древостоев изменился и породный состав: значительно уменьшилась доля ели по запасу: на ПП 6 – на 50 %, на ПП 3, 10, 14, 15 – на 20 %. Следовательно, на многих ПП увеличилась доля менее ценных в хозяйственном отношении пород: на ПП 6 доля осины возросла на 20 %, доля березы – на 30 %; на ПП 10 доля пихты повысилась на 20 %. Во многих древостоях усыхание ели привело к смене коренных хвойных насаждений на производные мягколиственные (ПП 3, 6, 7).

Все перечисленное выше наглядно свидетельствует о негативном влиянии усыхания деревьев ели на таксационные показатели одновозрастных еловых древостоев.

Выводы

1. Здоровые смешанные по составу еловые древостои, произрастающие в зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Пермского края, являются высокопродуктивными и имеют высокие таксационные показатели. Доля участия ели в их составе составляет не менее 30 %.

2. Начиная с 2014 г. наблюдается усыхание деревьев ели в насаждениях ельников липнякового, кисличного и зеленомошного типов леса.

3. Процесс усыхания деревьев ели, по данным перечета 2017 г., продолжается, о чем свидетельствует наличие текущего отпада (деревья IV, V, Va, Vб категорий санитарного состояния) практически на всех ПП.

4. В результате усыхания деревьев ели в насаждениях ельника липнякового наблюдается смена коренных еловых насаждений на производные лиственные. В насаждениях ельника кисличного возрастает доля пихты.

5. Усыхание деревьев ели не только наносит огромный материальный ущерб экономике Пермского края, но и повышает пожарную опасность в лесах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азарёнок В.А., Залесов С.В. Экологизированные рубки леса: учеб. пособие. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. 97 с.

2. Андреев Г.В. Восстановительно-возрастная динамика темнохвойных древостоев на Южном Урале (на примере северной части западного макросклона): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2005. 27 с.

3. Бунькова Н.П., Залесов С.В., Зотеева Е.А., Магасумова А.Г. Основы фитомониторинга: учеб. пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. 89 с.

4. Бурова Н.В., Рай Е.А., Шаврина Е.В. Особенности естественного возобновления в ельниках черничных среднетаежной подзоны после сплошных рубок // Вестн. Помор. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2011. № 1. С. 27–31.

5. Иванчина Л.А. Усыхание еловых древостоев на юге Пермского края // Аграрное образование и наука. 2016. № 3. Режим доступа: aon.urgau.ru/uploads/article/pdf_attachment/304 (дата обращения: 14.11.2016).

6. Иванчина Л.А., Залесов С.В. Влияние примеси лиственных пород в составе древостоев ельника зеленомошного на их устойчивость // Успехи современного естествознания. 2017. № 6. С. 61–66.

7. Луганский Н.А., Залесов С.В., Луганский В.Н. Лесоведение: учеб. пособие. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2010. 432 с.

8. Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации: приказ Минприроды России от 18.08.2014 г. № 367 (ред. от 23.12.2014 г.). Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_169590/ (дата обращения: 02.12.2017).

9. Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах: постановление Правительства Российской Федерации от 20 мая 2017 г. № 607. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=217315&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.9504360948820354#03526505001326006> (дата обращения 23.10.2017).

10. Сарнацкий В.В. Эдафо-фитоценоотические особенности формирования древостоев на вырубках поврежденных и усохших ельников // Тр. БГТУ. 2016. № 1. С. 65–69.

11. Тихонов А.С. Лесоведение: учеб. пособие для студентов вузов. Калуга: Облиздат, 2011. 332 с.

12. Eriksson M., Neuvonen S., Roininen H. Retention of Wind-Felled Trees and the Risk of Consequential Tree Mortality by the European Spruce Bark Beetle *Ips typographus* in Finland // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2007. Vol. 22, iss. 6. Pp. 516–523. DOI: 10.1080/02827580701800466

13. Mülle, J., Bussler H., Gossner M., Rettelbach T., Duelli P. The European Spruce Bark Beetle *Ips typographus* in a National Park: From Pest to Keystone Species // *Biodiversity and Conservation*. 2008. Vol. 17, no. 12. Pp. 2979–3001. DOI: 10.1007/s10531-008-9409-1

14. Negron J.F., Bentz B.J., Fettig C.J., Gillette N., Hansen E.M., Hayes J.L., Kelsey R.G., Lundquist J.E., Lynch A.M., Progar R.A., Seybold S.J. US Forest Service Bark Beetle Research in the Western United States: Looking Toward the Future // *Journal of Forestry*. 2008. Vol. 106. Pp. 325–331.

15. Skuhravý V. Lykožrout smrkový *Ips typographus* L. a jeho calamity. Praha: Agrospoj Publ., 2002. 196 p. (In Czech)

Поступила 06.03.18

UDC 630*416.16:630*5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.48

Influence of Drying out on Forest Valuation Indicators of Even-Aged Spruce Stands

L.A. Ivanchina, Postgraduate Student

S.V. Zalesov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Ural State Forest Engineering University, ul. Sibirsky trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: ivanchina.ludmila@yandex.ru, zalesov@usfeu.ru

Consequences of spruce drying out in even-aged spruce stands of coniferous broad-leaved (mixed) forests of Perm Region was analyzed. Change in main valuation indicators of spruce stands was found based on 10 test areas. Plantations of the most productive forest types (linden spruce, wood sorrel spruce and green-moss spruce stands) are characterized by relatively high productivity. Thus, the stock of growing trees in linden spruce forest ranges from 292 to 685 m³/ha, from 337 to 530 m³/ha in wood sorrel spruce forest and from 259 to 606 m³/ha in green-moss spruce forest. The most part of test areas stands have a high relative forest density with spruce dominance in the composition. Aspen, birch, fir and small-leaved linden are represented among spruce accompanying tree species in linden spruce forests. Aspen, birch, fir and Scots pine are represented in wood sorrel and green-moss spruce forests. As the results of drying out the relative forest density, stand thickness and stock of green growing fine wood have decreased. Species composition of forest stands has changed due to the reduction of spruce proportion and increasing of soft-leaved species proportion. At the same time dominance in compositional formulas has passed to soft-leaved species and small-leaved linden on all test areas with plantations of linden spruce stands, thus, primary spruce forests were replaced by soft-leaved plantings. The fulfilled distribution of trees growing on test areas by the categories of sanitary state showed that dried out trees of the IV category of sanitary state exist in the plantations of all studied types of forest. This testifies that drying out of spruce stands continues. The values of average diameter of

For citation: Ivanchina L.A., Zalesov S.V. Influence of Drying out on Forest Valuation Indicators of Even-Aged Spruce Stands. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 48–56. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.48

spruce after drying out of a part of the trees on absolute majority of test areas are less than before the beginning of drying out, which indicates first and foremost drying out of the largest trees with diameter above average. Large scale drying out of spruce stands has an adverse effect on economy of Perm region causing huge financial loss.

Keywords: Perm region, coniferous broad-leaved (mixed) forests, spruce forests, drying out, valuation indicators, species conversion.

REFERENCES

1. Azarenok V.A., Zalesov S.V. *Ekologizirovannyye rubki lesa: ucheb. posobiye* [Ecological Improvement Thinning: Educational Textbook]. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2015. 97 p. (In Russ.)

2. Andreyev G.V. *Vosstanovitel'no-vozzrastnaya dinamika temnokhvoynykh drevostoyev na Yuzhnom Urale (na primere severnoy chasti zapadnogo makrosklona): avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Restoration Age Dynamics of Dark Coniferous Stands in the Southern Urals (on the Example of the Northern Part of the Western Macroslope): Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Yekaterinburg, 2005. 27 p.

3. Bun'kova N.P., Zalesov S.V., Zoteyeva E.A., Magasumova A.G. *Osnovy fitomonitoringa: ucheb. posobiye* [Basics of Phytomonitoring: Educational Textbook]. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2011. 89 p. (In Russ.)

4. Burova N.V., Ray E.A., Shavrina E.V. *Osobennosti estestvennogo vozobnovleniya v el'nikakh chernichnykh srednetayezhnoy podzony posle sploshnykh rubok* [Features of Natural Regeneration in Bilberry Spruce Forests of the Middle Taiga Subzone After Final Thinning]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) Federal'nogo universiteta. Ser.: Estestvennyye nauki*, 2011, no. 1, pp. 27–31.

5. Ivanchina L.A. *Usykhanie elovykh drevostoyev na yuge Permskogo kraya* [Drying up of Spruce Stands in the South of Perm Region]. *Agrarnoe obrazovanie i nauka*, 2016, no. 3. Available at: aon.urgau.ru/uploads/article/pdf_attachment/304 (accessed 14.11.2016).

6. Ivanchina L.A., Zalesov S.V. *Vliyaniye primesi listvennykh porod v sostave drevostoyev el'nika zelenomoshnogo na ikh ustoychivost'* [Influence of Deciduous Species Infusion in the Composition of Green-Moss Spruce Forest Stands on Their Tolerance]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], 2017, no. 6, pp. 61–66.

7. Luganskiy N.A., Zalesov S.V., Luganskiy V.N. *Lesovedeniye: ucheb. posobiye* [Sylviculture: Educational Textbook]. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2010. 432 p. (In Russ.)

8. *Ob utverzhdenii Perechnya lesorastitel'nykh zon Rossiyskoy Federatsii i Perechnya lesnykh rayonov Rossiyskoy Federatsii: prikaz Minprirody Rossii ot 18.08.2014 g. № 367 (red. ot 23.12.2014 g.)* [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation on August 18, 2014, no. 367 (as amended on December 23, 2014) "On Approval of the List of Forest Plant Zones of the Russian Federation and the List of Forest Regions of the Russian Federation"]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_169590/ (accessed 02.12.2017).

9. *Ob utverzhdenii Pravil sanitarnoy bezopasnosti v lesakh: postanovleniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 20 maya 2017 g. № 607* [Decree of the Government of the Russian Federation on May 20, 2017, No. 607 "On Approval of the Rules of Sanitary Security in Forests"]. Available at: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=217315&fld=134&dst=100000001,0&rnd=0.9504360948820354#03526505001326006> (accessed 23.10.2017).

10. Sarnatskiy V.V. Edafo-fitotsenoticheskiye osobennosti formirovaniya drevos-toyev na vyrubkakh povrezhdennykh i usokhshikh el'nikov [Edapho Phytocenotic Features of Formation of Stands on Salvage Thinning of Spruce Forests]. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 1, pp. 65–69.

11. Tikhonov A.S. *Lesovedeniye: ucheb. posobiye dlya studentov vuzov* [Silviculture: Educational Textbook for University Students]. Kaluga, Oblizdat Publ., 2011. 332 p. (In Russ.)

12. Eriksson M., Neuvonen S., Roininen H. Retention of Wind-Felled Trees and the Risk of Consequential Tree Mortality by the European Spruce Bark Beetle *Ips typographus* in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2007, vol. 22, iss. 6, pp. 516–523. DOI: 10.1080/02827580701800466

13. Müller, J., Bussler, H., Gossner, M., Rettelbach, T., Duelli, P. The European Spruce Bark Beetle *Ips typographus* in a National Park: From Pest to Keystone Species. *Biodiversity and Conservation*, 2008, vol. 17, no. 12, pp. 2979–3001. DOI: 10.1007/s10531-008-9409-1

14. Negron J.F., Bentz B.J., Fettig C.J., Gillette N., Hansen E.M., Hayes J.L., Kelsey R.G., Lundquist J.E., Lynch A.M., Progar R.A., Seybold S.J. US Forest Service Bark Beetle Research in the Western United States: Looking Toward the Future. *Journal of Forestry*, 2008, vol. 106, pp. 325–331.

15. Skuhřavý V. *Lykožrout smřkový Ips typographus L. a jeho calamity*. Praha, Agrospoj Publ., 2002. 196 p. (In Czech)

Received on March 06, 2018

УДК 582.47:581.3:58.036.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.57

АДАПТАЦИЯ МУЖСКОЙ РЕПРОДУКТИВНОЙ СФЕРЫ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА ОБЫКНОВЕННОГО К КЛИМАТУ*

М.В. Сурсо, д-р с.-х. наук, гл. науч. сотр.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова Российской академии наук, наб. Сев. Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: surso@fciactic.ru

Метеоусловия оказывают существенное влияние на феноритмику весеннего развития мужских репродуктивных структур можжевельника. Наиболее чувствительной и уязвимой к неблагоприятным внешним воздействиям фазой развития является мейоз микроспороцитов. Длительное устойчивое понижение температурного фона в 2017 г. привело к замедлению процессов жизнедеятельности и задержке мейоза, к приостановке его в профазе I. Задержка весеннего развития мужских репродуктивных структур у можжевельника в 2017 г. составила 20–30 дней. Активная фаза мейоза (MI–AII) началась лишь после того, как накопленная сумма физиологически активного тепла приблизилась к среднемуголетнему значению, при котором эта фаза наблюдается чаще всего в районе исследований. Общая продолжительность активной фазы мейоза у можжевельника при этом не превышала 2–3 дня. Наблюдались те же характерные нарушения (агглютинация в MI–AI и в MII–AII и неравномерное расхождение в AI и AII), которые присущи можжевельнику при прохождении мейоза на температурном фоне, близком к среднемуголетнему. Нарушения в мейозе микроспороцитов следует рассматривать как одну из значимых причин, приводящих к снижению жизнеспособности пыльцы. Однако не ясно, какие нарушения в мейозе являются летальными и ведут к дегенерации или стерильности формирующихся пыльцевых зерен. В 2017 г. отмечено значительно возросшее количество тератологий пыльцевых зерен и пыльцевых трубок. Увеличилось относительное количество недоразвитых пыльцевых зерен с дегенеративными признаками. Количество мелких недоразвитых и деформированных пыльцевых зерен более чем в 3 раза превысило аналогичное среднемуголетнее значение (2,3 %) для района исследования. Наблюдалась ослабленная реакция пыльцевых зерен на гидратацию, заключающаяся в замедлении процессов образования гидрофильной капсулы и сбрасывания экзины. Процент пыльцевых зерен, проросших в пыльцевые трубки, был близок к значениям, характерным для можжевельников района исследования. Наблюдался ослабленный рост пыльцевых трубок *in vitro*. У большинства мужских особей пыльцевые зерна либо проросли в короткие (не более 100 мкм) пыльцевые трубки, либо значительная часть зерен не проросла или остановилась в развитии на стадии «туфельки». Мужская репродуктивная сфера можжевельника обыкновенного адаптирована к местному климату. В процессе эволюции у можжевельника выработаны механизмы, позволяющие пассивно пережить временное похолодание в период активного весеннего развития мужских репродуктивных структур. Одним из таких механизмов является очень короткая продолжительность наиболее уязвимых стадий развития (дифференциация спорогенных тканей, обособление микроспороцитов, активные фазы мейоза микроспороцитов) мужских репродуктивных структур.

Ключевые слова: можжевельник, температурный режим, адаптация, мейоз, пыльца, пыльцевые трубки.

*Исследования выполнены при поддержке РФФИ (проект № 18-04-00056).

Для цитирования: Сурсо М.В. Адаптация мужской репродуктивной сферы можжевельника обыкновенного к климату // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 57–69. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.57

Введение

В условиях Севера основным климатическим фактором, лимитирующим рост и развитие растений, является дефицит тепла. Нарушения в мейозе, индуцированные длительным устойчивым похолоданием, приводят к снижению жизнеспособности и фертильности пыльцы, что в последующем может оказать существенное влияние на воспроизводство и жизненное состояние потомства. Подобные нарушения в мейозе начинают визуально проявляться уже в метафазе редукционного деления, однако точно не установлено, какие из них и каким именно образом могут привести к тератологии и стерильности пыльцы. Хромосомные нарушения при делении ядер в мейозе обычны и при благоприятных температурных условиях, и по-видимому, какой-то процент «брака» изначально запрограммирован генетически, являясь своего рода платой за продуцирование избыточного количества мужских гамет [3].

Следует отметить, что далеко не всегда представляется возможным однозначно идентифицировать все нарушения в мейозе микроспороцитов. Поэтому простой подсчет этих нарушений часто приводит к их искаженной количественной оценке.

У можжевельника обыкновенного, как и у многих других видов сем. Cupressaceae, в отличие от видов сем. Pinaceae, у которых микроспора прорастает в микрогаметофит эндогенно, вскоре после распада тетрад, пыльцевые зерна являются конечным продуктом эндогенного развития микроспороцитов, по сути представляя собой не проросшие в микрогаметофит одноклеточные микроспоры, скрытые под оболочкой экзины [11–13, 18]. Таким образом, соотношение внешне нормально развитых пыльцевых зерен и зерен с дегенеративными признаками может дать приблизительную оценку относительного числа летальных нарушений в мейозе микроспороцитов. У можжевельника обыкновенного развитие микрогаметофита происходит в течение двух вегетационных периодов. В год опыления пыльцевые зерна прорастают в пыльцевые трубки, к зимнему покою микрогаметофит переходит на 2-клеточной стадии. Поэтому о фертильности пыльцы у можжевельника можно судить лишь косвенно, например по длине (энергии роста) пыльцевых трубок, а о качестве пыльцы – по ее жизнеспособности, т. е. по способности пыльцевых зерен прорасти в пыльцевые трубки [14]. Снижение жизнеспособности пыльцы, как и тератология пыльцевых трубок при проращивании пыльцы *in vitro*, также могут коррелировать, хотя и не во всех случаях, с нарушениями в мейозе микроспороцитов, вызванными существенным длительным понижением общего температурного фона.

Целью исследований являлось изучение влияния длительного устойчивого похолодания в период микроспорогенеза на качество продуцируемой пыльцы у можжевельника обыкновенного.

Объекты и методы исследования

Исходный материал собран в июне-июле 2017 г. в Приморском районе Архангельской области: окрестности д. Ижма, опушка леса, свободно произрастающие можжевельники разных возрастов.

Микростробилы можжевельника для изучения мейоза микроспороцитов фиксировались в уксусном спирте ежедневно, начиная с профазы I до распада тетрад. Давленные препараты окрашивали ацето-железным гематоксилином – хлоралгидратом [19].

Для изучения морфологии и показателей жизнеспособности пыльцы ветви с максимально зрелыми микростробилами срезали с мужских растений до начала пыления и помещали в вазоны с водой на листы газетной бумаги.

После высыпания на бумагу пыльца просеивалась через мелкие сита. Индивидуальные образцы пыльцы до исследования хранились в эксикаторах над хлористым кальцием в пробирках, неплотно закрытых ватными тампонами, при температуре около 0 °С. Для морфологического описания каждого образца пыльцы просматривали 1000 пыльцевых зерен, окрашенных 0,25 %-м водным раствором сафранина. Определяли процентное соотношение внешне нормально развитых пыльцевых зерен и зерен, имеющих дегенеративные признаки.

Проращивание пыльцы производили *in vitro* во влажных камерах (чашках Петри) в термостате при +26,5 °С на 1,0 %-м агаре с добавлением 5 %-й сахарозы. Продолжительность инкубирования 7 сут. По окончании проращивания определяли процентное соотношение пыльцевых зерен по следующим категориям: 0 – пыльцевые зерна не проросли; 1 – пыльцевые зерна образовали гидрофильную капсулу и сбросили экзину, микроспора не проросла в микрогаметофит и остается в центре гидрофильной капсулы; 2 – микроспора проросла в 2-клеточный микрогаметофит, формирующаяся пыльцевая трубка овальной или тупелькообразной формы полностью или почти целиком находится внутри гидрофильной капсулы; 3 – сформировалась пыльцевая трубка, проксимальный кончик которой вышел из гидрофильной капсулы. Среднюю длину пыльцевой трубки определяли по 100 случайно взятым проросшим пыльцевым зернам 3-й категории непосредственно на мониторе компьютера или при помощи окуляр-микрометра. Одновременно идентифицировали и подсчитывали количество аномалий пыльцевых трубок.

Просмотр препаратов и их фотографирование выполняли на лабораторном микроскопе AxioScope A1 в комплекте с цифровой фотокамерой Canon G10, редактирование изображений производили при помощи лицензионной программы AxioVision LE Release 4.8.1.

Результаты исследования и их обсуждение

Температурный режим воздуха в поздневесенний–раннелетний периоды 2017 г. существенно отличался от среднесуточной динамики. С 5 мая среднесуточные температуры воздуха превысили значение +5 °С, с 7 мая началось длительное устойчивое похолодание, продолжавшееся до июля. Сильные ночные и ранние утренние заморозки (до –6 °С) наблюдались еще 19 мая, слабые (до –1 °С) – 12 июня. Среднесуточные температуры воздуха при этом были на 2...8 °С ниже их среднесуточных значений. К началу июля стали постепенно выравниваться среднесуточные текущие и среднесуточные температуры воздуха. К моменту начала пыления можжевельника (7 июля) сумма накопленного физиологически активного тепла (эффективных температур) составила 457,2 °С, что соответствовало климатической норме для 22 июня (рис. 1, 2).

Начало обособления микроспороцитов в микроспорангиях у можжевельника обыкновенного в 2017 г. в районе исследований наблюдалось 24 – 25 июня; активные фазы мейоза (MI–AII) – 30 июня – 1 июля; начало распада тетрады – 3 июля; начало пыления отдельных мужских растений – 7 июля, массовое пыление – 8 июля. Среди нарушений при микроспорогенезе наиболее часто отмечались агглютинация в MI–AI и в MII–AII и неравномерное расхождение в AI и AII. Таким образом, задержка активного весеннего развития мужских репродуктивных структур составила 20–30 дн. по сравнению с нормальным течением этих процессов у можжевельника. Все нарушения в мейозе микроспороцитов, наблюдавшиеся в этот год, характерны и для лет с динамикой температуры воздуха, близкой к среднесуточной [8].

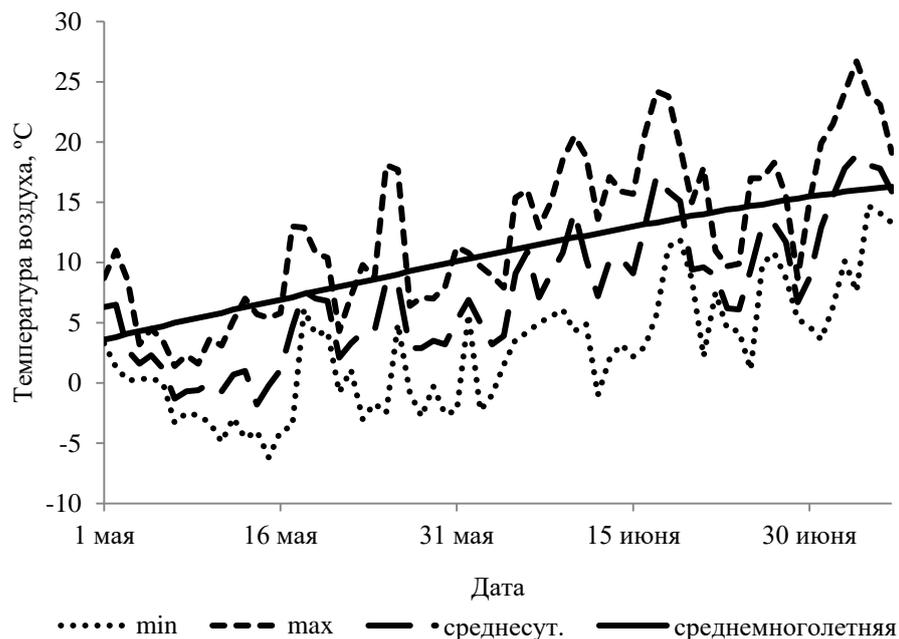


Рис. 1. Суточный ход температуры воздуха в 2017 г. (min – минимальная суточная, max – максимальная суточная, среднесут. – среднесуточная температура воздуха; среднедолголетняя – среднедолголетняя среднесуточная температура воздуха)

Fig. 1. Daily range of air temperature in 2017 (min – minimum daily; max – maximum daily; среднесут. – average daily; среднедолголетняя – average long-term daily air temperature)

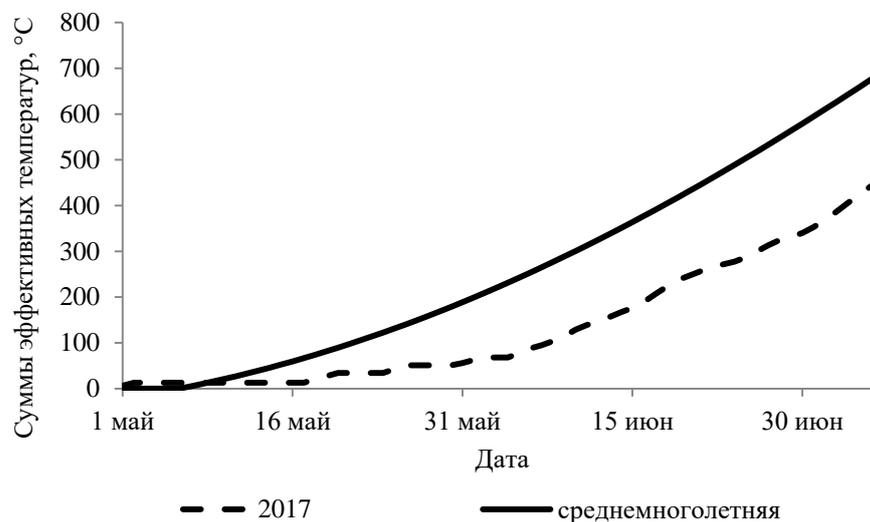


Рис. 2. Суммы эффективных температур (см. пояснения на рис. 1)

Fig. 2. Resulting air temperatures (as in fig. 1)

Среди нарушений в морфологии пыльцы преобладали мелкие недоразвитые и деформированные пыльцевые зерна (рис. 3, а, з).

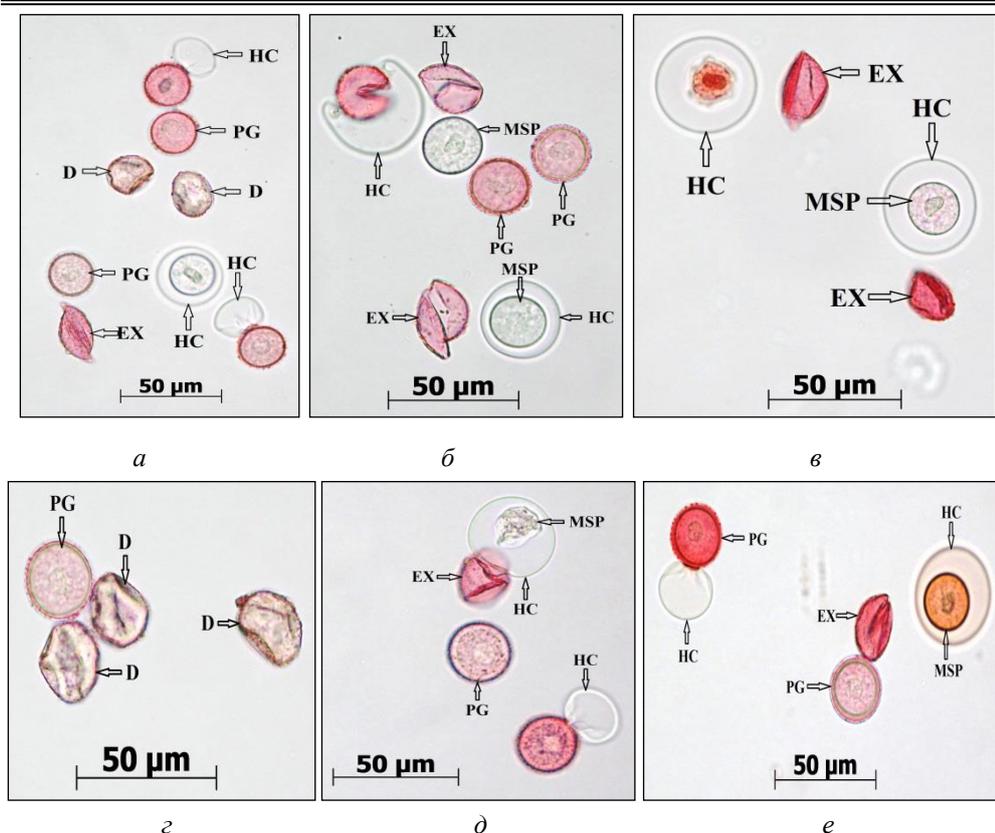


Рис. 3. Морфозы гидратированных пыльцевых зерен можжевельника (окрашивание водным раствором 0,25 %-го сафранина): *a* – деформированные пыльцевые зерна; *б* – нарушение механизма сбрасывания экзины и выхода наружу гидрофильной капсулы (вверху слева); *в* – деформация оболочки микроспоры (вверху слева); *г* – деформированные пыльцевые зерна; *д* – дегенерация микроспоры внутри гидрофильной капсулы; *е* – замедленное сбрасывание экзины (вверху слева) (EX – экзина, PG – пыльцевое зерно, HC – гидрофильная капсула, MSP – микроспора, D – дегенерировавшее пыльцевое зерно)

Fig. 3. Morphosis of hydrated pollen grains of juniper (staining with an aqueous solution of 0.25 % safranin): *a* – deformed pollen grains; *б* – mechanism impairing of exine abscission and releasing of hydrophilic capsule (at the upper left); *в* – deformation of a microspore membrane (at the upper left); *г* – deformed pollen grains; *д* – microspore degeneration inside the hydrophilic capsule; *е* – slowed exine abscission (at the upper left) (EX – exine, PG – pollen grain, HC – hydrophilic capsule, MSP – microspore, D – degenerated pollen grain)

Количество таких пыльцевых зерен в общем пуле пыльцы у разных мужских особей варьировало от 0,5 до 20,0 % (в среднем – 7,6 %). Это более чем в 3 раза превышает аналогичное среднемноголетнее значение (2,3 %) для района исследований. При этом не было обнаружено ни одного гигантского полиплоидного пыльцевого зерна. Такие зерна, хотя и в очень малом количестве, характерны для можжевельника обыкновенного. В очень небольшом количестве (менее 0,01 %) встречались нарушения, связанные с деформацией или отсутствием оболочки микроспоры (внутренней интины) (рис. 3, *в*, вверху слева) и дегенерацией микроспоры внутри гидрофильной капсулы (рис. 3, *д*, вверху) у гидратированных пыльцевых зерен. Отмечены частые случаи слипания пыльцы в комочки, что может быть обусловлено не полным вызревани-

Следует отметить замедленную динамику сбрасывания экзины у гидратированных пыльцевых зерен, когда гидрофильная капсула начинает выходить наружу через функциональную пору, но створки оболочек пыльцевых зерен при этом не раздвигаются или раздвигаются крайне медленно (рис. 3, а, д, е). Обычно процесс сбрасывания экзины у гидратированных пыльцевых зерен можжевельника протекает весьма динамично и длится не более 2...3 с. Общее количество пыльцевых зерен, сбросивших экзину в течение 10 мин после высева в каплю воды, у разных мужских особей варьировало от 2,0 до 75,0 % (в среднем 21,3 %). Это может свидетельствовать о низкой потенциальной жизнеспособности пыльцы можжевельника в 2017 г. Очень редко встречались случаи «неправильного» выхода гидрофильной капсулы из пыльцевого зерна (рис. 3, б, вверху слева).

Проращивание *in vitro* показало довольно низкую жизнеспособность пыльцы можжевельника в 2017 г. Примерно у 75,0 % мужских особей пыльцевые зерна либо проросли в короткие (не более 100 мкм) пыльцевые трубки, либо значительная часть зерен не проросла или остановилась в развитии на стадии «туфельки». И только у 25,0 % растений было отмечено достаточно большое количество (20,0...25,0 %) длинных (150...200 мкм и более) пыльцевых трубок. По результатам проращивания пыльцы соотношение пыльцевых зерен у можжевельника в 2017 г. в районе исследования в среднем составило по категориям:

0 – зерна не проросли – 37,8 %;

1 – зерна образовали гидрофильную капсулу и сбросили экзину, микроспора не проросла в микрогаметофит и остается в центре гидрофильной капсулы – 22,5 %;

2 – микроспора проросла в 2-клеточный микрогаметофит, формирующаяся пыльцевая трубка овальной или туфелькообразной формы полностью или почти целиком находится внутри гидрофильной капсулы – 28,1 %;

3 – сформировалась пыльцевая трубка (рис. 4, а), проксимальный кончик которой вышел из гидрофильной капсулы, – 11,6 %.

Средняя жизнеспособность пыльцы, рассчитанная как сумма пыльцевых зерен $\frac{1}{4}$ 1-й категории, $\frac{1}{2}$ 2-й и всех пыльцевых зерен 3-й категории, составила 31,3 %.

Среди тератологий пыльцевых трубок наиболее частые нарушения (неправильная форма и вздутия) выявлены на ранних стадиях развития (рис. 4, д–з).

Очень редко отмечены лизис микроспоры (внутри гидрофильной капсулы, сохранившей целостность оболочки, видны лишь капли липидов (рис. 4, б), разрыв стенки капсулы (рис. 4, в), дегенерация микроспоры внутри гидрофильной капсулы (рис. 4, в), дезориентация ядер 2-клеточного микрогаметофита (рис. 4, з). Вздутия кончиков пыльцевых трубок, достигших своей максимальной длины, характерны для пыльцы можжевельника и свидетельствуют о высокой энергии роста пыльцевых трубок. Когда же такие вздутия образуются на кончиках коротких пыльцевых трубок (рис. 4, и), это говорит о том, что трубки также достигли своей максимальной длины, что является признаком их низкой энергии роста. Ветвление пыльцевых трубок (рис. 4, к, л) у можжевельника, встречающееся хотя и не так часто, свидетельствует об их высокой энергии роста. В 2017 г. таких трубок было выявлено крайне мало и всего лишь у одного мужского растения можжевельника.

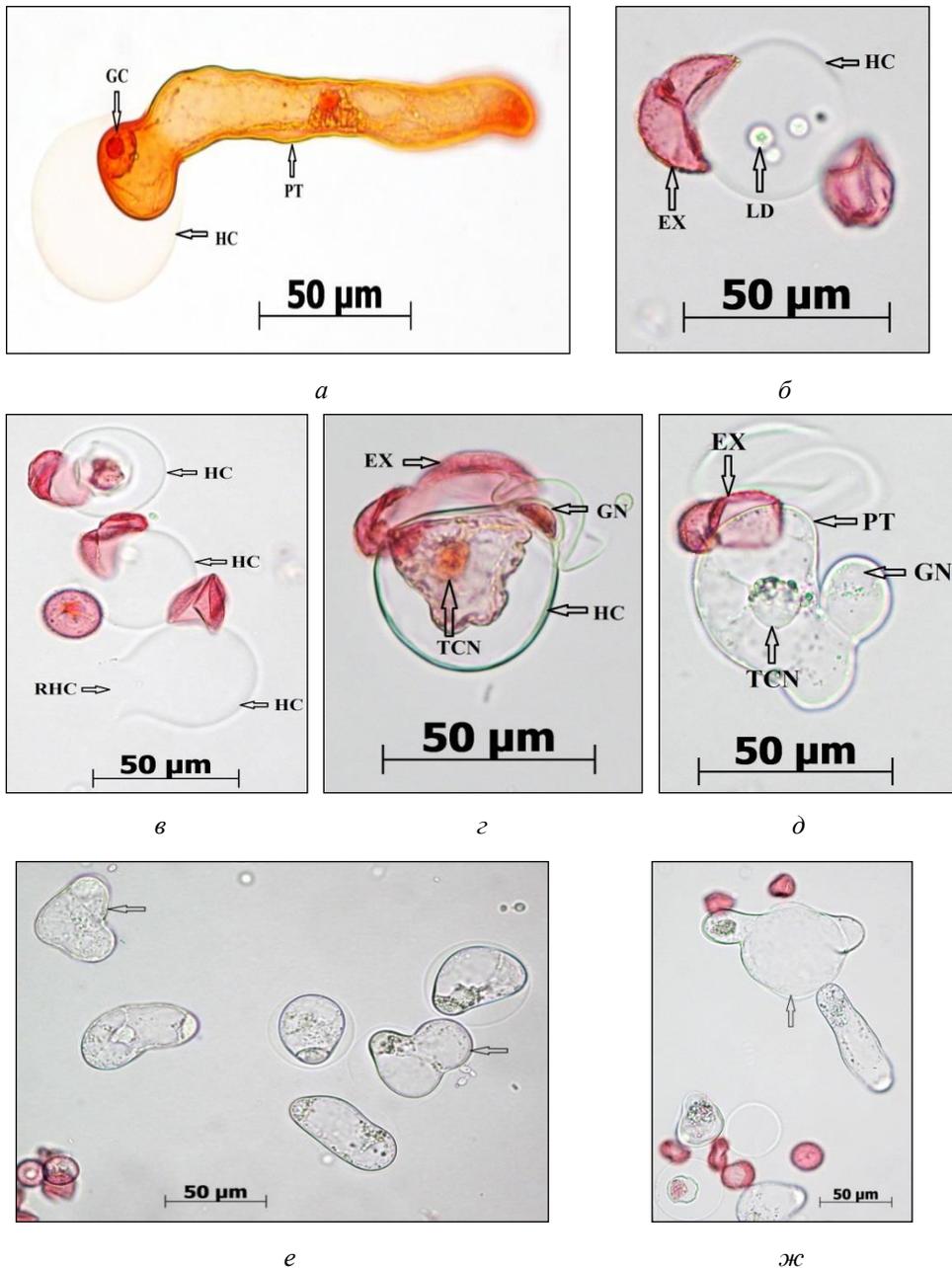


Рис. 4. Тератология прорастающей пыльцы можжевельника (начало): *a* – нормально развивающаяся пыльцевая трубка; *b* – внутри гидрофильной капсулы нет микроспоры, видны капли липидов; *v* – дегенерировавшая микроспора (вверху) и разорвавшаяся оболочка гидрофильной капсулы (внизу); *z* – тератология микроспоры и гидрофильной капсулы; *d–z* – тератология пыльцевых трубок на ранних стадиях развития (на рис. 4, *e*, *ж* – показана стрелками);

Fig. 4. Teratology of germinating pollen of juniper (beginning): *a* – normally developing pollen tube; *b* – there is no microspore inside the hydrophilic capsule, lipid droplets are visible; *v* – degenerated microspore (at the top) and ruptured membrane of hydrophilic capsule (at the bottom); *z* – teratology of microspore and hydrophilic capsule; *d–z* – teratology of pollen tubes in early stages of development (in fig. 4, *e*, *ж* – shown by arrows)

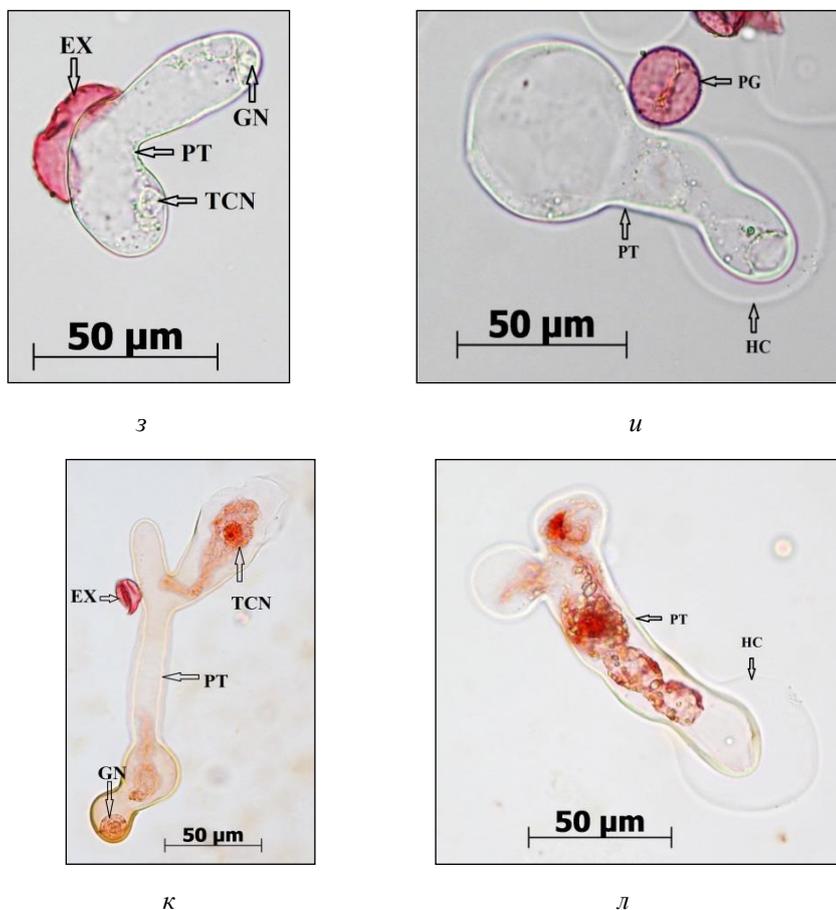


Рис. 4. Тератология прорастающей пыльцы можжевельника (окончание): *и* – вздувшийся растущий кончик пыльцевой трубки; *к, л* – ветвление пыльцевых трубок (PT – пыльцевая трубка, GN, GC – генеративное ядро, TCN – ядро клетки трубки, RHC – разрыв гидрофильной капсулы, LD – капли липидов, EX – экзина, PG – пыльцевое зерно, HC – гидрофильная капсула)

Fig. 4. Teratology of germinating pollen of juniper (ending up): *и* – swollen growing tip of a pollen tube; *к, л* – branching of pollen tubes (PT – pollen tube, gn, GC – generative nucleus, TCN – cell nucleus of tube, RHC – rupture of a hydrophilic capsule, LD – lipid droplets, EX – exine, PG – pollen grain, HC – hydrophilic capsule)

В мужской репродуктивной сфере хвойных видов наиболее чувствительной и уязвимой к неблагоприятным внешним воздействиям фазой развития является мейоз микроспороцитов. Это наиболее отчетливо проявляется при ощутимых техногенных и природных воздействиях, к которым у этих видов не выработан механизм адаптации [5–7].

Репродуктивные циклы хвойных видов, заселивших север Русской равнины в постгляциальный период, адаптированы к местным климатическим условиям [1, 3, 15]. Суммарное количество физиологически активного тепла, необходимого для наступления той или иной фенофазы, у одного и того же вида будет различным в разных географических частях ареала. Однако строгая привязка динамики прохождения микрофенофаз в репродуктивных циклах хвойных видов к суммам эффективных температур не всегда оправдана. По мнению Р. Сарваса [16], длительное время изучавшего динамику репродуктивных

циклов хвойных в Фенноскандии, их фенологическая ритмика в условиях Севера регламентирована прежде всего среднесуточными температурами воздуха и адаптирована к среднемноголетним значениям. Г.М. Козубовым [3] установлено, что в условиях Севера, наряду с общей суммой накопленного физиологически активного тепла, для успешного прохождения мейоза наиболее значимы минимальные суточные температуры воздуха, а также амплитуда суточных колебаний температуры.

У каждого вида имеется свой температурный оптимум прохождения разных фаз мейоза и его пороговые (критические) значения, за пределами которых начинается разлад редукционного процесса, приводящий к нарушениям при микроспорогенезе [10]. Некоторое время микроспороциты, еще не приступившие к делению, могут «пережить» кратковременное резкое похолодание. Однако после того, как биологические часы растения запустят механизм редукционного деления, даже последующее резкое понижение температуры не в силах остановить уже начавшиеся деления ядер, но может затормозить и продлить те фазы мейоза, в которые эти деления не происходят [4].

По многолетним наблюдениям В.А. Артемова [1], на продолжительность предмейотического периода у сосны в условиях северо-востока европейской части России наиболее существенное влияние оказывают минимальные суточные температуры с пороговым значением $-4,0$ °С. Влияние среднесуточных температур воздуха на продолжительность этого периода начинает сказываться с отметки $+1,7$ °С и стабилизируется только после достижения среднесуточного значения $+7,0$ °С. У разных видов, произрастающих в одном географическом районе, последовательный переход от одной микрофенофазы к другой и продолжительность каждой из них обуславливаются разным количеством тепла. Кроме того, абсолютные значения суммарного количества физиологически активного тепла, необходимого для наступления одноименных микрофенофаз, могут значительно варьировать у одного и того же вида в одной географической точке в разные годы наблюдений.

В годы, когда погодные условия в течение продолжительного времени существенно выходят за рамки своих среднемноголетних значений, устоявшаяся ритмика репродуктивной деятельности растений претерпевает определенные изменения, касающиеся прежде всего продолжительности отдельных микрофенофаз и порядка их прохождения. Это может приводить к увеличению числа нарушений в мейозе микроспороцитов [9, 17]. Однако мейоциты, являющиеся по сути автономными биологическими системами, самодостаточны в рамках своих адаптационных возможностей и в своем стремлении к упорядоченности способны к саморегуляции и самовосстановлению. Не всегда и не все нарушения в мейозе микроспороцитов неизбежно ведут ко сколько-нибудь заметным структурно-функциональным нарушениям продуктов мейоза. Поэтому связь между общим числом нарушений в мейозе микроспороцитов и показателями жизнеспособности пыльцы опосредована и не всегда проявляется достаточно отчетливо [2].

Заключение

При длительном устойчивом понижении общего температурного фона в период микроспорогенеза наступление активной фазы мейоза у можжевельника обыкновенного задерживается, качество продуцируемой им пыльцы заметно снижается. Поэтому нарушения в мейозе микроспороцитов следует рассматривать как одну из значимых причин, приводящих к ухудшению жизнеспособности пыльцы. Однако не ясно, какие нарушения в мейозе являются летальными

и ведут к дегенерации или стерильности формирующихся пыльцевых зерен. Только неожиданно резко наступившая аномально морозная погода в период дифференциации спорогенных тканей в микроспорангиях или мейоза микроспороцитов может привести к некрозу тканей микроспорангиев и к гибели как микроспороцитов, так и самих микростробиллов. Такой сценарий развития событий маловероятен и носит случайный характер.

Хвойные аборигены Севера в ходе эволюции выработали механизмы, позволяющие пассивно пережить временное похолодание в период активного весеннего развития репродуктивных структур. Одним из таких механизмов является очень короткая продолжительность уязвимых стадий развития мужских репродуктивных структур. Длительное и устойчивое похолодание в период развития мужских репродуктивных структур может привести к гибели большего или меньшего числа микростробиллов. Но в сохранившихся нативности микростробилах полная гибель всех мейоцитов не произойдет ни при каких обстоятельствах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артемов В.А.* Микрофенология мужского генеративного цикла сосны и ели // Комплексные биогеоэкологические исследования хвойных лесов Европейского Северо-Востока: тр. Коми фил. АН СССР. № 73. Сыктывкар, 1985. С. 56–69.
2. *Бажина Е.В., Квитко О.В., Муратова Е.Н.* Мейоз при микроспорогенезе и жизнеспособность пыльцы у пихты сибирской в среднегорье Восточного Саяна // Лесоведение. 2007. № 1. С. 57–64.
3. *Козубов Г.М.* Биология плодоношения хвойных на Севере. Л.: Наука, 1974. 135 с.
4. *Некрасова Т.П.* Влияние температуры воздуха на формирование пыльцы хвойных древесных пород // Лесоведение. 1976. № 6. С. 37–43.
5. *Носкова Н.Е., Третьякова И.Н.* Влияние стресса на репродуктивные способности сосны обыкновенной // Хвойные бореальной зоны. 2006. Вып. 3. С. 54–63.
6. *Романова Л.И., Третьякова И.Н.* Особенности микроспорогенеза у лиственницы сибирской, растущей в условиях техногенной нагрузки // Онтогенез. 2005. Т. 36, № 2. С. 128–134.
7. *Сурсо М.В.* Особенности микроспорогенеза и жизнеспособность пыльцы сосны обыкновенной в 30-километровой зоне Чернобыльской АЭС // Проблемы рационального использования, воспроизводства и экологического мониторинга лесов. Свердловск, 1991. С. 142–143.
8. *Сурсо М.В.* Микроспорогенез, опыление и микрогаметогенез у *Juniperus communis* (Cupressaceae) // Ботан. журн. 2012. Т. 97, № 2. С. 211–221.
9. *Сурсо М.В., Барабин А.И., Болотов И.Н., Филиппов Б.Ю.* Весеннее развитие пыльцы у лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) в северной подзоне тайги // Лесн. журн. 2012. № 6. С. 7–15. (Изв. высш. учеб. заведений).
10. *Яковлев А.В.* О влиянии низких температур на микроспорогенез сосны обыкновенной // Лесоведение. 1978. № 6. С. 51–55.
11. *Anderson T.D., Owens J.N.* Microsporogenesis, Pollination, Pollen Germination and Male Gametophyte Development in *Taxus brevifolia* // Annals of Botany. 2000. Vol. 86, no. 5. Pp. 1033–1042.
12. *Fernando D.D., Lazzaro M.D., Owens J.N.* Growth and Development of Conifer Pollen Tubes // Sex Plant Reprod. 2005. Vol. 18. Pp. 149–162.
13. *Fernando D.D., Quinn C.R., Brenner E.D., Owens J.N.* Male Gametophyte Development and Evolution in Extant Gymnosperms // International Journal of Plant Developmental Biology. 2010. Vol. 4 (Special issue 1). Pp. 47–63.

14. Krichevsky A., Kozlovsky S.V., Tian G.-W., Chen M.-H., Zaltsman A., Citovsky V. How Pollen Tubes Grow (Review) // *Developmental Biology*. 2007. Vol. 303. Pp. 405–420.
15. Nikkanen T. Reproductive Phenology in a Norway Spruce Seed Orchard // *Silvae Fennica*. 2001. Vol. 35, no. 1. Pp. 39–53.
16. Sarvas R. Investigations on the Annual Cycle of Development of Forest Trees. Active Period // *Commun. Inst. For. Fenn.* 1973. Vol. 76, no. 3. Pp. 1–110.
17. Slobodnik B. The Early-Spring Development of Male Generative Organs and Abnormalities in Pollen Ontogenesis of European Larch (*Larix decidua* Mill.) // *For. Genetics*. 2002. Vol. 9, no. 4. Pp. 309–314.
18. Takaso T., Owens J.N. Significance of Exine Shedding in Cupressaceae-type Pollen // *Journal of Plant Research*. 2008. Vol. 121. Pp. 83–85.
19. Wittman W. Aceto-Iron-Haematoxylin-Chloralhydrate for Chromosome Staining // *Stain. Technol.* 1965. Vol. 40, no. 3. Pp. 161–164.

Поступила 16.05.18

UDC 582.47:581.3:58.036.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.57

Adaptation of Male Reproductive Sphere of Common Juniper to Climate

M.V. Surso, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Research Scientist

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, RAS, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: surso@fciarctic.ru

Weather conditions have a significant effect on spring development phenorhythmic of juniper male reproductive structures. The most sensitive and vulnerable to adverse external conditions stage of development is meiosis of microsporocytes. Long-term steady temperature fall in 2017 led to slowdown in life processes and delay of meiosis and its suspension in prophase I. The delay of the spring development of juniper male reproductive structures in 2017 amounted to 20–30 days. Active phase of meiosis (MI–AII) had began only after accumulated amount of physiologically active heat approximated to long-term annual average at which this phase of development is the most common in the research area. The total duration of the active phase of juniper meiosis did not exceed 2–3 days. There were the same distinctive disorders (agglutination in MI–AI and MII–AII and uneven disjunction in AI and AII) that are inherent to juniper in meiosis at temperatures close to the long-term annual average. Disorders in microsporocytes meiosis should be considered as one of the significant reasons leading to decrease of pollen viability. However, it is not obvious which disorders in meiosis are lethal and lead to degeneration or sterility of developing pollen grains. There was a significant increase in the number of pollen grains and tubes teratologies in 2017. The relative number of undeveloped pollen grains with degenerative features has increased. The number of small undeveloped and deformed pollen grains is more than 3 times higher than the same long-term annual average (2.3 %) for the research area. Attenuated response of pollen grains on hydration consisting of slowing of hydrophilic capsule formation and exine rupture had been observing. The percentage of pollen grains germinated into pollen tubes was close to the values distinctive for junipers of the research area. There was a weakened growth of pollen tubes *in vitro*. The most part of male pollen grains either germinated into short (not more than 100 µm) pollen tubes or a significant part of pollen

For citation: Surso M.V. Adaptation of Male Reproductive Sphere of Common Juniper to Climate. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 57–69. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.57

grains didn't germinate at all or stopped in their development at the stage of slipper-shape. The male reproductive sphere of Common Juniper is adapted to the local climate. In the process of evolution juniper has developed mechanisms allowing surviving under temporary cooling conditions during the active spring development of male reproductive structures. One of these mechanisms is very short duration of the most vulnerable stages of development (differentiation of sporogenic tissues, isolation of microsporocytes and active phases of microsporocytes meiosis) of male reproductive structures.

Keywords: juniper, temperature mode, adaptation, meiosis, pollen, pollen tubes.

REFERENCES

1. Artemov V.A. Mikrofenologiya muzhskogo generativnogo tsikla sosny i eli [Microphenology of Male Generative Cycle of Pine and Spruce]. *Kompleksnyye biogeotsenologicheskiye issledovaniya khvoynykh lesov Evropeyskogo Severo-Vostoka*: tr. Komi fil. AN SSSR [Comprehensive Biogeocenology Studies of Coniferous Forests of the European Northeast: Proceedings of Komi Branch of the USSR Academy of Sciences]. Syktyvkar, 1985, no. 73, pp. 56–69.
2. Bazhina E.V., Kvitko O.V., Muratova E.N. Meyoz pri mikrosporogeneze i zhiznesposobnost' pyl'tsy u pikhty sibirskoy v srednegor'ye Vostochnogo Sayana [Meiosis at Microsporogenesis and Pollen Viability of Siberian Fir in the Middle Altitude of the Eastern Sayan]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2007, no. 1, pp. 57–64.
3. Kozubov G.M. *Biologiya plodonosheniya khvoynykh na Severe* [Biology of Coniferous Fruiting in the North]. Leningrad, Nauka Publ., 1974. 135 p. (In Russ.)
4. Nekrasova T.P. Vliyaniye temperatury vozdukha na formirovaniye pyl'tsy khvoynykh drevesnykh porod [Influence of Air Temperature on Formation of Coniferous Tree Species Pollen]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1976, no. 6, pp. 37–43.
5. Noskova N.E., Tret'yakova I.N. Vliyaniye stressa na reproduktivnyye sposobnosti sosny obyknovnoy [Influence of Stress on Reproductive Capacity of Scots Pine]. *Khvoynyye boreal'noy zony* [Coniferous of the Boreal Area], 2006, iss. 3, pp. 54–63.
6. Romanova L.I., Tret'yakova I.N. Osobennosti mikrosporogeneza u listvennitsy sibirskoy, rastushchey v usloviyakh tekhnogennoy nagruzki [Specific Features of Microsporogenesis in the Siberian Larch Growing under the Conditions of Technogenic Load]. *Ontogenez* [Russian Journal of Developmental Biology], 2005, vol. 36, no. 2, pp. 128–134.
7. Surso M.V. Osobennosti mikrosporogeneza i zhiznesposobnost' pyl'tsy sosny obyknovnoy v 30-kilometrovoy zone Chernobyl'skoy AES [Features of Microsporogenesis and Pollen Viability of Scots Pine in the 30-km Zone of the Chernobyl Nuclear Power Plant]. *Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya, vosproizvodstva i ekologicheskogo monitoringa lesov* [Challenges of Rational Use, Reproduction and Ecological Monitoring of Forests]. Sverdlovsk, 1991, pp. 142–143.
8. Surso M.V. Mikrosporogenez, opyleniye i mikrogametogenez u *Juniperus communis* (Cupressaceae) [Microsporogenesis, Pollination and Microgametogenesis of *Juniperus communis* (Cupressaceae)]. *Botanicheskii Zhurnal*, 2012, vol. 97, no. 2, pp. 211–221.
9. Surso M.V., Barabin A.I., Bolotov I.N., Filippov B.Yu. Vesenneye razvitiye pyl'tsy u listvennitsy sibirskoy (*Larix sibirica* Ledeb.) v severnoy podzone taygi [Spring Development of Siberian Larch (*Larix sibirica* Ledeb.) Pollen in the Northern Taiga Subzone]. *Lesnoy Zhurnal* [Forest Journal], 2012, no. 6, pp. 7–15.
10. Yakovlev A.V. O vliyanii nizkikh temperatur na mikrosporogenez sosny obyknovnoy [On the Influence of Low Temperatures on Microsporogenesis of Scots Pine]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1978, no. 6, pp. 51–55.

-
11. Anderson T.D., Owens J.N. Microsporogenesis, Pollination, Pollen Germination and Male Gametophyte Development in *Taxus brevifolia*. *Annals of Botany*, 2000, vol. 86, no. 5, pp. 1033–1042.
 12. Fernando D.D., Lazzaro M.D., Owens J.N. Growth and Development of Conifer Pollen Tubes. *Sexual Plant Reproduction*, 2005, vol. 18, iss. 4, pp. 149–162. DOI: 10.1007/s00497-005-0008-y
 13. Fernando D.D., Quinn Ch.R., Brenner E.D., Owens J.N. Male Gametophyte Development and Evolution in Extant Gymnosperms. *International Journal of Plant Developmental Biology*, 2010, vol. 4, pp. 47–63.
 14. Krichevsky A., Kozlovsky S.V., Tian G.-W., Chen M.-H., Zaltsman A., Citovsky V. How Pollen Tubes Grow. *Developmental Biology*, 2007, vol. 303, pp. 405–420. DOI: 10.1016/j.ydbio.2006.12.003
 15. Nikkanen T. Reproductive Phenology in a Norway Spruce Seed Orchard. *Silva Fennica*, 2001, vol. 35, no. 1, pp. 39–53.
 16. Sarvas R. Investigations on the Annual Cycle of Development of Forest Trees. Active Period. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 1973, vol. 76, no. 3, pp. 1–110.
 17. Slobodník B. The Early-Spring Development of Male Generative Organs and Abnormalities in Pollen Ontogenesis of European Larch (*Larix decidua* Mill.). *Forest Genetics*, 2002, vol. 9, iss. 4, pp. 309–314.
 18. Takaso T., Owens J.N. Significance of Exine Shedding in Cupressaceae-type Pollen. *Journal of Plant Research*, 2008, vol. 121, pp. 83–85.
 19. Wittman W. Aceto-Iron-Haematoxylin-Chloralhydrate for Chromosome Staining. *Stain Technology*, 1965, vol. 40, iss. 3, pp. 161–164. DOI: 10.3109/10520296509116398

Received on May 16, 2018

УДК 582.632.2:631.543.82

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.70

РОСТ И ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В ИЗРЕЖЕННЫХ РУБКАМИ УХОДА НАСАЖДЕНИЯХ

А.А. Лепёхин, канд. биол. наук, вед. науч. сотр.

А.С. Чеканышкин, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы им. В.В. Докучаева, д. 81, кв. V, пос. 2-го участка Института им. В.В. Докучаева, Таловский р-н, Воронежская обл., Россия, 397463; e-mail: niish1c@mail.ru

В последние десятилетия в лесоаграрных ландшафтах Центрально-Черноземной зоны России все более актуальной становится проблема ухудшения состояния и сохранности защитных лесных насаждений, утраты ими защитно-мелиорирующих функций по причине отсутствия лесохозяйственного обслуживания. В системе лесохозяйственных мероприятий, обеспечивающих улучшение роста, развития и санитарного состояния защитных лесных насаждений, ведущее место занимают рубки ухода. Цель наших исследований – выявление влияния проведенных рубок ухода на рост и санитарное состояние древостоя лесной полосы и его главной породы – дуба черешчатого. Таксационные работы и лесопатологические обследования проведены на территории Каменной Степи (Таловский р-он Воронежской области) в 1986–2017 гг. Объектом исследований послужила полезная лесная полоса № 240, заложенная по типу коридорных посадок со схемой смешения пород: (Б+Ко)–Д–Д–Д–(Б+Ко). Здесь Б – береза повислая, Ко – клен остролистный, Д – дуб черешчатый. Стационарный опыт представлен вариантами: 1 – контроль без рубки ухода; 2 – изреживание насаждения интенсивностью 21...33 % от запаса древесины за счет преимущественной рубки быстрорастущей породы (березы повислой и тополя бальзамического), вырубки ослабленных и поврежденных экземпляров главной породы (дуба черешчатого) и сопутствующей породы (клена остролистного) с удалением из насаждения всех порубочных остатков; 3 – аналогично варианту 2, но с обрезкой нижних ветвей у деревьев на высоту 1,5...2,0 м; 4 – аналогично варианту 3, но с разбрасыванием измельченных порубочных остатков равномерно под пологом насаждения. Длина вариантов 1–3 – 250 м, варианта 4 – 140 м. Установлено, что рубки ухода способствуют улучшению лесоводственно-биологических показателей дуба черешчатого. Превышение сохранности жизнеспособных деревьев главной породы в вариантах с рубками ухода над контролем составляет 13,0...24,3 %. Сохранившиеся деревья дуба черешчатого в варианте без рубок ухода отстают в росте по диаметру ствола на 1,2...5,0 см, по высоте – на 0,1...1,3 м. После проведения рубок ухода доля лесного отпада и нежизнеспособных деревьев дуба черешчатого увеличивается, а жизнеспособных и ограниченно жизнеспособных – уменьшается. Для выращивания устойчивых и мелиоративно-эффективных насаждений необходимо на протяжении их роста и развития проводить своевременные рубки ухода.

Ключевые слова: лесные насаждения, схема смешения пород, рубки ухода, дуб черешчатый, лесопатологическое состояние древостоя.

Введение

Данные научных исследований и многолетняя практика сельскохозяйственного производства Центрально-Черноземной зоны убеждают в возможности эффективно противодействовать многим негативным явлениям за счет

Для цитирования: Лепёхин А.А., Чеканышкин А.С. Рост и жизнеспособность дуба черешчатого в изреженных рубками ухода насаждениях // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 70–77. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.70

комплекса биолого-мелиоративных мероприятий, организующей основой которого служат защитные лесонасаждения. Являясь объектом многофункционального влияния на окружающую среду, они нормализуют и стабилизируют экологическую обстановку, образуют устойчивые лесоаграрные ландшафты с высокой степенью саморегуляции. В последние десятилетия в лесоаграрных ландшафтах все большую актуальность приобретает проблема ухудшения состояния и сохранности защитных лесных насаждений, утраты ими защитно-мелиорирующих функций по причине отсутствия их лесохозяйственного обслуживания [7–10].

К числу основных видов лесохозяйственных мероприятий в защитных лесных насаждениях, обеспечивающих улучшение условий их формирования, роста и развития, лесомелиоративных свойств, относятся рубки ухода, проводимые в определенные возрастные периоды. Характер и интенсивность рубок ухода в разных видах агролесомелиоративных посадок безусловно отличаются, но все они преследуют две основные цели: улучшение лесобиологического состояния насаждений и повышение их мелиоративной эффективности. Рубки ухода оказывают положительное влияние на ростовые параметры древостоев, приводят к значительному повышению их производительности [11–14]. Однако в лесных полосах они могут вызывать не только положительные изменения [6], но и в отдельных случаях создавать условия для развития вредной энтомофауны и микрофлоры [3].

Цель нашего исследования – выявление влияния проведенных рубок ухода на рост и санитарное состояние древостоя лесной полосы и его главной породы – дуба черешчатого.

Объекты и методы исследования

Таксационные работы и лесопатологические обследования проведены в 1986–2017 гг. на территории Каменной Степи (Таловский р-он Воронежской области) в полевозащитной лесной полосе № 240. Насаждение создано 2-летними сеянцами весной 1969 г. по типу коридорных посадок со следующей схемой смешения пород: (Б+Ко)–Д–Д–Д–(Б+Ко), где Б – береза повислая, Ко – клен остролистный, Д – дуб черешчатый. Ширина лесной полосы – 12,5 м. Размещение сеянцев в ряду 0,7...1,0 м, между рядами – 2,5 м. Густота посадки – 4800 шт./га (в т. ч. дуба – 3200 шт./га). При проведении дополнения лесных культур в 1970 г. в крайние ряды вместо погибших сеянцев березы повислой местами высажены черенки тополя бальзамического.

Стационарный опыт представлен следующими вариантами: 1 – контроль без рубки ухода; 2 – изреживание насаждения интенсивностью 21...33 % от запаса древесины за счет преимущественной рубки быстрорастущей породы (березы повислой и тополя бальзамического), вырубки ослабленных и поврежденных экземпляров главной (дуба черешчатого) и сопутствующей (кле-на остролистного) пород с удалением из насаждения всех порубочных остатков; 3 – аналогично варианту 2, но с обрезкой нижних ветвей у деревьев на высоту 1,5...2,0 м; 4 – аналогично варианту 3, но с разбрасыванием измельченных порубочных остатков равномерно под пологом насаждения. Длина полос в вариантах 1–3 составляла 250 м, в варианте 4 – 140 м.

Изучение роста древесных пород и оценку их лесопатологического состояния осуществляли с применением известных методик и инструктивных указаний [1, 2, 4, 5]. Проводили сплошной пересчет деревьев с замером их высоты и диаметра на высоте груди (1,3 м), определяли общее лесопатологическое

состояние каждого дерева: жизнеспособные (ЖС), ограниченно жизнеспособные (ОЖ), нежизнеспособные (НЖ) и лесной отпад (ЛО). Для каждого варианта брали 9 модельных деревьев (по 3 дерева на каждую категорию состояния, исключая ЛО). Крону модельного дерева делили по высоте на 3 части: верхняя, средняя, нижняя. В каждой из частей выбирали и спиливали среднюю модельную ветвь, затем обрывали листья и считали их количество. Площадь листовой поверхности получали, используя метод круговых высечек по 10 шт. для каждой категории повреждений листьев, %: без повреждений – 0; повреждено 1...5; 6...25; 26...50; 51...75; 76...100. Массу листьев определяли в воздушно-сухом состоянии.

Результаты исследования и их обсуждение

В первом возрастном периоде лесной полосы (7 и 10 лет) на вариантах 2–4 для освобождения дуба черешчатого от угнетения быстрорастущей и сопутствующей породами, а также сохранения возможно большего количества главной породы было проведено два осветления (в 1976 и 1979 гг.). Во втором возрастном периоде (17 лет) в 1986 г. для формирования условий роста главной породы – дуба черешчатого, а также улучшения качества и структуры будущего древостоя осуществлены прочистки, после которых осуществлена таксация насаждений опытных вариантов. Их характеристика приведена в табл. 1.

Таблица 1

Таксационная характеристика опытных участков (1986 г.)

Вариант	Состав по сумме площадей поперечных сечений	Количество живых деревьев, шт./га	Сумма площадей поперечных сечений, м ² /га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м
1	5БЗД2Ко, ед.Т	<u>4024</u>	<u>24,09</u>	<u>6,3</u>	<u>6,0</u>
		1888	6,86	5,4	5,9
2	5Д2Ко2Б1Т	<u>2604</u>	<u>16,31</u>	<u>7,9</u>	<u>7,2</u>
		1752	8,25	7,1	6,8
3	5Д3Ко2Б	<u>2096</u>	<u>15,82</u>	<u>9,1</u>	<u>7,6</u>
		1348	7,62	8,1	8,2
4	5Д3Ко2Б	<u>2159</u>	<u>14,17</u>	<u>8,3</u>	<u>6,9</u>
		1422	7,59	7,7	6,6

Примечание. В числителе приведены данные для всего древостоя, в знаменателе – для дуба в том числе.

Рубки ухода на вариантах 2–4 позволили улучшить рост дуба. По линейным параметрам превышение над контрольным участком (вариант 1) по диаметру составляет 31,5...50,0 %, по высоте – 11,9...39,0 %.

При исследовании крон модельных деревьев дуба черешчатого и их растущих фракций (без учета стволовой части) были получены усредненные показатели (табл. 2).

Сопоставление усредненных показателей свидетельствует о том, что в вариантах с рубками ухода крона дуба имеет большую на 0,5...1,2 м протяженность, а скелетные ветви длиннее на 20...44 см. Также наблюдается лучшая облиственность крон – в 1,6–3,2 раза, увеличение массы листьев – на 1000...2500 г, площади листовой поверхности – на 3,3...8,1 м².

Таблица 2

Развитие кроны дуба под влиянием рубок ухода (1986 г.)

Вариант	Протяженность кроны, м	Скелетные ветви		Листва с модельного дерева		
		количество, шт.	длина, см	количество, шт.	масса, г	площадь, м ²
1	4,6	29	106,4	3 260	1 322	7,09
2	5,5	42	126,6	5 259	2 323	10,39
3	5,8	48	150,3	10 574	3 472	15,15
4	5,1	37	147,2	7 129	3 810	12,30

В 2017 г. нами выполнена оценка последствий рубок ухода на лесоводственно-биологические показатели дуба черешчатого. За 31 год после проведения рубок ухода отпад дуба черешчатого из состава древостоя, вследствие его затенения со стороны березы повислой и клена остролистного, на контрольном участке (вариант 1) составил 44,49 %, что на 13,0...4,3 % выше по сравнению с вариантами 2–4, где проводились рубки ухода (табл. 3).

Таблица 3

Таксационная характеристика опытных участков (2017 г.)

Вариант	Состав по сумме площадей поперечных сечений	Количество живых деревьев, шт./га	Сумма площадей поперечных сечений, м ² /га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м
1	4Б4Ко2Д, ед.Т	<u>2484</u>	<u>71,98</u>	<u>18,7</u>	<u>15,3</u>
		1048	16,80	17,4	15,1
2	4Д4Ко1Б1Т	<u>1948</u>	<u>59,21</u>	<u>20,3</u>	<u>15,9</u>
		1200	25,34	18,6	15,7
3	4Д4Ко2Б	<u>1696</u>	<u>66,93</u>	<u>23,0</u>	<u>16,5</u>
		1076	25,90	21,3	16,4
4	5Д4Ко1Б	<u>1690</u>	<u>66,55</u>	<u>23,6</u>	<u>15,6</u>
		1017	29,28	22,4	15,2

Примечание. В числителе приведены данные для всего древостоя, в знаменателе – для дуба в том числе.

Следует отметить, что в 2010 г. произошла сильная засуха, в результате которой береза повислая почти полностью погибла, т. е. засуха в определенной мере выполнила роль рубок ухода с последующим положительным эффектом как для дуба, так и насаждения в целом. Дуб черешчатый, освободившись от быстрорастущей породы, стал интенсивнее расти во всех вариантах опыта. Однако из-за состояния сильного угнетения в прошлом сохранившиеся деревья дуба черешчатого на контрольном участке по диаметру ствола отстают на 1,2...5,0 см, по высоте – на 0,1...1,3 м.

С течением времени после проведения рубок ухода доля лесного отпада и нежизнеспособных деревьев дуба черешчатого увеличивается ежегодно, а жизнеспособных и ограниченно жизнеспособных – уменьшается (табл. 4).

Таблица 4

Изменение лесопатологического состояния дуба в вариантах опыта

Вариант	Распределение деревьев по категориям состояния, %			
	Жизнеспособные	Ограниченно жизнеспособные	Нежизнеспособные	Лесной опад
<i>1986 г. (после рубок ухода)</i>				
1	88	8	1	3
2	94	5	1	0
3	96	4	0	0
4	96	4	0	0
<i>2017 г. (без промежуточных рубок)</i>				
1	42	17	19	22
2	47	21	17	15
3	53	19	11	17
4	49	27	12	12

Если в 1986 г. для вариантов опытов 2–4 после проведения рубок ухода лесной опад и количество нежизнеспособных деревьев дуба черешчатого составляли 0...1 %, а жизнеспособных и ограниченно жизнеспособных – 99...100 %, то в 2017 г. – соответственно по категориям состояния уже 24...32 и 68...76 %, что можно объяснить отсутствием рубок ухода (прореживания) за главной породой в третьем возрастном периоде (21 год и старше).

Заключение

Таким образом, проведение рубок ухода в лесных полосах способствует улучшению роста дуба черешчатого и лесонасаждения в целом. Отсутствие своевременных рубок ухода в лесных полосах с главной породой дубом черешчатым приводит к ухудшению его жизнеспособности и выпадению из состава насаждения.

Основной причиной снижения жизнеспособности отстающих в росте деревьев дуба черешчатого в лесных полосах является недостаточное освещение их кроны, из-за чего происходит отмирание нижних ветвей и сучьев, образуется однобокая (флагообразная) или с малым количеством ветвей крона. Резкое осветление деревьев при рубках ухода приводит к образованию на их стволах водяных побегов.

Для выращивания устойчивых и мелиоративно-эффективных насаждений необходимо на протяжении их роста и развития проводить своевременные рубки ухода, которые следует назначать с учетом постоянно увеличивающейся дифференциации деревьев среди как одной породы, так и совокупности различных древесно-кустарниковых пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артоховский А.К., Харченко Н.А., Быков Н.А., Арефьев Ю.Ф. Экологические основы лесозащиты в насаждениях зеленых зон. Воронеж: Изд-во Воронеж. ГУ, 1994. 128 с.
2. Дударев А.Д., Гладышева Н.В., Лозовой А.Д. Методика и техника работ на пробных площадях. Воронеж, 1978. 80 с.
3. Лепехин А.А. К оценке роста и лесопатологического состояния дуба после изреживания полезащитных лесополос рубками ухода // Лесн. журн. 1987. № 4. С. 16–20. (Изв. высш. учеб. заведений).

4. Наставление по организации и ведению лесопатологического мониторинга в лесах России. М.: ВНИИЛМ, 2001. 88 с.

5. Петров П.Г. Рекомендации по рубкам ухода в основных лесных формациях Приморского края. Владивосток: Дальневост. кн. изд.-во, 1968. 128 с.

6. Петров П.Г., Лепехин А.А. Влияние рубок ухода на рост и продуктивность полезащитных лесных полос с преобладанием дуба черешчатого // Продуктивность экосистем лесоаграрного ландшафта: сб. науч. тр. / ВНИАЛМИ. Волгоград, 1988. Вып. 2(94). С. 169–179.

7. Турусов В.И., Лепехин А.А., Чеканышкин А.С. Опыт лесной мелиорации степных ландшафтов. Воронеж: Истоки, 2017. 228 с.

8. Турусов В.И., Чеканышкин А.С., Тищенко В.В., Годунов С.И., Ялманов И.В. Агроэкологическая роль лесных полос в преобразовании ландшафтов. М.: Тип. Россельхозакадемии, 2012. 191 с.

9. Чеканышкин А.С., Лепехин А.А. Состояние защитного лесоразведения в Центрально-Черноземной зоне // Лесн. журн. 2015. № 4. С. 9–17. (Изв. высш. учеб. заведений).

10. Чеканышкин А.С., Черенкова Г.П. Об улучшении качества полезащитных лесных полос // Лесн. хоз-во. 2004. № 2. С. 35–36.

11. Jonard M., Misson L., Ponette Q. Long-Term Thinning Effects on the Forest Floor and the Foliar Nutrient Status of Norway Spruce Stands in the Belgian Ardennes // Canadian Journal of Forest Research. 2006. Vol. 36, iss. 10. Pp. 2684–2695. DOI: 10.1139/x06-153

12. Korb J.E., Fulé P.Z., Gideon B. Different Restoration Thinning Treatments Affect Level of Soil Disturbance in Ponderosa Pine Forests of Northern Arizona, USA // Ecological Restoration. 2007. Vol. 25, no. 1. Pp. 43–49.

13. Peltola H., Kilpeläinen A., Sauvala K., Räisänen T., Ikonen V.-P. Effects of Early Thinning Regime and Tree Status on the Radial Growth and Wood Density of Scots Pine // Silva Fennica. 2007. Vol. 41, no. 3. Pp. 489–505. DOI: 10.14214/sf.285

14. Weiskittel A.R., Kenefic L.S., Seymour R.S., Phillips L.M. Long-Term Effects of Precommercial Thinning on the Stem Dimensions, Form and Branch Characteristics of Red Spruce and Balsam Fir Crop Trees in Maine, USA // Silva Fennica. 2009. Vol. 43, no. 3. Pp. 397–409. DOI: 10.14214/sf.196

Поступила 03.10.18

UDC 582.632.2:631.543.82

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.70

Growth and Vitality of English Oak in Plantations after Improvement Thinning

A.A. Lepyohin, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher

A.S. Chekanyshkin, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher

Research Institute of Agriculture of the Central Black Soil Strip named after V.V. Dokuchaev, 81, kv. V, pos. 2-go uchastka Instituta im. V.V. Dokuchayeva, Talovskiy rayon, Voronezh Region, 397463, Russian Federation; e-mail: niish1c@mail.ru

Issue of deterioration of condition and preservation of protective forest plantations, loss of their protective and ameliorative functions due to the lack of forest management service have become more urgent in recent decades in forest and agrarian landscapes of the Central Black Earth Region. Improvement thinning is the main tool in the forestry practice system which provides improvement in growth, development and sanitary state of protective forest

For citation: Lepyohin A.A., Chekanyshkin A.S. Growth and Vitality of English Oak in Plantations after Improvement Thinning. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 70–77. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.70

plantations. The purpose of our research is to determine the effect from improvement thinning on growth and sanitary state of forest belt stand and its main species – English oak. Forest valuation and pathology research were carried out in Kamennaya Steppe (Talovsky district, Voronezh region) in the period of 1986–2017. Afforestation belt no. 240 was a research object laid out according to line planting with the following scheme of species mixture: (Б+Ko)–Д–Д–Д–(Б+Ko), where Б – silver birch, Ko – Norway maple, Д – English oak. Stationary experiment is presented by the following plots: 1 – control without improvement thinning; 2 – plantation thinning with intensity of 21–33 % of wood stock by means of dominating thinning of fast-growing species (silver birch and balsam poplar), thinning of weak and bruised trees of the main species (English oak) and associated species (Norway maple) with felling waste removal from the plantation; 3 – the same as 2, but with lifting the canopy to the height of 1.5–2 m; 4 – the same as 3, but with clearing by scattering slash under stand's canopy. Length of plots 1–3 is 250 m, plot 4 – 140 m. It is established that thinning contribute to the improvement of forestry and biological indicators of English oak. Preservation excess of vigorous trees of the main species at the plots with improvement thinning in comparison with control plot is 13.0–24.3 %. Preserved trees of English oak on the plot without improvement thinning stunt in trunk diameter for 1.2–5.0 cm and height for 0.1–1.3 m. Proportion of forest mortality and inviable trees of English oak is increasing and proportion of viable and partially viable trees decreases after thinning. There is a need to carry out improvement thinning during growth and development of plantations for cultivating them sustainable, ameliorative and effective.

Keywords: forest plantations, scheme of species mixture, improvement thinning, English oak, forest pathology state of stand.

REFERENCES

1. Artyukhovskiy A.K., Kharchenko N.A., Bykov N.A., Aref'yev Yu.F. *Ekologicheskiye osnovy lesozashchity v nasazhdeniyakh zelenykh zon* [Ecological Basics of Forest Protection in Green Areas]. Voronezh, VGU Publ., 1994. 128 p. (In Russ.)
2. Dudarev A.D., Gladysheva N.V., Lozovoy A.D. *Metodika i tekhnika rabot na probnykh ploshchadyakh* [Methods and Techniques of Work in the Test Areas]. Voronezh, 1978. 80 p. (In Russ.)
3. Lepyokhin A.A. *K otsenke rosta i lesopatologicheskogo sostoyaniya duba posle izrezhivaniya polezashchitnykh lesopolos rubkami ukhoda* [Assessment of Growth and Forest Pathology State of Oak after Improvement Thinning of Afforestation Belts]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1987, no. 4, pp. 16–20.
4. *Nastavleniye po organizatsii i vedeniyu lesopatologicheskogo monitoringa v lesakh Rossii* [Manual on Organization and Management of Forest Pathology Monitoring in the Forests of Russia]. Moscow, VNIILM Publ., 2001. 88 p. (In Russ.)
5. Petrov P.G. *Rekomendatsii po rubkam ukhoda v osnovnykh lesnykh formatsiyakh Primorskogo kraya* [Recommendations for Improvement Thinning of the Major Forest Formations in Primorsky Krai]. Vladivostok, Dal'nevost. kn. izd-vo, 1968. 128 p. (In Russ.)
6. Petrov P.G., Lepyokhin A.A. *Vliyaniye rubok ukhoda na rost i produktivnost' polezashchitnykh lesnykh polos s preobladaniyem duba chereshchatogo* [Effect from Improvement Thinning on Growth and Productivity of Afforestation Belts with English Oak Predominance]. *Produktivnost' ekosistem lesoagrarnogo landshafta: sb. nauch. tr.* [Productivity of Forest and Agricultural Landscape Ecosystems: Collection of Academic Papers]. Volgograd, VNIALMI Publ., 1988, iss. 2(94), pp. 169–179.
7. Turusov V.I., Lepyokhin A.A., Chekanyshkin A.S. *Opyt lesnoy melioratsii stepnykh landshaftov* [Experience of Forest Amelioration of Steppe Landscapes]. Voronezh, Istoki Publ., 2017. 228 p. (In Russ.)

-
8. Turusov V.I., Chekanyshkin A.S., Tishchenko V.V., Godunov S.I., Yalmanov I.V. *Agroekologicheskaya rol' lesnykh polos v preobrazovanii landshaftov* [Agroecological Role of Forest Belts in Landscape Transformation]. Moscow, Tip. Rossel'khozakademii, 2012. 191 p. (In Russ.)
9. Chekanyshkin A.S., Lepyokhin A.A. Sostoyaniye zashchitnogo lesorazvedeniya v Tsentral'no-Chernozemnoy zone [Condition of Protective Afforestation in Central Black Earth Territories]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2015, no. 4, pp. 9–17.
10. Chekanyshkin A.S., Cherenkova G.P. Ob uluchshenii kachestva polezashchitnykh lesnykh polos [On Quality Improvement of Afforestation Belt]. *Lesnoye khozyaystvo*, 2004, no. 2, pp. 35–36.
11. Jonard M., Misson L., Ponette Q. Long-Term Thinning Effects on the Forest Floor and the Foliar Nutrient Status of Norway Spruce Stands in the Belgian Ardennes. *Canadian Journal of Forest Research*, 2006, vol. 36, iss. 10, pp. 2684–2695. DOI: 10.1139/x06-153
12. Korb J.E., Fulé P.Z., Gideon B. Different Restoration Thinning Treatments Affect Level of Soil Disturbance in Ponderosa Pine Forests of Northern Arizona, USA. *Ecological Restoration*, 2007, vol. 25, no. 1, pp. 43–49.
13. Peltola H., Kilpeläinen A., Sauvala K., Räisänen T., Ikonen V.-P. Effects of Early Thinning Regime and Tree Status on the Radial Growth and Wood Density of Scots Pine. *Silva Fennica*, 2007, vol. 41, no. 3, pp. 489–505. DOI: 10.14214/sf.285
14. Weiskittel A.R., Kenefic L.S., Seymour R.S., Phillips L.M. Long-Term Effects of Precommercial Thinning on the Stem Dimensions, Form and Branch Characteristics of Red Spruce and Balsam Fir Crop Trees in Maine, USA. *Silva Fennica*, 2009, vol. 43, no. 3, pp. 397–409. DOI: 10.14214/sf.196
-

Received on October 03, 2018

УДК 630*182.22:630*187:582.475(470.13-924.82)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.78

ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ДРЕВОСТОЕВ И ПОДРОСТА СЕВЕРОТАЕЖНЫХ КОРЕННЫХ ЕЛЬНИКОВ ЧЕРНИЧНО-СФАГНОВЫХ В ПРИУРАЛЬЕ*

А.В. Манов, канд. с.-х. наук

И.Н. Кутявин, канд. с.-х. наук

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 167982; e-mail: manov@ib.komisc.ru, kutjavin-ivan@rambler.ru

В статье рассмотрена пространственная структура древостоев и подроста двух коренных заболоченных ельников, находящихся в стадии климакса и спонтанно развивающихся в разных лесных массивах подзоны северной тайги в предгорьях Урала (Республика Коми). Представлены результаты сравнительного анализа размерной, возрастной и горизонтальной структур древостоев ельников. Показана степень дифференциации изучаемых растительных сообществ с учетом изменчивости диаметров деревьев на высоте 1,3 м и высоты подроста и использованием основных статистических показателей описательной статистики. В обоих ельниках отмечена большая вариабельность деревьев по диаметру, подроста – по высоте. Представлен тип возрастной структуры древостоев, подтверждающий их абсолютную разновозрастность. Приведены расчетные данные, полученные с помощью пространственной статистики и анализа точечных процессов проверки нулевой гипотезы о полной пространственной случайности. Выявлен случайный тип пространственной структуры как при совместном размещении деревьев, так и отдельно по категориям крупности и породам. Отмечена слабая агрегация лиственных деревьев на расстояниях менее 1 м. Подрост демонстрирует групповой характер размещения. Наиболее выражено скопление подроста в фитоценозе, в состав которого входит пихта. В выработавшихся, уравновешенных, климаксовых сообществах коренных типов леса обнаружен схожий тип горизонтальной структуры размещения деревьев и подроста на площади.

Ключевые слова: горизонтальная структура, ельник чернично-сфагновый, коренной лес, древостой, подрост, северная тайга, Приуралье.

Введение

Площадь коренных таежных лесов на Европейском Севере России неуклонно снижается, основной причиной этого является истощение освоенных

* *Финансирование:* Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Пространственно-временная динамика структуры и продуктивности фитоценозов лесных и болотных экосистем на Европейском Северо-Востоке России», № АААА-А17-117122090014-8 при финансовой поддержке комплексной программы № 18-4-4-29 УрО РАН «Зональные закономерности бюджета углерода в лиственно-хвойных экосистемах Европейского Северо-Востока», № АААА-А17-117122690104-0.

Благодарности: Авторы выражают благодарность д-ру биол. наук К.С. Бобковой за ценные советы в ходе подготовки рукописи статьи.

Для цитирования: Манов А.В., Кутявин И.Н. Горизонтальная структура древостоев и подроста северотаежных коренных ельников чернично-сфагновых в Приуралье // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 78–88. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.78

лесов в процессе лесозаготовок, разведки и добычи полезных ископаемых. Массивы спонтанной тайги остаются нетронутыми на заповедных территориях и в буферных зонах, преимущественно в предгорьях Урала [8]. Однако в последнее время стали все чаще упоминаться эти территории как объекты для промышленного их освоения, что служит прямой угрозой сохранению эталонов европейской тайги и ее биоразнообразия. Именно эти леса нуждаются в постоянном наблюдении и всестороннем изучении, потому что они являются «лакмусовой бумажкой» глобальных природных изменений. Экономические потери от изведения аборигенного лесного покрова во много раз превысят экономическую выгоду от его освоения [1].

Ельники доминируют в северотаежных лесах Приуралья, где они формируют, как правило, смешанные по составу и сложные по форме разновозрастные древостои с непрерывным лесовозобновительным процессом [8]. В таких древостоях постоянно прослеживаются разносторонние взаимовлияния древесных растений, проявляющиеся в конкурентных меж- и внутривидовых отношениях [14, 16]. Однако напряженность конкуренции неодинакова, что связано с неравномерностью размещения деревьев и различиями их жизненного состояния, приводящими к дифференциации размеров особей. В итоге конкурентные процессы обуславливают формирование ценозов определенной пространственной структуры, от которой во многом зависит устойчивость и продуктивность лесных экосистем [7].

Цель исследования – определение закономерностей горизонтальной структуры древостоев и подроста коренных ельников чернично-сфагновых разных лесных массивов подзоны северной тайги.

Задачи исследования:

- изучить строение древостоев по диаметру деревьев в двух коренных заболоченных ельниках;
- оценить строение подроста по высоте под пологом еловых древостоев;
- проанализировать структуру размещения деревьев и подроста на площади.

Предполагается, что сопоставимость исследуемых ельников по густоте древесных растений, их размерной и возрастной структуре должна отразиться на близости показателей горизонтальной структуры древостоев и подроста.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования – коренные ельники чернично-сфагновые климаксовых фаз динамики, развивающиеся в северотаежном районе Республики Коми в предгорьях Урала. Они относятся к Приуральскому елово-пихтовому округу Печорско-Уральской провинции. Изучаемые заболоченные ельники преимущественно без примеси пихты встречаются на слабо дренированных низинах, иногда у основания склонов и по окраинам болот. В составе древостоев характерно участие кедра [10].

Район исследования можно отнести к полюсу относительной недоступности, так как там отсутствуют какие-либо дороги, водный путь затруднен. В период полевых работ в исследуемых насаждениях не было обнаружено следов воздействий пожаров, ветровалов, очагов массового появления вредителей и болезней леса.

В 2015 г. в заболоченных коренных еловых сообществах были заложены две пробные площади (ПП) квадратной формы площадью 0,25 га.

Они расположены в разных лесных массивах и находятся на расстоянии ~50 км друг от друга в долготном градиенте. ПП условно обозначены по названиям рядом располагающихся географических объектов (рек).

Краткая таксационная характеристика данных объектов приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Таксационная характеристика древостоев
и подроста ельников чернично-сфагновых**

ПП	Состав	Порода	Возраст, лет	Густота, шт./га	Сумма площадей сечения, м ³ /га	Запас древесины, м ³ /га	Средние	
							высота, м	диаметр, см
<i>Древостой</i>								
«Оселок»	7ЕЗБ ед.К	Ель	55–240	564	11,80	90,0	10	14
		Береза	60–175	396	7,08	47,0	12	14
		Кедр	80–105	8	0,04	0,3	9	9
		<i>Всего</i>	–	968	18,92	137,3	–	–
«Щугор»	8Е2Б+К ед.Пх	Ель	105–190	460	15,40	106,9	10	14
		Береза	85–130	244	3,84	22,5	10	13
		Кедр	79–130	24	0,48	3,0	8	13
		Пихта	115–155	48	0,24	1,0	6	8
		<i>Всего</i>	–	776	19,96	133,4	–	–
<i>Подрост</i>								
«Оселок»	7БЗЕ+К	Береза	–	3504	–	–	1,4	–
		Ель	–	1664	–	–	1,6	–
		Кедр	–	256	–	–	0,8	–
		<i>Всего</i>	–	5424	–	–	–	–
«Щугор»	4Б4Е2Пх+К	Береза	–	1712	–	–	1,7	–
		Ель	–	1408	–	–	1,1	–
		Пихта	–	768	–	–	1,2	–
		Кедр	–	160	–	–	1,3	–
		<i>Всего</i>	–	4048	–	–	–	–

ПП «Оселок» (63°43'45,7" с. ш., 58°28'30,7" в. д.; 262 м над уровнем моря) расположена в еловом насаждении на окраине болота. Установлено, что насаждение образовано елью (*Picea obovata* Ledeb.), кедром (*Pinus sibirica* Du Tour) и березой (*Betula pubescens* Ehrh.). Ярусность древостоя не выражена. Сухостой и валеж, преимущественно из ели и березы, образуют ствольной запас древесины 26 м³/га. Подрост представлен теми же видами древесных растений, что и древостой. Подлесок редкий из *Juniperus* sp., *Ribes rubrum* L., *Lonicera caprifolium* L., *Rosa acicularis* Lindl. В травяно-кустарничковом ярусе доминирует *Vaccinium myrtillus* L., присутствуют *Equisetum sylvaticum* L., *Avenella flexuosa* L. Drejer, *Cornus suecica* L., *Rubus chamaemorus* L., *Carex globularis* L., *Rubus arcticus* L., *Solidago virgaurea* L., *Epilobium angustifolium* L. Моховой покров из крупных пятен образован *Sphagnum* sp., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp., *Polytrichum commune* Hedw.

ПП «Щугор» (64°13'51,4" с. ш., 58°33'44,4" в. д.; 201 м над уровнем моря) также размещена в еловом насаждении на окраине болота. Древостой из ели, пихты (*Abies sibirica* Ledeb.), кедра и березы. Ярусность его не выражена.

Сухостой и валеж представлены всеми породами, образующими древесный ярус. Их общий стволовой запас составляет $17 \text{ м}^3/\text{га}$. Подрост состоит из тех же видов древесных растений, что и древостой. Подлесок из *Juniperus* sp., *Abies sibirica*, *Sorbus aucuparia* L., *Rosa acicularis*, *Lonicera caprifolium*. В травяно-кустарничковом ярусе господствуют *Vaccinium myrtillus* и *Rubus arcticus*, присутствуют *Equisetum sylvaticum*, *Rubus chamaemorus*, *Carex globularis*, *Vaccinium uliginosum* L., *Allium ursinum* L., *Cornus suecica* L. Моховой покров состоит из *Sphagnum* sp. и мелких пятен *Hylocomium splendens*, *Polytrichum commune*.

Закладка ПП и таксационный анализ выполнены согласно [4], проведен сплошной переучет деревьев. У всех деревьев измерены диаметр и высота ствола. Для определения возраста с помощью возрастного бура отобраны образцы древесины (керы) у 20 % деревьев [19]. Подсчет возраста деревьев проведен по сканированным изображениям кернов в специальной компьютерной программе Coorecorder. Из-за большого количества подроста учитывали на участке ПП размером $25 \times 25 \text{ м}$. Телескопической линейкой измеряли высоту всего подроста на участке, дополнительно определяли позиции деревьев и подроста на площади в прямоугольной системе координат (X, Y) при помощи комплекса для инвентаризации леса Postex Laser Haglof с точностью $0,01 \text{ м}$ [21].

Для оценки пространственной структуры древостоев и подроста в сложных по строению и смешанных по составу насаждениях проведено их деление по категориям крупности и видам древесных растений. Для этого были рассмотрены на ПП позиции всех деревьев диаметром 6 см и более на высоте $1,3 \text{ м}$ (крупных $d_{1,3} \geq 16 \text{ см}$; средних $d_{1,3} = 10,0 \dots 15,9 \text{ см}$; мелких $d_{1,3} = 6,0 \dots 9,9 \text{ см}$), хвойных и лиственных деревьев, всего подроста диаметром менее $6,0 \text{ см}$ (крупного высотой $h \geq 1,5 \text{ м}$; среднего $h = 0,5 \dots 1,4 \text{ м}$; мелкого $h < 0,5 \text{ м}$), хвойного и лиственного подроста. Сухостойные деревья, валеж и сухой подрост в анализе не участвовали из-за малой выборки статистических показателей, что привело бы к ослаблению пространственных эффектов [15].

Для изучения горизонтальной структуры ельников применялся подход пространственной статистики, включающий в себя методы точечных процессов [22]. Размещение деревьев и подроста на плоскости (двухмерное пространство) может быть рассмотрено как точечный процесс, где «точки» – это положение оснований их стволов относительно координат X, Y .

Математической моделью для анализа точечных процессов послужил однородный процесс Пуассона, при котором точки располагаются случайным образом [20]. В качестве статистического инструмента для оценки пространственных взаимодействий в точечных процессах использовалась простая в интерпретации и имеющая некумулятивный характер парная корреляционная функция $g(r)$ [23]. Классический анализ точечных процессов основан на проверке нулевой гипотезы о полной пространственной случайности (ППС). Проверку этой гипотезы проводили методом Монте-Карло, который заключается в оценке значимости отклонения эмпирического $\hat{g}(r)$ от теоретического $g(r)$ значения функции [24]. Области с верхними (95 %) и нижними (5 %) доверительными интервалами принятия нулевой гипотезы о ППС получены с помощью 999 генераций модели однородного процесса Пуассона. Высокое число генераций позволяет уменьшить вероятность ошибки первого рода [18]. Выход кривой функции $\hat{g}(r)$ на расстоянии r за пределы верхнего доверительного интервала ($\hat{g}(r) > 1$) свидетельствует об агрегировании (скоплении,

группировании) точечных процессов, выход за пределы нижнего доверительного интервала ($\hat{g}(r) < 1$) – о регулярности (равномерности, упорядоченности) точечных процессов на расстоянии r . Случайные точечные процессы (однородный процесс Пуассона) отмечаются тогда, когда значение $\hat{g}(r)$ находится в пределах области принятия гипотезы о ППС ($\hat{g}(r) = 1$).

Статистическая обработка пространственных данных проводилась в пакете Spatstat [17] в программной среде R (<http://r-project.org>).

Степень дифференциации растительных сообществ изучаемых ельников рассматривалась нами с учетом изменчивости диаметров деревьев на высоте 1,3 м и высоты подроста по И.И. Гусеву [2]. Для этого использовались основные статистические показатели описательной статистики, рассчитанные средствами компьютерной программы MS Excel. Для оценки коэффициента вариации (C_v) при сравнении разных статистических выборок применяли следующие придержки, предложенные А.В. Тюриным [13]: малая изменчивость ($C_v < 10\%$), средняя ($C_v = 10...30\%$), большая ($C_v > 30\%$).

Результаты исследования и их обсуждение

Сравнительный анализ строения древесного яруса исследуемых ельников чернично-сфагновых показывает, что диаметры среднего дерева ($M \pm m_M$) в них имеют близкие значения. В обоих рассматриваемых древостоях отмечается большая изменчивость (C_v) диаметров стволов растущих деревьев. В них преобладают деревья диаметром тоньше среднего ($A > 0$), при этом ряды распределения диаметров высоковершинные ($E > 0$), сгруппированы на ПП «Оселок» около среднего значения густо, на ПП «Щугор» – слабо (табл. 2).

Таблица 2

Статистика рядов распределения деревьев по диаметру и подроста по высоте

Статистический показатель	ПП «Оселок»		ПП «Щугор»	
	Диаметр, см	Высота, м	Диаметр, см	Высота, м
Среднее значение (M)	13,9	1,5	13,8	1,4
Стандартная ошибка среднего значения (m_M)	0,5	0,1	0,4	0,1
Среднеквадратичное отклонение от среднего значения (σ)	7,5	1,2	6,2	1,1
Точность опыта (p), %	3,5	4,5	2,7	5,0
Коэффициент вариации (C_v), %	54,2	84,0	44,7	79,7
Асимметрия (A)	1,7	1,6	1,0	1,4
Эксцесс (E)	4,0	2,4	0,8	2,5

Подрост в исследуемых ельниках имеет схожее строение. Он близок по средней высоте ($M \pm m_M$). Вариабельность (C_v) высоты подроста в обоих ельниках очень большая. Везде преобладает подрост с высотой ниже среднего ($A > 0$), он сгруппирован ($E > 0$) около среднего значения (табл. 2).

Согласно структуре древесного яруса таежных ельников С.А. Дыренкова [3] и классификации его по Г.Е. Комину, И.В. Семечкину [6], изучаемые древостои относятся к одному типу возрастной структуры – абсолютно разновозрастному (рис. 1).

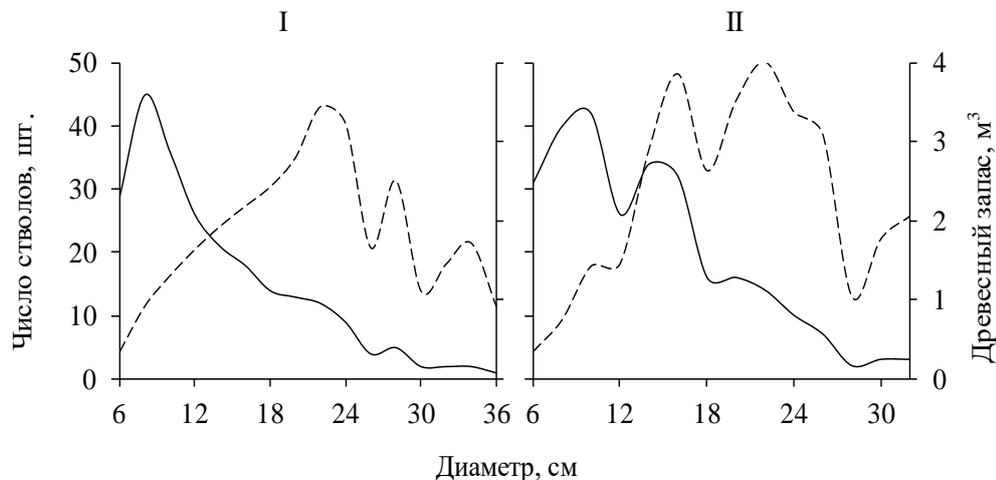


Рис. 1. Ряды распределения деревьев по диаметру на высоте 1,3 м в зависимости от числа стволов (сплошная линия) и древесного запаса (пунктирная линия): I – ПП «Оселок»; II – ПП «Щугор»

Fig. 1. Distribution series of trees by diameter at a height of 1.3 m depending on the number of trunks (solid line) and wood stock (dashed line): I – Oselok sample plot; II – Shchugor sample plot

В ходе статистического анализа данных по горизонтальной структуре древостоев ельников чернично-сфагновых выявлено, что размещение деревьев на площади носит случайный характер, т. е. модель пространственных точечных процессов соответствует однородному процессу Пуассона (рис. 2, Ia, IIa). В рассматриваемых древостоях отсутствуют пространственные зависимости в размещении деревьев крупной, средней и мелкой размерной категории по отдельности (рис. 2, Ib–г, IIb–г). Структура размещения хвойных деревьев на площади также характеризуется пространственной однородностью (рис. 2, Id, IIд). Однако на ПП «Щугор» отмечается слабое группирование хвойных деревьев на расстояниях менее 1 м, что связано с присутствием в составе древостоя пихты, которая в исследуемом сообществе образует ограниченные куртины из тонкомерных деревьев и подроста (рис. 2, IIд). Небольшое отклонение от пуассоновского процесса прослеживается в размещении лиственных деревьев на расстояниях менее 1 м, причиной которого является их порослевое происхождение из корневых отпрысков, ведущее к скоплению особей (рис. 2, Ie, IIe).

Процессы саморегуляции горизонтальной структуры фитоценозов исследуемых ельников отмечены в размещении подроста, для которого характерно групповое распространение, обусловленное их генезисом (рис. 2, IIIa–e, IVa–e). Бóльшая агрегированность особей древесных растений прослежена в размещении подроста на ПП «Щугор», что связано с наличием куртин пихты (рис. 2, IIIa–д, IVa–д). Подрост березы группируется примерно на равных расстояниях: на ПП «Оселок» – менее 4,0 м, на ПП «Щугор» – менее 4,5 м (рис. 2, IIIe, IVe).

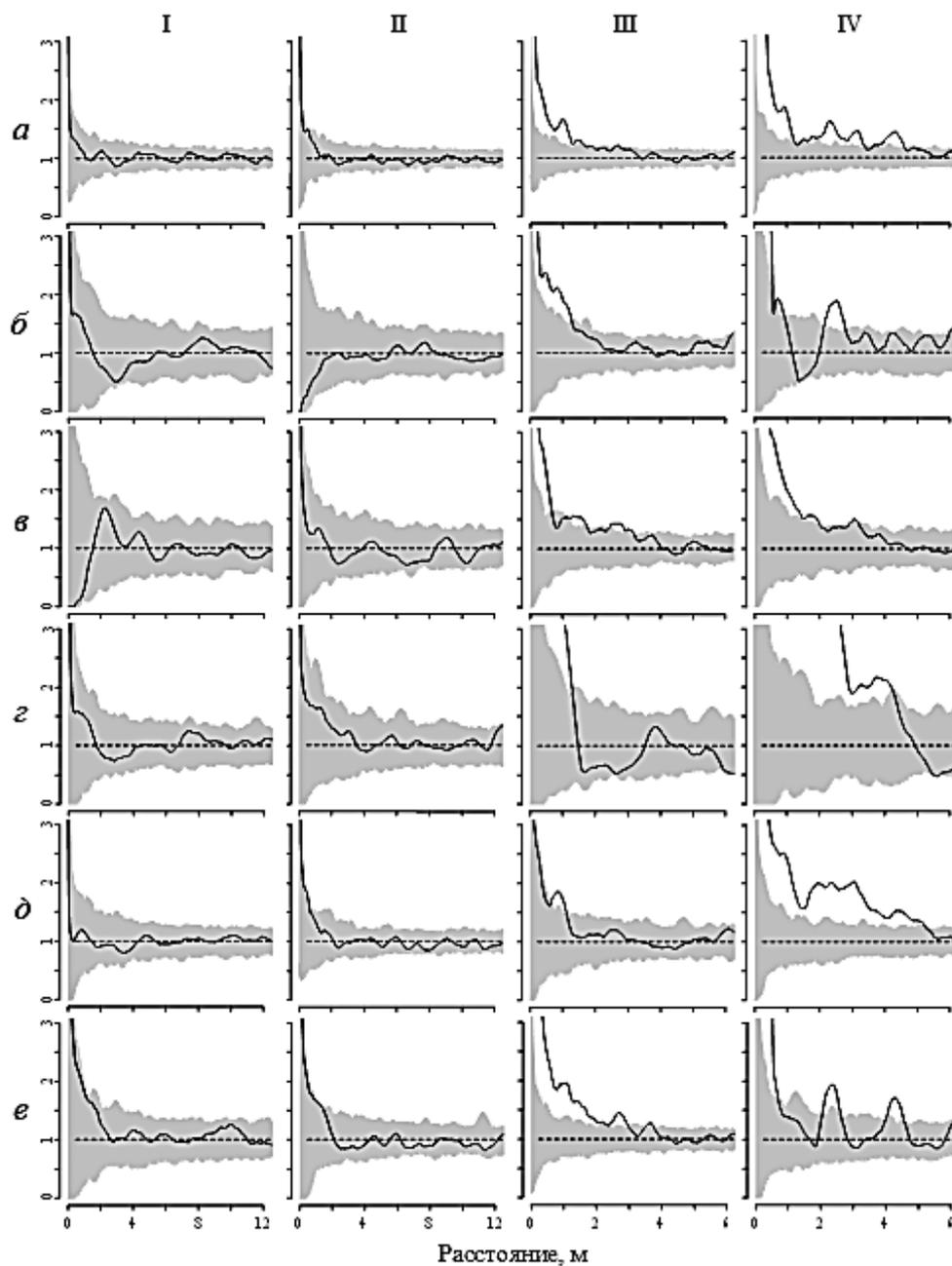


Рис. 2. Оценка эмпирической парной корреляционной функции $\hat{g}(r)$ (сплошная линия) и области принятия нулевой гипотезы о случайности размещения древесных растений (серая область) разных категорий на площади: I – ПП «Оселок», деревья; II – ПП «Шугор», деревья; III – ПП «Оселок», подрост; IV – ПП «Шугор», подрост; *a* – все; *б* – крупные; *в* – средние; *г* – мелкие; *д* – хвойные; *е* – лиственные

Fig. 2. Assessment of empirical pair correlation function $\hat{g}(r)$ (solid line) and acceptance zone of null hypothesis of complete spatial randomness of wood plants (gray area) of different categories in area: I – Oselok sample plot, trees; II – Shchugor sample plot, trees; III – Oselok sample plot, new growth; IV – Shchugor sample plot, new growth; *a* – all; *б* – large; *в* – medium; *г* – small; *д* – conifers; *е* – deciduous

Известно, что групповое размещение растений в естественно развивающихся фитоценозах происходит на стадии заселения территории и с возрастом меняет тип пространственной структуры [5, 7, 9, 11, 12 и др.]. В исследуемых ельниках наблюдается ослабление агрегированности особей древесных растений в категориях крупного и среднего подроста в возрасте более 20 лет (рис. 2, IIIб–в, IVб–в). Это связано с элиминацией в группах растений с высокой плотностью произрастания вследствие ограничения жизненного пространства и снижения количества питательных веществ в почве [5]. На данном этапе онтогенеза отмечается разрушение группового размещения древесных растений и переход их в случайный тип, что ведет к выравниванию напряженности взаимовлияния между растениями.

Сходство размерной, возрастной и пространственной структур исследуемых ельников чернично-сфагновых, развивающихся в разных лесных массивах, позволяет судить о близких условиях их формирования. Сложное структурное строение рассматриваемых нами сообществ, способность их к самовоспроизводству и медленный древесный отпад характеризуют их как наиболее выработавшиеся уравновешенные климаксовые древостои коренных типов леса [3, 12]. Здесь ель – мощный трансформатор экологических условий для подчиненных ценопопуляций – обуславливает их пространственный ритм размещения [16].

Заключение

Анализ экспериментальных данных подтвердил выдвинутую нами гипотезу о сравнимости горизонтальной структуры древостоев и подроста для коренных заболоченных ельников со схожим составом, строением и возрастной структурой. Насаждения чернично-сфагновых ельников, развивающиеся в естественных природных условиях северной тайги, формируют абсолютно разновозрастные древостои. Для растений древесного яруса характерно случайное размещение деревьев на площади. Небольшие скопления в составе древостоя могут образовывать деревья березы и пихты. В стадии подроста древесные растения размещаются группами.

Выявленные особенности горизонтальной структуры разновозрастных еловых древостоев отвечают природе коренных климаксовых ельников севера таежной зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков В.Г., Макарьева А.М. Биотический насос атмосферной влаги, его связь с глобальной атмосферной циркуляцией и значение для круговорота воды на суше. Гатчина: ПИЯФ, 2006. 49 с.
2. Гусев И.И. Моделирование экосистем: учеб. пособие. Архангельск: АГТУ, 2002. 112 с.
3. Дырников С.А. Структура и динамика таежных ельников. Л.: Наука, 1984. 174 с.
4. Загреев В.В., Сухих В.И., Швиденко А.З., Гусев Н.Н., Мошкалева А.Г. Общесоюзные нормативы для таксации лесов. М.: Колос, 1992. 495 с.
5. Ипатов В.С., Тархова Т.Н. Количественный анализ ценологических эффектов в размещении деревьев по территории // Ботан. журн. 1975. Т. 60, № 9. С. 1237–1250.
6. Комин Г.Е., Семечкин И.В. Возрастная структура древостоев и принципы ее типизации // Лесоведение. 1970. № 2. С. 24–33.
7. Кузьмичев В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели. Новосибирск: Наука, 2013. 208 с.
8. Пахучий В.В. Девственные леса Северного Приуралья. СПб.: Наука, 1999. 136 с.
9. Плотников В.В. Эволюция структуры растительных сообществ. М.: Наука, 1979. 276 с.

10. Производительные силы Коми АССР. Т. 3, ч. 1. Растительный мир / сост.: В.М. Болотова, А.А. Дедов, А.Н. Лащенко, Ю.П. Юдин; отв. ред.: Н.Е. Кабанов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 378 с.
11. *Проскураков М.А.* Горизонтальная структура горных темнохвойных лесов. Алма-Ата: Наука, 1983. 216 с.
12. *Стороженко В.Г.* Устойчивые лесные сообщества. Теория и эксперимент. Тула: Гриф и К°, 2007. 192 с.
13. *Тюрин А.В.* Основы вариационной статистики в применении к лесоводству. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1961. 103 с.
14. Факторы регуляции экосистем еловых лесов / под ред. В.Г. Карпова. Л.: Наука, 1983. 318 с.
15. *Фардеева М.Б., Исламова Г.Р., Чижикова Н.А.* Анализ пространственно-возрастной структуры растений на основе информационно-статистических подходов // Учен. зап. Казан. ГУ. Сер.: Естеств. науки. 2008. Т. 150, кн. 4. С. 226–240.
16. *Цветков В.Ф.* Лесной биогеоценоз. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. 268 с.
17. *Baddeley A., Turner R.* Spatstat: An R Package for Analyzing Spatial Point Patterns // Journal of Statistical Software. 2005. Vol. 12, no. 6. Pp. 1–42. Режим доступа: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v012i06> (дата обращения: 26.01.2005). DOI: 10.18637/jss.v012.i06
18. *Grabarnik P., Myllymäki M., Stoyan D.* Correct Testing of Mark Independence for Marked Point Patterns // Ecological Modelling. 2011. Vol. 222, iss. 23–24. Pp. 3888–3894.
19. *Grissino-Mayer H.D.* A Manual and Tutorial for the Proper Use of an Increment Borer // Tree-Ring Research. 2003. Vol. 59(2). Pp. 63–79.
20. *Illian J., Penttinen A., Stoyan H., Stoyan D.* Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns. Chichester: John Wiley & Sons, 2008. 560 p.
21. *Kalliovirta J., Laasasenaho J., Kangas A.* Evaluation of the Laser-Relascope // Forest Ecology and Management. 2005. Vol. 204, iss. 2–3. Pp. 181–194. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.09.020
22. *Schabenberger O., Gotway C.A.* Statistical Methods for Spatial Data Analysis. New York: Chapman & Hall/CRC, 2005. 512 p.
23. *Stoyan D, Penttinen A.* Recent Applications of Point Process Methods in Forestry Statistics // Statistical Science. 2000. Vol. 15, no. 1. Pp. 61–78. Режим доступа: <https://projecteuclid.org/euclid.ss/1009212674> (дата обращения: 24.12.2001). DOI: 10.1214/ss/1009212674
24. *Wiegand T., Moloney K.A.* Rings, Circles, and Null-Models for Point Pattern Analysis in Ecology. *Oikos*, 2004, vol. 104, iss. 2, pp. 209–229. Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.0030-1299.2004.12497.x> (дата обращения: 16.01.2004). DOI: 10.1111/j.0030-1299.2004.12497.x

Поступила 05.02.18

UDC 630*182.22:630*187:582.475(470.13-924.82)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.78

Horizontal Structure of Forest Stands and New Growth of Northern Taiga Virgin Blueberry-Sphagnum Spruce Forests in Cisurals

A.V. Manov, Candidate of Agricultural Sciences

I.N. Kutjavin, Candidate of Agricultural Sciences

Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Kommunisticheskaya, 28, Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: manov@ib.komisc.ru, kutjavin-ivan@rambler.ru

The article considers spatial structure of forest stands and new growth of two virgin spruce blueberry-sphagnum forests in a climax stage and spontaneously developing in different forest

For citation: Manov A.V., Kutjavin I.N., Horizontal Structure of Forest Stands and New Growth of Northern Taiga Virgin Blueberry-Sphagnum Spruce Forests in Cisurals. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 78–88. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.78

lands of the Northern Taiga subzone and foothills of the Ural Mountains (the Komi Republic). The results of comparative analysis of size, age and horizontal structure of the forest stands are presented. The degree of differentiation of the studied plant communities was shown in respect of variability of trees diameters at a height of 1.3 m and height of new growth with the use of descriptive statistics indicators. Large variability of trees diameters and new growth heights in the both spruce forests was emphasized. Type of age structure of the forest stands which confirms their absolute age difference is shown. Estimated data received by the means of spatial statistics and point process analysis of testing of null hypothesis of complete spatial randomness is represented. Random spatial structure was found in the case of trees collocation and in the case of separate trees location according their sizes and breeds. Weak aggregation of deciduous trees at distances less than 1 m is emphasized. New growth demonstrates group character of distribution. Accumulation of the new growth in phytocenosis, which includes fir, is the strongest. The similar type of horizontal structure distribution of trees and new growth is found in developed balanced climax communities of virgin forests.

Keywords: horizontal structure, blueberry-sphagnum spruce forest, virgin forest, tree stand, new growth, Northern taiga, Cisurals.

REFERENCES

1. Gorshkov V.G., Makar'yeva A.M. *Bioticheskiy nasos atmosfery vlagi, ego svyaz' s global'noy atmosfery tsirkulyatsiyey i znacheniyey dlya krugovorota vody na sushe* [Biotic Pump of Atmospheric Moisture, Its Relation to Global Atmospheric Circulation and the Importance for the Water Cycle on Land]. Gatchina, PNPI Publ., 2006. 49 p. (In Russ.)
2. Gusev I.I. *Modelirovaniye ekosistem: ucheb. posobiye* [Modeling of Ecosystems: Educational Textbook]. Arkhangel'sk, ASTU Publ., 2002. 112 p. (In Russ.)
3. Dyrenkov S.A. *Struktura i dinamika tayezhnykh el'nikov* [Structure and Dynamics of Taiga Spruce Forests]. Leningrad, Nauka Publ., 1984. 174 p. (In Russ.)
4. Zagreyev V.V., Sukhikh V.I., Shvidenko A.Z., Gusev N.N., Moshkalev A.G. *Obshchесоюзные нормативы для таксации лесов* [All-Union Standards for Forest Valuation]. Moscow, Kolos Publ., 1992. 495 p. (In Russ.)
5. Ipatov V.S., Tarkhova T.N. *Kolichestvennyy analiz tsenoticheskikh effektov v razmeshchenii derev'yev po territorii* [Quantitative Analysis of Cenotic Effects in Trees Location over an Area]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal], 1975, vol. 60, no. 9, pp. 1237–1250.
6. Komin G.E., Semechkin I.V. *Vozrastnaya struktura drevostoyev i printsipy eyo tipizatsii* [Age Structure of Forest Stands and the Principles of Its Typification]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1970, no. 2, pp. 24–33.
7. Kuz'michev V.V. *Zakonomernosti dinamiki drevostoyev: printsipy i modeli* [Dynamics Patterns of Forest Stands: Principles and Models]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2013. 208 p. (In Russ.)
8. Pakhuchiy V.V. *Devstvennyye lesa Severnogo Priural'ya* [Virgin Forests of the Northern Cisurals]. Saint Petersburg, Nauka Publ., 1999. 136 p. (In Russ.)
9. Plotnikov V.V. *Evolutsiya struktury rastitel'nykh soobshchestv* [Evolution of Plant Communities Structure]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 276 p. (In Russ.)
10. *Proizvoditel'nyye sily Komi ASSR. Vol. 3, p. 1. Rastitel'nyy mir* [Productive Forces of the Komi ASSR. Plant Life]. Ed. by N.E. Kabanov. Content by V.M. Bolotova, A.A. Dedov, A.N. Lashchenkova, Yu.P. Yudin. Moscow, AN SSSR Publ., 1954, 378 p. (In Russ.)
11. Proskuryakov M.A. *Gorizontal'naya struktura gornykh temnokhvoynykh lesov* [Horizontal Structure of Mountain Dark Coniferous Forests]. Alma-Ata, Nauka Publ., 1983. 216 p. (In Russ.)
12. Storozhenko V.G. *Ustoychivyye lesnyye soobshchestva. Teoriya i eksperiment* [Sustainable Forest Communities. Theory and Practice]. Tula, Grif i K° Publ., 2007. 192 p. (In Russ.)
13. Tyurin A.V. *Osnovy variatsionnoy statistiki v primenenii k lesovodstvu* [Fundamentals of Variation Statistics in Application to Forestry]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1961. 103 p. (In Russ.)

14. *Faktory regulyatsii ekosistem elovykh lesov* [Factors of Ecosystems Regulating of Spruce Forests]. Ed. by V.G. Karpov. Leningrad, Nauka Publ., 1983. 318 p. (In Russ.)

15. Fardeyeva M.B., Islamova G.R., Chizhikova N.A. Analiz prostranstvenno-vozrastnoy struktury rasteniy na osnove informatsionno-statisticheskikh podkhodov [Analysis of the Spatial and Age Structure of Plants on the Base of Information and Statistical Approaches]. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki* [Proceedings of the Kazan State University. Natural Sciences Series], 2008, vol. 150, book 4, pp. 226–240.

16. Tsvetkov V.F. *Lesnoy biogeotsenoz* [Forest Biogeocenosis]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2004. 267 p. (In Russ.)

17. Baddeley A., Turner R. Spatstat: An R Package for Analyzing Spatial Point Patterns. *Journal of Statistical Software*, 2005, vol. 12, no. 6, pp. 1–42. Available at: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v012i06> (accessed 26.01.2005). DOI: 10.18637/jss.v012.i06

18. Grabarnik P., Myllymäki M., Stoyan D. Correct Testing of Mark Independence for Marked Point Patterns. *Ecological Modelling*, 2011, vol. 222, iss. 23–24, pp. 3888–3894.

19. Grissino-Mayer H.D. A Manual and Tutorial for the Proper Use of an Increment Borer. *Tree-Ring Research*, 2003, vol. 59(2), pp. 63–79.

20. Illian J., Penttinen A., Stoyan H., Stoyan D. *Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns*. Chichester, John Wiley & Sons, 2008. 560 p.

21. Kalliovirta J., Laasasenaho J., Kangas A. Evaluation of the Laser-Relascope. *Forest Ecology and Management*, 2005, vol. 204, iss. 2–3, pp. 181–194. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.09.020

22. Schabenberger O., Gotway C.A. *Statistical Methods for Spatial Data Analysis*. New York, Chapman & Hall/CRC, 2005. 512 p.

23. Stoyan D, Penttinen A. Recent Applications of Point Process Methods in Forestry Statistics. *Statistical Science*, 2000, vol. 15, no. 1, pp. 61–78. Available at: <https://projecteuclid.org/euclid.ss/1009212674> (accessed 24.12.2001). DOI: 10.1214/ss/1009212674

24. Wiegand T., Moloney K.A. Rings, Circles, and Null-Models for Point Pattern Analysis in Ecology. *Oikos*, 2004, vol. 104, iss. 2, pp. 209–229. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.0030-1299.2004.12497.x> (accessed 16.01.2004). DOI: 10.1111/j.0030-1299.2004.12497.x

Received on February 05, 2018

УДК 634*2:631.6

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.89

НОВОЕ О ЛЕСООБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ В ЛЕСНЫХ ПОЛОСАХ КАМЕННОЙ СТЕПИ

В.Д. Тунякин, канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр.

В.С. Вавин, канд. с.-х. наук, директор

Н.В. Рыбалкина, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Каменно-Степное опытное лесничество», пос. 2-го уч-ка Института им. Докучаева, д. 64а, Галовский р-н, Воронежская обл., Россия, 397463; e-mail: ksolnauka@mail.ru

В статье рассматриваются особенности формирования структуры искусственно созданного насаждения на черноземных почвах в условиях переходной зоны от лесостепи к степи. Лесная полоса (возраст 113 лет) рассматривается как саморазвивающийся лесной биоценоз с наличием лесной опушки, самосева древесных и кустарниковых пород, подроста и подлеска. Показаны многолетние (возраст от 30 до 113 лет) изменения породного состава насаждения, в котором берест из преобладающей породы перешел в опушечную, а первый ярус сформировался из редко стоящих деревьев дуба, ясеня, клена полевого высокорослой формы, реже липы и акации белой. Выявлена роль лесной опушки не только в расширении границ лесной полосы, но и в формировании сложного разновозрастного насаждения. Впервые показано возникновение переходной зоны между материнским древостоем и лесной опушкой в старовозрастном искусственно созданном насаждении, ширина которого увеличилась от 10,7 м до 64,0 м. В переходной зоне формируется новый древостой семенного и корнеотпрыскового происхождения. Определена положительная роль высокорослой формы клена полевого, клена ясенелистного, акации белой и ясеня американского в лесообразовательном процессе, происходящем в узких защитных лесных полосах. Обилие самосева ясеня американского и обыкновенного на северной опушке и самосева клена ясенелистного на южной опушке, состоящей из корнеотпрысковых экземпляров акации белой и береста, указывает на сложный механизм разрастания насаждения за пределы первоначальных границ. Присутствие разновозрастного подроста во всех структурных составляющих насаждения, в том числе и на опушках, подтверждает способность насаждения к дальнейшему развитию лесообразовательного процесса и расширению его границ не только за счет разрастания опушек, но и образования нового древостоя основных лесообразующих древесных пород. Предлагается для предотвращения расширения насаждений за счет пашни, при необходимости сооружения противопожарных минерализованных полос, отступать от лесной полосы на 3...5 м, чтобы не создавать условий для прорастания семян деревьев и кустарников. Наиболее эффективным способом содержания лесных полос в проектных границах является периодическое удаление наклоненных к полю деревьев и формирование узкой защитной лесной опушки.

Ключевые слова: защитная лесная полоса, лесообразовательный процесс, подрост, подлесок, самосев, структура насаждения, лесная опушка, промежуточная зона.

Введение

Агроресомелиорация как самостоятельная отрасль, работающая на стабилизацию сельскохозяйственного производства, зарождалась еще в начале XIX в.

Для цитирования: Тунякин В.Д., Вавин В.С., Рыбалкина Н.В. Новое о лесообразовательном процессе в лесных полосах Каменной Степи // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 89–100. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.89

Однако статуса самостоятельности она по многим причинам не получила, но благодаря ей в России сейчас имеется более 1 млн га полезащитных лесных насаждений.

Наукой и практикой доказана несомненная положительная экономическая и экологическая роль защитных лесных насаждений. Эксперименты проводились главным образом с молодыми и средневозрастными насаждениями, когда они были здоровы, ширина их сохранялась в основном в рамках проектной, поэтому создавалась иллюзия их целостности и стабильности. В настоящее время, когда большинству защитных насаждений уже более 50 лет, а Каменно-Степной системе лесных полос даже более 100 лет, наглядно видна картина ее деградации и распада.

В лесной науке России достаточно подробно изучена динамика естественной смены пород и создана методология лесохозяйственных уходов за лесом [7, 8, 10]. За рубежом разработаны современные методы прогнозирования роста и продуктивности лесных биоценозов [11,12], оригинальная технология содержания лесов предложена Дж. Франклином в 1989 г. [13] и Т.К. Гиллом [14]. У нас в России предложены методы управления развитием лесов и рационального их использования [2, 4], принципы формирования устойчивого рукотворного леса путем введения культур с учетом экологической обстановки места лесопроизрастания [6]. Но все выше перечисленные проекты касаются естественных лесов. Для полезащитного лесоразведения концепция развития современной агролесомелиорации представлена академиком Е.С. Павловским еще в 1992 г. Он широко раскрыл проблемы и перспективу защитного лесоразведения в системе аграрного производства и экологии России. Заслуживает особого внимания «Прогноз развития защитного лесоразведения в России до 2020 г.» [3]. Все эти разработки направлены на повышение экономической, экологической и социальной роли системы защитных лесных полос. Чтобы управлять работой системы, необходимо знать эволюцию отдельно взятого насаждения.

Цель исследования – изучение особенностей развития древостоя и его структурных элементов в пространстве и времени на примере искусственного узкополосного насаждения, заложенного 113 лет назад в Каменной Степи на черноземных почвах в условиях неустойчивого увлажнения переходной зоны от лесостепи к степи.

Объекты и методы исследования

Обследованы 27 лесных защитных насаждений разного состава, ширины, возраста и расположения на территории Каменной Степи. Сделана визуальная оценка структуры этих полос. Для подробного анализа выбрана лесная полоса, в наименьшей степени подвергшаяся вмешательству человека. Проанализированы архивные материалы таксации лесных полос с 1936 г. до настоящего времени. Проведена детальная оценка наличия и состояния самосева, подроста, подлеска и жизнеспособности древостоя. Выявлена динамика изменения параметров насаждения и его состава. Применялась методика Е.С. Павловского и А.В. Карагана для оценки состояния деревьев по категориям [9]: I – здоровые деревья; II – ослабленные со слабо ажурной кроной и усыханием отдельных ветвей; III – сильно ослабленные (суховершинные, с ажурной кроной); IV – усыхающие с сильно ажурной кроной, сухокронные; V – свежий сухостой (деревья, усохшие в текущем году); VI – старый сухостой (деревья, усохшие в прошлые годы, ветровал или бурелом незаселенный, заселенный, обработанный вредителями).

Результаты исследования и их обсуждение

Вся работа была поделена на 3 этапа: 1 – подбор древесных и кустарниковых пород, пригодных для создания лесных насаждений; 2 – совершенствование схем смешения (поиск наилучшего сочетания древесных пород); 3 – поиск приемов лесовосстановления погибающих насаждений. Однако был пропущен важнейший этап – воспитание насаждения, или управление развитием древостоя в нужном направлении. Работали в направлении саморегуляции насаждений, которое происходило не в пользу заданной цели.

В связи с этим вынуждены были заняться изучением лесовосстановительных рубок в молодых лесных полосах из-за массового их усыхания в 30-летнем возрасте. Гибель деревьев в лесных полосах могла быть обусловлена многими причинами, но, учитывая опыт степного лесоразведения лесоводов Каменной Степи, можно предположить, что основная из них – перегущенность древостоев и наличие интродуцентов, не приспособленных к климату Каменной Степи [5]. Недостаточная площадь питания (при посадке на 1 дерево приходилось примерно по 1 м²) сказалась отрицательно после жесточайших засух 1921 и 1924 гг. [1], т. е. природа указала на допущенные ошибки. Необходимо было формировать жизнеспособный лесной биоценоз – своевременно изреживать древостой, но технология таких работ для узкополосных насаждений тогда еще отсутствовала. Процесс управления густотой лесных полос был взят из имеющихся лесохозяйственных приемов для естественных лесов. Эта технология сохраняется в малоизмененном виде до настоящего времени.

В агролесомелиоративной науке и практике больше внимания уделялось конструкции лесных полос, что диктовалось требованием производства, а структура насаждений оставалась мало изученной. Данную ситуацию можно оправдать тем, что в молодых лесных полосах структура однородная, а в средневозрастных только начинается дифференциация таких компонентов насаждения, как древостой и опушечная зона лесной полосы. Новые знания о структуре искусственно созданных узкополосных насаждений и динамике их развития можно получить лишь тогда, когда лесная опушка станет стабильной составляющей лесной полосы.

Лесоводы особой экспедиции В.В. Докучаева изначально понимали сложность выращивания лесных полос в условиях степного климата и знали, что степь будет вытеснять лесные насаждения, как чуждый элемент, внедренный человеком. Чтобы защитить молодые лесные культуры от задернения почвы степной растительностью – сильнейшим конкурентом за влагу – одновременно с основным будущим древостоем при посадке лесных полос создавались лесные опушки.

В Каменной Степи лесоводами этой экспедиции, а позже и лесоводами Каменно-Степного опытного лесничества, для создания опушек испытывались разные виды кустарниковых и древесных пород, в большинстве случаев использовался лох узколистный [5]. Но еще в таксационном описании 1936 г. он указан как устаревший и отмирающий или как поросль после омоложения опушек. В настоящее время опушки лесных полос состоят в основном из кленов ясенелистного и татарского, ильмовых, бузины черной и красной, боярышника, терна, лох встречается очень редко, единичными экземплярами на световых опушках.

Анализируя современное состояние старовозрастных лесных полос, можно предположить значительную роль опушек в лесообразовательном процессе, происходящем в искусственно созданных насаждениях. Все обследованные нами лесные полосы в возрасте от 115 до 122 лет, шириной от 10,5 до 118,0 м и с преобладанием дуба черешчатого, ясеня обыкновенного и пушистого, клена остролистного и вяза обыкновенного имеют плотную конструкцию и лесные опушки шириной от 8,0 до 18,0 м. Во всех насаждениях проводились рубки ухода, и только в одной полосе (№ 64) древостой формировался естественным путем. Она заложена лесничим Каменно-Степного опытного лесничества Н.А. Михайловым в 1905 г. В момент закладки ширина ее составляла 10,7 м с узкой опушкой из лоха узколистного.

Используя фондовые материалы, мы проследили изменение породного состава и ширины лесной полосы, в которой не проводилось направленного формирования древостоя, а проходили только санитарные рубки в стадии жердняка и эпизодические вырубki опушек. Саморегуляция породного состава насаждения отражена в табл. 1.

Из-за господства в материнском древостое вяза и береста опушки к 30-летнему возрасту насаждения сформировались из корнеотпрыскового береста. Через 16 лет за счет разрастания опушек средняя ширина полосы увеличилась на 11,0 м, а их породный состав пополнился бузиной, кленами полевым и ясенелистным, в меньшей степени жимолостью. Редкий подрост дуба черешчатого, клена полевого и береста достиг средней густоты, пополнившись ясенем обыкновенным, липой мелколистной и акацией белой. В подлеске, кроме жимолости, появились клен полевой и акация желтая.

Спустя 10 лет насаждение достигло ширины 34 м и имело густые опушки, в которых, кроме перечисленных выше пород, появились черемуха, шиповник, ясень пушистый. Среди подроста выпал семенной дуб. Подлесок стал местами густым и дополнился шиповником и боярышником.

Еще через 10 лет, в 67-летнем возрасте, ширина насаждения увеличилась на 2,0 м и, судя по таксациям последующих лет, сохранялась до 1992 г. Среди подроста появляются ясень обыкновенный, клен остролистный и очень редко дуб. Подлесок присутствует в прежнем составе.

В настоящее время ширина насаждения с учетом опушек неравномерная и составляет 57,0...64,0 м. В северной опушке преобладает клен ясенелистный, в южной – акация белая, берест и клен ясенелистный. Средняя ширина северной опушки – 17,5 м, южной – 15,5 м (по кронам).

Неравномерность ширины опушек вызвана разными углами наклона и высотой клена ясенелистного. Некоторые деревья этой породы, достигнув высоты 19,0 м при диаметре 40,0 см, ложатся кронами на землю, особенно это касается многоствольных экземпляров. При этом от ствола вырастают в строго вертикальном положении хорошо облиственные ветви, образуя дополнительную крону, благодаря чему дерево может существовать многие годы и обильно плодоносить.

Что касается древостоя, то к 1952 г. берест выпал из I яруса и его господство сменилось участием березы (*Betula pendula* L.), ясеня (*Fraxinus excelsior* L.) и вяза (*Ulmus laevis* Pall.) в равных пропорциях. Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) из единично встречающегося занял 10 % запаса древостоя 47-летнего возраста и 30 % во II ярусе. Через 10 лет, при господстве березы в I ярусе, дуб составлял 20 и 80 % в I и II ярусах соответственно. В 57-летнем возрасте появился III ярус, включающий все породы плюс клен остролистный (*Acer platanoides* L.) и акацию белую (*Robinia pseudoacacia* L.),

Таблица 1

Изменение породного состава и ширины насаждения за 1936–2018 гг. (лесная полоса № 64, 113 лет)

Год таксации (автор)	Ярус	Породный состав	Количество, шт./га	Доля сухих, %	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Запас древесины, м ³ /га	Ширина, м
1936 г. (Ю.В. Ключников)	I	8Бст1Б1Яо+Д	–	–	14,0	18,0	215,0	10,7
	II	6Лп2Д2Бст ед. Д	–	–	–	–	–	
1952 г. (Е.С. Павловский)	I	3Б3Яо3В1Д+Кяс.	517	2,9	17,1	24,5	219,3	22,0
	II	7Лп3Д+В, Бст, Кяс.	307	–	8,4	12,4	21,1	
1962 г. (Е.С. Павловский)	I	8Б2Д	27	–	17,8	34,4	18,4	34,0
	II	8Д2Лп	60	0,7	12,3	25,4	21,5	
	III	5Лп3Бст1Кяс1Д+Ко, Аб	227	–	–	–	–	
1972 г. (Н.Г. Петров, Б.И. Скачков)	I	5Б3Я2Д+Лп	328	–	20,3	35,1	310,6	36,0
	II	5Лп3Д2Яо+Кя, ед. Б, В	220	1,8	11,9	19,3	42,6	
	III	4Лп3Яо2Д1В, ед. Б, Ко	664	–	6,4	9,0	16,8	
1982 г. (П.Г. Петров, Б.И. Скачков)	I	5Д3Б2Лп	40	–	19,5	40,3	47,8	36,0
	II	8Лп1Д1Кяс	176	0,5	13,6	26,1	59,5	
	III	6Кяс2Лп1Яп1Яо+В	955	–	8,0	8,4	25,5	
1992 г. (А.Г. Ахтямов)	I	3Яо3Б2Д2Лп+Яп	112	–	21,9	44,7	192,3	36,0
	II	6Лп3Яп1Д+Б, В, Аб	50	5,4	15,8	20,9	14,1	
	III	6Лп2Яо1Ко1Кя	46	–	–	–	–	
2002 г. (А.Г. Ахтямов)	–	7Я2Лп1Д+Б	179	1,3	21,1	42,0	255,0	47,0
	I	6Д2Яо1В1Аб+Кл, Лп	182	4,1	21,5	38,0	211,7	
2018 г. (авторы статьи)	II	5Яо2Д2Ко1Лп	56	12,5	16,0	17,5	10,2	57,0...64,0

Примечание. 1. Аб – акация белая; Б – береза; Вст – берест; В – вяз обыкновенный; Д – дуб черешчатый; Ко – клен остролистый; Кп – клен полевой; Кя – клен ясенелистный; Лп – липа мелколистная; Яп – ясень обыкновенный; Яп – ясень пушистый. 2. А.Г. Ахтямов представил усредненный состав насаждения по I и II ярусам, его ширина не указана.

но пропал ясень, который не показан и в верхних ярусах. Судя по количеству деревьев, произошло массовое усыхание вяза, ясеня и березы. Из небольшого количества выживших деревьев на березу пришлось 80 %. Во II ярусе преимущество начала набирать липа (*Tilia cordata* Mill.) и удерживала его 20 лет, до 87-летнего возраста. Единично появившись в I ярусе в 67 лет, она увеличивала процент своего участия до 97-летнего возраста. Достигнув 113 лет, липа участвует в I ярусе насаждения единично, во II – составляет 10 %, но жизнеспособность ее ограничена. Отсутствие ясеня в I ярусе, по данным таксации 1982 г., можно объяснить смещением учетной площадки, что было вызвано гибелью деревьев на постоянной учетной площади.

Тенденция развития насаждения: первым, в силу неустойчивости к морозам и подверженности болезням, теряет свое господство берест, затем – береза, потом – ясень. Дуб стабильно сохраняет свое присутствие в древостое, хотя в разном процентном соотношении, но после 100-летнего возраста он превалирует над всеми породами.

Научный интерес в процессе формирования насаждения представляют клен полевой (*Acer campestre* L.) высокорослой формы и акация белая (*Robinia pseudoacacia* L.). Клен полевой фигурирует при описании насаждения В.В. Ключниковым в качестве редкого подростка порослевого происхождения, в настоящее время он присутствует в I ярусе. Высота его 19,0...20,0 м при диаметре 34,0 см. Несмотря на единичное его участие в составе древостоя, под пологом насаждения имеется достаточное количество благонадежного подростка этой породы. Акация белая (указана последней) была отмечена Е.С. Павловским в 1952 г. в качестве подростка средней густоты наряду с ясенем обыкновенным, липой, вязом, берестом и единичным дубом. В настоящее время акация белая заняла значительную часть южной опушки и куртинно произрастает внутри насаждения. Некоторые ее экземпляры достигли высоты 19,0 м при диаметре 38,0 см. Акация белая вышла в III ярус южной опушечной зоны.

Чтобы понять роль выше перечисленных пород в лесообразовательном процессе, рассмотрим структуру изучаемого насаждения. В агролесомелиоративной науке защитные лесные полосы изначально рассматривались (в отношении структуры полос) единым древостоем. На базе детального обследования лесных полос разного состава и возраста обнаружено, что у насаждений после 50-летнего возраста просматривается тенденция неоднородности структуры: появляются лесные опушки там, где их не высаживали. Как известно, начиная с 1949 г., в период расцвета агролесомелиоративных работ все полезащитные лесные полосы создавались без лесных опушек. Теперь все 50–60-летние полосы имеют лесные опушки, просматривается промежуточная зона между материнским древостоем и опушкой, которая отличается от материнского древостоя разным количеством самосева, подростка и подлеска. Чем старше лесная полоса, тем четче выделяется эта промежуточная зона (рис. 1).

Рассмотрим первую стадию лесообразовательного процесса в искусственно созданном узкополосном насаждении – появление самосева древесных и кустарниковых пород. Анализ данных учета самосева показал, что наибольшее его количество наблюдается на северной опушке и в промежуточной зоне между южной опушкой и материнским древостоем, наименьшее – под пологом материнского древостоя (табл. 2).

Рис. 1. Схема расположения основных структурообразующих элементов лесной полосы

Fig. 1. Layout of the basic structuring elements of a forest strip

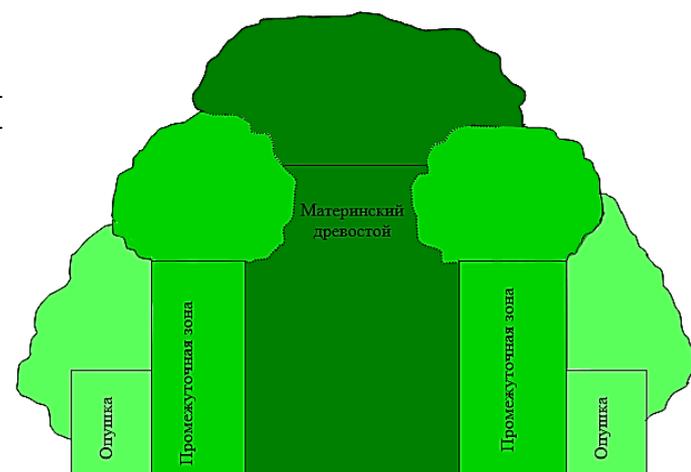


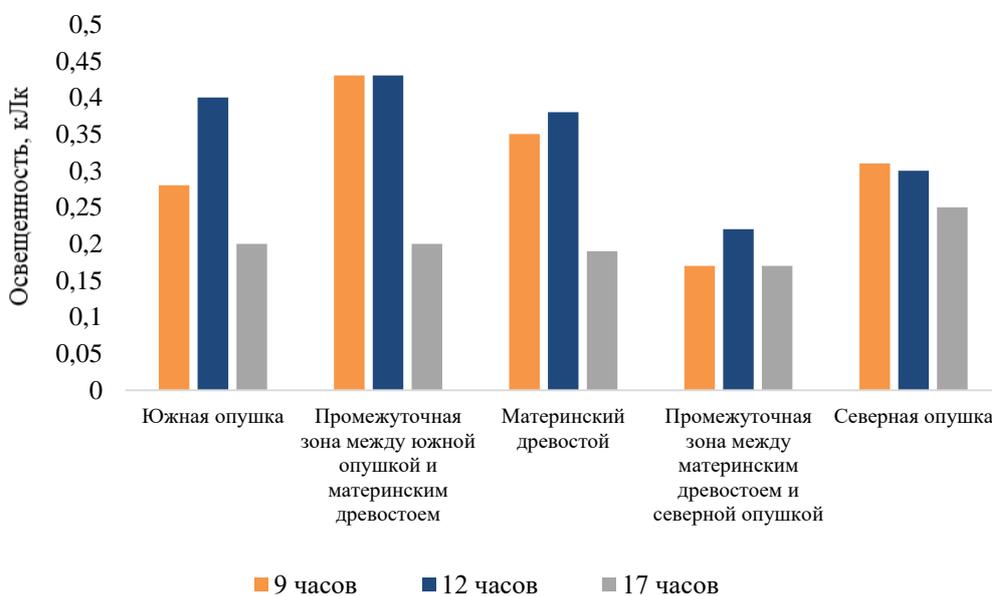
Таблица 2

**Распределение самосева в разных структурных частях лесной полосы
(лесная полоса № 64, 113 лет)**

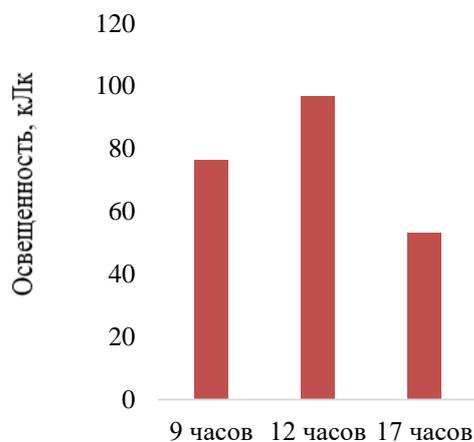
Вариант	Порода	Количество, тыс. шт./га
Южная опушка	Берест	2,5
	Бузина черная	2,4
	Клен полевой	2,5
	Клен ясенелистный	40,0
	Ясень обыкновенный	4,9
	Ясень американский	4,1
	<i>Сумма</i>	56,4
Промежуточная зона между южной опушкой и материнским древостоем	Бересклет	24,0
	Берест	3,5
	Клен полевой	17,5
	Ясень обыкновенный	22,0
	Ясень американский	23,0
	<i>Сумма</i>	90,0
Материнский древостой	Берест	10,0
	Клен полевой	15,0
	Клен ясенелистный	13,5
	Ясень обыкновенный	5,0
	Ясень американский	6,5
	<i>Сумма</i>	50,0
Промежуточная зона между материнским древостоем и северной опушкой	Берест	5,0
	Клен полевой	15,0
	Ясень обыкновенный	15,5
	Ясень американский	9,5
	<i>Сумма</i>	45,0
Северная опушка	Клен полевой	10,0
	Клен ясенелистный	10,0
	Ясень обыкновенный	90,0
	Ясень американский	60,0
	<i>Сумма</i>	170,0

Из многолетних наблюдений известно, что из появившегося самосева выживут и перейдут в подрост единицы, в лучшем случае – десятки, но резерв этот значительный и при лесовосстановительных мероприятиях его надо учитывать. Такого количества самосева главных пород достаточно для возобновления древостоя при условии сохранения и выживания самосева и перехода его в подрост.

Анализ графика освещенности под пологом всех структурных частей лесной полосы (рис. 2, *a*) позволяет сделать вывод, что для появления самосева свет не всегда играет главную роль. В нашем случае главная роль принадлежит семенной базе и возможности контакта с почвой для укоренения семян. Семенную базу составляют плодоносящие деревья данного насаждения и прилегающих лесных полос. Доступность семян для почвы в опушках обеспечивается наклоненными до земли ветвями, которые «подготавливают» почву,



a



б

Рис. 2. Режим освещенности в разных зонах 113-летней лесной полосы (*a*) и в открытом поле (контроль) (*б*)

Fig. 2. Shade density regime in different areas of the 113-years-old forest strip (*a*) and control – open field (*б*)

уничтожая живой напочвенный покров при раскачивании от ветра. Внутри насаждения действует классический лесной вариант – нарушение подстилки животными, птицами и землеройками, а также упавшими деревьями с вывороченными корнями. В исследуемой лесной полосе такого ветровала насчитывается до 272 шт./га, это упавшие деревья ясеня и вяза II яруса, обработанные вредителями. Их количество на 15 % больше, чем оставшихся деревьев в существующем I ярусе. При падении дерева с выворотом корней образуется площадка взрыхленной почвы, что создает оптимальные условия для прорастания семян.

Рассмотрим механизм образования древостоя в промежуточной зоне, между материнским древостоем и опушкой, и выясним роль опушки в этом процессе. Как правило, лесные полосы отделяются от сельхозугодий противопожарной опашкой. Ширина вспаханной полосы зависит от марки плуга и количества проходов и обычно составляет 1,4...2,8 м. Даже при ежегодной опашке минерализованная полоса отодвигается от насаждения в сторону поля из-за разрастания боковых ветвей лесной опушки, и под ее кронами остается подготовленная для семян почва. Если же по каким-либо причинам на следующий год минерализованную полосу не обновляют, то она вся заселится самосевом древесной и кустарниковой растительности, чаще кленом ясенелистным или порослью корнеотпрысковых пород. В данном случае в северной опушке преобладает самосев ясеня обыкновенного и американского, в южной – клен ясенелистный, но сама южная опушка состоит из корнеотпрысковых береста и акации белой. Причем корнеотпрысковая акация белая высотой 0,4...0,7 м появилась в посевах пшеницы на расстоянии до 12,0...15,0 м от лесной полосы.

Наиболее надежным резервом лесовозобновления является подрост. В изучаемом насаждении формируется разновозрастный подрост из таких пород, как ясень американский, клен полевой, берест и клен ясенелистный, реже клен остролистный.

В табл. 3 отражено состояние подростка, который может перейти в III ярус насаждения, кроме него под пологом насаждения имеется значительное количество мелкого, до 1,5 м высотой, подростка вышеуказанных пород. Под пологом материнского древостоя такой подрост формируется куртинами, в переходных зонах – более равномерно.

Таблица 3

Распределение благонадежного подростка (шт./га) древесных пород в разных структурных частях лесной полосы (№ 64, 113 лет)

Порода	Южная промежуточная зона	Материнский древостой	Северная промежуточная зона
Ясень американский	795	568	1310
Клен полевой	790	570	1300
Берест	113	–	830
Клен остролистный	–	375	–
Клен ясенелистный	230	–	1740
<i>Сумма</i>	1928	1513	5180

Жизнеспособный подрост присутствует во всех структурных частях, составляющих насаждение. В северной опушке имеется подрост ясеня американского высотой до 8,0 м при диаметре 7,0...8,0 см.

Выводы

1. В условиях юго-востока Центрально-Черноземного региона даже не широкие искусственно созданные лесные полосы при естественном развитии могут формировать лесной биоценоз и способны многократно увеличивать свою площадь на занимаемой ими территории.

2. С возрастом у насаждений образуются лесные опушки, которые, благодаря наклону стволов в сторону поля, при наступлении плодоношения обсеменяют прилегающую территорию, завоевывают жизненное пространство. Границы лесных полос интенсивно расширяются и при наличии корнеотпрысковых пород в крайних рядах материнского древостоя.

3. Между опушкой и материнским древостоем образуется промежуточная зона, где вырастает новый древостой, благодаря чему формируется разновозрастное насаждение с присущими лесу элементами: самосевом, подростом, лесной подстилкой и лесной опушкой.

4. Предложения производству:

в период уборки урожая при создании временных минерализованных противопожарных полос между полем и лесной полосой необходимо отступать от лесонасаждения на 3,0...5,0 м, чтобы не создавать условий для прорастания семян древесных и кустарниковых пород рядом с существующей лесной полосой;

для избежания расширения границ лесных насаждений на сельхозугодья и повышения экологической емкости агроландшафта рекомендуется вдоль лесных полос оставлять экотоны, на которых не будет нарушаться почвенный покров, а будет проводиться только выкашивание растительности;

удерживать разрастание лесных опушек полезащитных лесных полос можно за счет полевых дорог, но необходимо периодически удалять наклоненные к полю деревья и кустарники и формировать узкую лесную опушку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архивные данные температуры воздуха и количества осадков в Каменной Степи. Режим доступа: http://thermograph.ru/mon/st_34139.htm (дата обращения: 27.04.2018).

2. Желдак В.И. Системы лесоводственных мероприятий для моделей разного режима содержания лесов и лесопользования // Лесотехн. журн. 2017. № 4(28). С. 55–71.

3. Кулик К.Н. Защитное лесоразведение в России: прошлое, настоящее, будущее // Круглый стол по теме: «Технологии и техника в мелиорации» в рамках I Евразийского форума «Мелиорация: эффективные технологии и инвестиции», 8–11 окт. 2014 г., Москва. Режим доступа: http://fncagro.ru/Novosti/doklad_golden.htm (дата обращения: 20.04.2018).

4. Лихацкий Ю.П., Черных А.С., Харин С.В. Теоретические концепции многоцелевого, рационального, непрерывного использования лесов в России и за рубежом // Лесотехн. журн. 2017. № 4(28). С. 100–108.

5. Мальцев А.И. Фитосоциологические исследования в Каменной Степи (к вопросу о происхождении и сменах растительности степей) // Тр. Бюро по прикладной ботанике и селекции. 1922/1925. Т. 13, вып. 2. С. 135–254.

6. Мерзленко М.Д. Актуальные аспекты искусственного лесовосстановления // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 22–30. (Изв. высш. учеб. заведений).

7. Морозов Г.Ф. Учение о лесе. Л.: Гослесбумиздат, 1949. С. 217–226. Режим доступа: <https://www.booksite.ru/fulltext/uch/eni/eol/ese/index.htm> (дата обращения: 20.04.2018).

8. Нестеров Н.С. Очерки по лесоведению. М.: Сельхозгиз, 1960. 486 с.

9. Павловский Е.С., Карган А.В. Справочник по агролесомелиоративному устройству. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 152 с.

10. Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. М.; Л.: Гослесбуиздат, 1955. 598 с.

11. Crookston N.L., Dixon G.E. The Forest Vegetation Simulator: A Review of Its Structure, Content, and Applications // Computers and Electronics in Agriculture. 2005. Vol. 49, iss. 1. Pp. 60–80. DOI: 10.1016/j.compag.2005.02.003

12. Fisher A., Scarth P., Armston J., Danaher T. Relating Foliage and Crown Projective Cover in Australian Tree Stands // Agricultural and Forest Meteorology. 2018. Vol. 259. Pp. 39–57. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.04.016

13. Franklin J. Toward a New Forestry // American Forests. 1989. Vol. 95(11/12). Pp. 37–44.

14. Gill T.K., Phinn S.R., Armston J.D., Pailthorpe B.A. Estimating Tree-Cover Change in Australia: Challenges of Using the MODIS Vegetation Index Product // International Journal of Remote Sensing. 2009. Vol. 30, iss. 6. Pp. 1547–1565. DOI: 10.1080/01431160802509066

Поступила 06.06.18

UDC 634*2:631.6

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.89

Recent Trends of Forest Formation in Forest Strips of the Kamennaya Steppe

V.D. Tunyakin, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher

V.S. Vavin, Candidate of Agricultural Sciences, Director

N.V. Rybalkina, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher

Federal State Budget Scientific Institution “Kamennaya Steppe Experimental Forest District”, pos. 2-go uch-ka Instituta im. Dokuchayeva, 64a, Talovskiy rayon, Voronezh Region, 397463, Russian Federation; e-mail: ksolnauka@mail.ru

The article considers the formation features of artificial forest stand structure on chernozem soils in forest steppe – steppe transition zone. Forest strip (113 years old) is considered as a self-developing forest biocenosis with forest edge, self-seeding of wood species and shrubs, new growth and undergrowth. Multi-year changes in species composition of the forest stand (trees age from 30 to 113) are shown, where elm became an edge breed from a dominant breed, while overstory was formed from open-growing trees of oak, ash, tall-growing English field maple, rarely linden and black locust. The role of forest edge not only in forest strip expansion, but also in formation of a complex uneven-aged plantation was established. Formation of transition zone between mother stand and forest edge in old-aged artificial plantation, where its width increased from 10.7 m to 64.0 m, is shown for the first time. A new stand of seed and soboliferous origin is forming in transition zone. The positive role of tall-growing English field maple, box elder, black locust and American ash in forest forming in narrow protective forest strips is determined. The abundance of self-seeding of American ash and European ash on the northern forest edge, and self-seeding of box elder on the southern forest edge, which consists of soboliferous forms of black locust and elm, points to a complex mechanism of plantation expansion beyond the original borders. The presence of uneven-aged new growth in all structural components of the plantation including forest edges confirms the plantation ability to further forest forming development and expansion of its borders not only due to forest edges expansion, but due to the new stand formation of main forest forming tree species. In order to prevent plantations expansion by the means of arable land, in the case of necessity of firebreaks construction it is suggested to back out of the forest strip for 3–5 m to prevent creation of conditions for trees and shrubs seed

For citation: Tunyakin V.D., Vavin V.S., Rybalkina N.V. Recent Trends of Forest Formation in Forest Strips of the Kamennaya Steppe. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 89–100. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.89

germination. The most effective way of forest strips keeping in project borders is a periodic cutting of trees inclined to the field and forming of a narrow protective forest edge.

Keywords: protective forest strip, forest formation, new growth, undergrowth, self-seeding, stand structure, forest edge, transition zone.

REFERENCES

1. *Arkhivnyye dannyye temperatury vozdukha i kolichestva osadkov v Kamennoy Stepi* [Archive Data on Air Temperature and Precipitation in the Kamennaya Steppe]. Available at: http://thermograph.ru/mon/st_34139.htm (accessed 27.04.2018).
2. Zheldak V.I. Sistemy lesovodstvennykh meropriyatiy dlya modeley raznogo rezhima sodержaniya lesov i lesopol'zovaniya [Systems of Forestry Activities for Different Modes Models of Forest Management and Forest Use]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering Journal], 2017, no. 4(28), pp. 55–71.
3. Kulik K.N. Zashchitnoye lesorazvedeniye v Rossii: proshloye, nastoyashcheye, budushcheye [Protective Afforestation in Russia: Past, Present, Future]. *Kruglyy stol po teme: «Tekhnologii i tekhnika v melioratsii» v ramkakh I Evraziyskogo foruma «Melioratsiya: effektivnyye tekhnologii i investitsii», 8–11 okt. 2014 g., Moskva* [Round Table “Melioration Technologies and Techniques”, I Eurasian Forum “Melioration: Effective Technologies and Investments”, October 8–11, 2014, Moscow]. Available at: http://fncagro.ru/Novosti/doklad_golden.htm (accessed 20.04.2018).
4. Likhatskiy Yu.P., Chernykh A.S., Kharin S.V. Teoreticheskiye kontseptsii mnogotselovogo, ratsional'nogo, nepreryvnogo ispol'zovaniya lesov v Rossii i za rubezhom [Theoretical Concepts of Multi-Purpose, Rational Continuous Use of Forests in Russia and Abroad]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering Journal], 2017, no. 4(28), pp. 100–108.
5. Mal'tsev A.I. Fitosotsiologicheskiye issledovaniya v Kamennoy Stepi (k voprosu o proiskhozhdenii i smenakh rastitel'nosti stepey) [Phytosociological Research in the Kamennaya Steppe (To the Issue on Origin and Succession of Steppe Plants)]. *Tr. Byuro po prikladnoy botanike i selektsii* [Academic Papers of Bureau of Applied Botany and Selection]. 1922/1925, vol. XIII, iss. 2, pp. 135–254.
6. Merzlenko M.D. Aktual'nyye aspekty iskusstvennogo lesovosstanovleniya [Relevant Aspects of Artificial Reforestation]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2017, no. 3, pp. 22–30.
7. Morozov G.F. *Ucheniye o lese* [Forest Doctrine]. Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1949, pp. 217–226. Available at: <https://www.booksite.ru/fulltext/uch/eni/eol/ese/index.htm> (accessed 20.04.2018).
8. Nesterov N.S. *Ocherki po lesovedeniyu* [Essays on Forestry]. Moscow, Sel'khozgiz Publ., 1960. 486 p. (In Russ.)
9. Pavlovskiy E.S., Kargan A.V. *Spravochnik po agrolesomeliorativnomu ustroystvu* [Handbook of Agroforestry]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 152 p. (In Russ.)
10. Tkachenko M.E. *Obshcheye lesovodstvo* [General Forestry]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1955. 598 p. (In Russ.)
11. Crookston N.L., Dixon G.E. The Forest Vegetation Simulator: A Review of Its Structure, Content, and Applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2005, vol. 49, iss. 1, pp 60–80. DOI: 10.1016/j.compag.2005.02.003
12. Fisher A., Scarth P., Armston J., Danaher T. Relating Foliage and Crown Projective Cover in Australian Tree Stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2018, vol. 259, pp. 39–57. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.04.016
13. Franklin J. Toward a New Forestry. *American Forests*, 1989, vol. 95(11/12), pp. 37–44.
14. Gill T.K., Phinn S.R., Armston J.D., Pailthorpe B.A. Estimating Tree-Cover Change in Australia: Challenges of Using the MODIS Vegetation Index Product. *International Journal of Remote Sensing*, 2009, vol. 30, iss. 6, pp. 1547–1565. DOI: 10.1080/01431160802509066

Received on June 06, 2018

УДК 630*231

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.101

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР СОСНЫ
ОБЫКНОВЕННОЙ СЕВЕРОТАЕЖНОГО ЛЕСНОГО РАЙОНА***О.Н. Тюкавина¹, канд. с.-х. наук, доц.**Д.Н. Клевцов¹, канд. с.-х. наук, доц.**И.Н. Болотов², д-р биол. наук, ст. науч. сотрудник**Б.Ю. Филиппов¹, д-р биол. наук, доц.**Д.М. Адаи^{1,3}, асп.*

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

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова Российской академии наук, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: i.bolotov@narfu.ru

³Технический университет Такоради, а/я 256, Такоради, Западный регион, Гана; e-mail: georgeadayi@yahoo.com

Рациональное использование леса – это, прежде всего, переход к ресурсосберегающим технологиям, в том числе к применению фитомассы лесных насаждений в качестве сырья для перерабатывающей промышленности. Использование всех компонентов дерева (древостоя) имеет большое экономическое значение. Лесосечные отходы (сучья и хвоя), отходы лесопиления (кора) и продукты их переработки получают широкое применение в химической, целлюлозно-бумажной, парфюмерной, фармацевтической, пищевой промышленности, в сельском хозяйстве и производстве строительных материалов. Знание общей биологической продуктивности, а также отдельных биометрических параметров лесных фитоценозов необходимо для составления банка данных о биопродуктивности лесной растительности на разных уровнях. Цель исследования – определение биологической продуктивности культур сосны обыкновенной в северотаежном лесном районе (Архангельская область, Плесецкий район). Объектами наблюдений являлись участки культур сосны обыкновенной в черничном и брусничном типах лесорастительных условий. Пробные площади закладывали по стандартным методикам. На каждой пробной площади отбирали по 10 модельных деревьев из разных ступеней толщины. Модельные деревья разделяли на следующие фракции фитомассы: сухие сучья, живые ветви, древесная зелень (охвоенные побеги с диаметром у основания не более 0,8 см), кора ствола, древесина ствола. Массу фракций для каждой модели определяли с помощью электронного безмена с точностью до ± 50 г. Исходные данные массы фракций фитомассы модельных деревьев с каждой пробной площади подвергали регрессионному анализу, который считается наиболее точным и универсальным. В сосняке черничном биологическая продуктивность культур сосны (4,3 т/га в год) больше на 11 % по сравнению с сосняком брусничным (3,8 т/га в год). В возрастном интервале от 31 до 48 лет биологическая продуктивность культур возрастает по всем фракциям надземной фитомассы древостоя в обоих изученных типах леса. Наиболее показательным элементом биопродуктивности древостоев является масса стволовой древесины. С возрастом доля этой фракции в общей надземной фитомассе увеличивается и в относительных, и в абсолютных величинах.

Для цитирования: Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Болотов И.Н., Филиппов Б.Ю., Адаи Д.М. Биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной северотаежного лесного района // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 101–108. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.101

Для таких фракций фитомассы, как кора ствола и крона, характерна обратная зависимость. С возрастом доля их в общей массе древесного яруса уменьшается. Фракция сухих сучьев в исследованном возрастном интервале накапливает массу, при этом происходит увеличение ее доли в общей надземной фитомассе. В дальнейшем сведения о динамике формирования фитомассы фитоценозов можно использовать при обосновании лесоводственных мероприятий.

Ключевые слова: лесные культуры, сосна, надземная фитомасса, биологическая продуктивность.

Введение

Биологическая продуктивность – скорость образования биологической продукции организмами в ходе их жизнедеятельности. Измеряется она обычно количеством продукции (биомассы), создаваемой организмами за единицу времени на единице площади (например, т/га за год). Лесной фитоценоз, как неотъемлемая часть лесного биогеоценоза, накапливает органическое вещество, которое называют фитомассой.

Фитомасса (от греч. *phyton* – растение; растительная масса) – один из основных показателей первичной биологической продуктивности, являющейся частью общей биомассы лесного биогеоценоза [9] и характеризующей количественное (по массе) выражение как отдельных растений, так и их органов (частей, фракций). В лесном фитоценозе большую часть фитомассы (95 % и более по массе) составляет древостой, 4...5 % и менее приходится на его нижние ярусы [2].

При исследовании запасов и структуры фитомассы лесов традиционно выделяют два основных направления: биогеоценозическое (экологическое), связанное с познанием круговорота веществ и энергии в лесном фитоценозе, и ресурсоведческое, предлагающее оценку лесной фитомассы с точки зрения ее утилизации [8]. В связи с необходимостью решения глобальной экологической проблемы потепления климата повышается внимание к механизмам связывания углекислого газа лесными экосистемами. При оценке углероддепонирующей функции лесов широко используется биологическая продуктивность [13–16, 18, 19].

Определение общей биологической продуктивности, а также отдельных биометрических параметров, может служить универсальным диагностическим методом при мониторинге состояния лесов, в том числе оценке влияния изменений климата. Необходим банк данных о динамике биопродуктивности лесной растительности на разных уровнях (локальный, экорегиональный и т. д.) естественных сукцессий, особенно при антропогенном воздействии [10].

Переход к ресурсосберегающим технологиям, в том числе к применению фитомассы лесных насаждений в качестве сырья для перерабатывающей промышленности, – актуальнейшая проблема лесного комплекса. Использование всех компонентов дерева (древостоя) имеет большое экономическое значение. Лесосечные отходы (сучья и хвоя), отходы лесопиления (кора) и продукты их переработки получают широкое применение в химической, целлюлозно-бумажной, парфюмерной, фармацевтической и пищевой промышленности, в сельском хозяйстве и производстве строительных материалов. Кроме того, переработка фитомассы древесного яруса лесных насаждений имеет и социальное значение. Создание производств по переработке древесной зелени, коры и других фракций фитомассы позволит повысить занятость трудоспособного населения и предотвратит его миграцию.

Сосна обыкновенная является одной из приоритетных древесных пород при искусственном восстановлении лесов европейской части России. Сведения о динамике формирования фитомассы фитоценозов имеют не только теоретическое, но и практическое значение. Закономерности этого процесса можно успешно использовать при обосновании целого ряда лесоводственных мероприятий (процент выборки деревьев при рубках ухода, при учете ресурсов леса и т. п.).

Запасы фитомассы и первичная биологическая продуктивность насаждений для Европейского Севера изучены недостаточно в связи с трудоемкостью работ по их оценке [1, 4, 11, 12, 17, 20, 21].

Цель исследования – определение биологической продуктивности культур сосны обыкновенной в северотаежном лесном районе.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены на территории таежной лесорастительной зоны в северотаежном лесном районе европейской части России (Архангельская обл., Плесецкий р-н). Объектами наблюдений являлись участки культур сосны обыкновенной в черничном и брусничном типах лесорастительных условий.

Экспериментальный материал получен методом однократных обмеров на временных пробных площадях, заложенных в культурах сосны обыкновенной. Обследование проводили с учетом методических рекомендаций В.В. Огиевского и А.А. Хирова [3], Н.Н. Соколова [6], А.Р. Родина и М.Д. Мерзленко [5]. В непосредственной близости с каждой пробной площадью отбирали по 10 модельных деревьев из разных ступеней толщины, избегая значительных отклонений по развитию крон и повреждению стволов, без признаков усыхания и т. п. Модельные деревья разделяли на следующие фракции фитомассы: сухие сучья, живые ветви, древесная зелень (согласно ГОСТ 21769–84 «Зелень древесная. Технические условия» – охвоенные побеги с диаметром у основания не более 0,8 см), кора ствола, древесина ствола. Массу фракций, отдельно по каждой модели, определяли с помощью электронного безмена с точностью до ± 50 г.

Исходные данные массы фракций фитомассы модельных деревьев с каждой пробной площади подвергали регрессионному анализу. Регрессионный метод определения фитомассы древостоев считается наиболее точным и универсальным [7]. В его основе лежит совмещение регрессионных зависимостей фракционного состава фитомассы модельных деревьев от их диаметра с ведомостью перечета (т. е. с рядом распределения) деревьев на пробной площади по ступеням диаметра.

Затем уравнения табулировали по числовым значениям ступеней толщины в перечетной ведомости. Перемножением полученных величин на установленное при перечете количество деревьев в каждой ступени и последующим суммированием результатов определяли итоговые значения фракционного состава фитомассы таксирзуемого древостоя.

Выбор функций, аппроксимирующих (т. е. аналитически описывающих) зависимости, осуществляли с использованием программ Curve Expert 1.3 и Microsoft Excel. При выявлении степени пригодности различных выравнивающих функций в качестве критериев использовали коэффициент детерминации R^2 , характеризующий степень приближения эмпирической зависимости к функциональной (при которой $R^2 = 1$), и ошибку уравнения.

Результаты исследования и их обсуждение

Таксационная характеристика исследованных культур сосны обыкновенной представлена в табл. 1, результаты выполненных исследований – в табл. 2.

Таблица 1

Таксационные показатели исследованных культур сосны обыкновенной (состав – 10С)

Возраст, лет	Средние		Полнота	Запас, м ³ /га
	диаметр, см	высота, м		
<i>Сосняк черничный</i>				
31	6,4	6,9	0,9	76
48	11,7	14,8	0,9	211
<i>Сосняк брусничный</i>				
31	6,3	6,8	0,8	59
45	10,1	13,1	0,9	177

Таблица 2

Биологическая продуктивность исследованных культур сосны обыкновенной

Возраст, лет	Фракции фитомассы					Сухие сучья	Всего
	Ствол		Крона				
	Древесина	Кора	Ветви	Древесная зелень			
<i>Сосняк черничный</i>							
31	<u>1,95</u>	<u>0,31</u>	<u>0,33</u>	<u>0,46</u>	<u>0,05</u>	<u>3,10</u>	
	62,8	9,9	10,6	15,0	1,7	100	
48	<u>4,27</u>	<u>0,43</u>	<u>0,28</u>	<u>0,44</u>	<u>0,13</u>	<u>5,55</u>	
	77,4	8,0	4,6	7,1	2,9	100	
<i>Сосняк брусничный</i>							
31	<u>1,72</u>	<u>0,25</u>	<u>0,21</u>	<u>0,50</u>	<u>0,05</u>	<u>2,73</u>	
	63,2	9,0	7,7	18,4	1,7	100	
45	<u>3,64</u>	<u>0,42</u>	<u>0,25</u>	<u>0,49</u>	<u>0,09</u>	<u>4,89</u>	
	75,2	10,2	3,7	8,6	2,3	100	

Примечание. Масса фракций в свежесрубленном состоянии приведена в числителе в т/га за год, в знаменателе – в процентах.

В сосняке черничном биологическая продуктивность культур сосны на 12 % больше, чем в сосняке брусничном 2-го и 3-го классов возраста.

В ходе анализа данных, установлено, что в исследованном возрастном интервале (31–48 лет) биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной возрастает по всем фракциям надземной фитомассы древостоя в обоих изученных типах леса. Наиболее показательным элементом биопродуктивности древостоев является масса стволовой древесины. С возрастом доля этой фракции в общей надземной фитомассе увеличивается как в относительных, так и в абсолютных величинах. Для таких фракций фитомассы, как кора ствола и крона (в целом), характерна обратная зависимость. С возрастом доля их в общей массе древесного яруса уменьшается. Фракция сухих сучьев в исследованном возрастном интервале накапливает массу, при этом происходит увеличение ее доли в общей надземной фитомассе древостоя.

Таким образом, стволовая древесина накапливает основную часть надземной фитомассы древесного яруса культур сосны обыкновенной. С возрастом ее доля в общей надземной фитомассе древостоев увеличивается, а доля коры и фракций кроны – уменьшается.

Заключение

В сосняке черничном 2-го класса возраста биологическая продуктивность культур сосны составляет 3,1 т/га в год, 3-го – 5,6 т/га в год; в сосняке брусничном – соответственно 2,7 и 4,9 т/год. В сосняке черничном за 17 лет и в сосняке брусничном за 14 лет биологическая продуктивность культур сосны повышается на 79 %. С возрастом доля стволовой древесины в общей надземной фитомассе древостоев увеличивается, доля коры и фракций кроны – уменьшается.

Результаты исследований могут быть использованы при проведении лесного мониторинга и осуществлении экологических программ, создании базы данных о фитомассе лесов, а также в лесном ресурсоведении. Полученные данные целесообразно использовать при расчетах углеродного бюджета лесных экосистем и составлении энергетического баланса лесных сообществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР. Архангельск: АИЛиЛХ. 1986. 356 с.
2. Мелехов И.С. Лесоведение: учеб. М.: МГУЛ, 2002. 399 с.
3. Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. Л.: ЛТА, 1967. 50 с.
4. Осипов А.Ф. Биологическая продуктивность сосняков чернично-сфагновых средней тайги // Лесн. журн. 2013. № 1. С. 43–51. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Родин А.Р., Мерзленко М.Д. Методические рекомендации по изучению лесных культур старших возрастов. М.: ВАСХНИЛ, 1984. 36 с.
6. Соколов Н.Н. Методические указания к дипломному проектированию по таксации пробных площадей. Архангельск: АЛТИ, 1978. 44 с.
7. Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 636 с.
8. Усольцев В.А., Нагимов З.Я., Тепикин С.В. Распределение массы ветвей ели по толщинам и вертикальному профилю: моделирование и составление таблиц // Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск: СибТИ, 1991. С. 32–41.
9. Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Барзут В.М. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: АГТУ, 1997. 140 с.
10. Чибисов Г.А. Биологическая продуктивность сосняков, формируемых рубками ухода // Лесн. журн. 1997. № 5. С. 7–16. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. Albrektson A. Relation between Tree Biomass Fraction and Conventional Silvicultural Measurements // Ecological Bulletins. 1980. No. 32. Pp. 315–327.
12. Helmisaari H.-S., Makkonen K., Kellomäki S., Valtonen E., Mälkönen E. Below- and Above-Ground Biomass, Production and Nitrogen Use in Scots Pine Stands in Eastern Finland // Forest Ecology and Management. 2002. Vol. 165, iss. 1–3. Pp. 317–326.
13. Hunt S.L., Gordon A.M., Morris D.M. Carbon Stocks in Managed Conifer Forest in Northern Ontario // Silva Fennica. 2010. Vol. 44, no. 4. Pp. 563–582. Режим доступа: <https://www.silvafennica.fi/pdf/article128.pdf> (дата обращения: 31.12.2010). DOI: doi.org/10.14214/sf.128
14. Kolari P., Pumpanen J., Rannik Ü., Ilvesniemi H., Hari P., Berninger F. Carbon Balance of Different Aged Scots Pine Forest in Southern Finland // Global Change Biology. 2004. Vol. 10, iss. 7. Pp. 1106–1119. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2003.00797.x

15. *Mälkönen E.* Annual Primary Production and Nutrient Cycle in Some Scots Pine Stands // *Metsäntutkimuslaitoksen Julkaisuja*. 1974. Vol. 84, no. 5. Pp. 1–87.

16. *Muukkonen P., Mäkipää R., Laiho R., Minkkinen K., Vasander H., Finér L.* Relationship between Biomass and Percentage Cover in Understory Vegetation of Boreal Coniferous Forests // *Silva Fennica*. 2006. Vol. 40, no. 2. Pp. 231–245. Режим доступа: <https://www.silvafennica.fi/pdf/article340.pdf> (дата обращения: 31.12.2006). DOI: 10.14214/sf.340

17. *Repola J.* Models for Vertical Wood Density of Scots Pine, Norway Spruce and Birch Stems, and Their Application to Determine Average Wood Density // *Silva Fennica*. 2006. Vol. 40, no. 4. Pp. 673–685. Режим доступа: <https://www.silvafennica.fi/pdf/article322.pdf> (дата обращения: 31.12.2006). DOI: 10.14214/sf.322

18. *Shanin V., Komarov A., Mäkipää R.* Tree Species Composition Affects Productivity and Carbon Dynamics of Different Site Types in Boreal Forests // *European Journal of Forest Research*. 2014. Vol. 133, iss. 2. Pp. 273–286. DOI: 10.1007/s10342-013-0759-1

19. *Stinson G., Kurz W.A., Smyth C.E., Neilson E.T., Dymond C.C., Metsaranta J.M., Boisvenue C., Rampley G.J., Li Q., White T.M., Blain D.* An Inventory-Based Analysis of Canada's Managed Forest Carbon Dynamics, 1990 to 2008 // *Global Change Biology*. 2011. Vol. 17, iss. 6. Pp. 2227–2244. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02369.x

20. *Vanninen P., Ylitalo H., Sievänen R., Mäkelä A.* Effects of Age and Site Quality on the Distribution of Biomass in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) // *Trees*. 1996. Vol. 10, iss. 4. Pp. 231–238. DOI: 10.1007/BF02185674

21. *Wang K.-Y., Kellomäki S., Zha T.S., Peltola H.* Component Carbon Fluxes and Their Contribution to Ecosystem Carbon Exchange in a Pine Forest: An Assessment Based on Eddy Covariance Measurements and an Integrated Model // *Tree Physiology*. 2004. Vol. 24, iss. 1. Pp. 19–34. Режим доступа: <https://academic.oup.com/treephys/article/24/1/19/1669211?searchresult=1> (дата обращения: 01.01.2004). DOI: 10.1093/treephys/24.1.19

Поступила 06.03.18

UDC 630*231

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.101

Biological Productivity of Scots Pine Cultures in the Northern Taiga Forest Area

O.N. Tyukavina¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

D.N. Klevtsov¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

I.N. Bolotov², Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher

B.Yu. Filippov¹, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor

D.M. Adaj^{1,3}, Postgraduate Student

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

e-mail: d.klevtsov@narfu.ru, o.tukavina@narfu.ru

²N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, RAS, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: i.bolotov@narfu.ru

³Takoradi Technical University, P.O. BOX 256, Takoradi, Western Region, Ghana; e-mail: georgeadai@yahoo.com

Rational use of forests first of all is a transition to the resource-saving technologies including the use of forest plantations phytomass as a raw material for the processing industry. The use of all parts of tree (stand) is a matter of great economic importance. Wastewood

For citation: Tyukavina O.N., Klevtsov D.N., Bolotov I.N., Filippov B.Yu., Adaj D.M. Biological Productivity of Scots Pine Cultures in the Northern Taiga Forest Area. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 101–108. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.101

(boughs and needles), edgings (bark) and products of their processing are widely used in chemical, pulp and paper, perfume, pharmaceutical and food industries, agriculture and production of construction materials. Knowledge of total biological productivity as well as individual biometric parameters of forest phytocenoses is necessary for compiling a database of forest vegetation bioproductivity dynamics at different levels. The research purpose was determining the biological productivity of Scots pine cultures in the north taiga forest area (Arkhangelsk region, Plesetsk district). The objects of observations were the areas of Scots pine cultures in blueberry and cowberry types of forest growing conditions. Sample plots were laid with the use of standard methods. 10 sample trees were taken from different thickness levels on each sample plot. Sample trees were divided into the following fractions of phytomass: dry boughs, living branches, tree foliage (needle-leaved shoots with diameter above buttress up to 0.8 cm), trunk bark, trunk wood. Masses of fractions for each sample tree were determined by the means of electronic quick balance within the accuracy of ± 50 g. The initial mass data of the phytomass fractions of the sample trees from each sample plot were subjected to the regression analysis, which is considered to be the most accurate and universal. Biological productivity of pine cultures (4.3 t/ha per year) in blueberry pine forest is 11 % more than in cowberry pine forest (3.8 t/ha per year). Biological productivity of the cultures in all aerial phytomass fractions of the stand in the both studied forest types increases in the age range from 31 to 48 years. The most representative parameter of stands bioproductivity is stemwood mass. The fraction ratio in the total aerial phytomass increases with age. Inverse relationship is distinctive for such phytomass fractions as trunk bark and crown. Their ratio in the total mass of tree layer decreases with aged. The fraction of dry boughs accumulates mass in the studied age range, while its ratio is increasing in the total aerial phytomass. Data on formation dynamics of phytocoenosis phytomass can be used for justifying of silvicultural measures.

Keywords: forest cultures, pine, aerial phytomass, biological productivity.

REFERENCES

1. *Lesotaksatsionnyy spravochnik dlya severo-vostoka evropeyskoy chasti SSSR* [Forest Valuation Handbook for the North-East of the European Part of the USSR]. Arkhangelsk, AILiLKH Publ., 1986. 356 p. (In Russ.)
2. Melekhov I.S. *Lesovedeniye: ucheb.* [Forest Science: Textbook]. Moscow, MGUL Publ., 2002. 399 p. (In Russ.)
3. Ogiyevskiy V.V., Khirov A.A. *Obsledovaniye i issledovaniye lesnykh kul'tur* [Inspection and Study of Forest Cultures]. Leningrad, LTA Publ., 1967. 50 p. (In Russ.)
4. Osipov A.F. Biologicheskaya produktivnost' sosnyakov chernichno-sfagnovykh sredney taygi [Biological Productivity of Blueberry-Sphagnum Pine Forests of the Middle Taiga]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2013, no. 1, pp. 43–51.
5. Rodin A.R., Merzlenko M.D. *Metodicheskiye rekomendatsii po izucheniyu lesnykh kul'tur starshikh vozrastov* [Methodological Recommendations on the Study of Old-Aged Forest Cultures]. Moscow, VASKHNIL Publ., 1983. 36 p. (In Russ.)
6. Sokolov N.N. *Metodicheskiye ukazaniya k diplomnomu proyektirovaniyu po taksatsii probnykh ploshchadey* [Guidelines for Thesis Project on Valuation of Sample Plots]. Arkhangelsk, ALTI Publ., 1978. 44 p. (In Russ.)
7. Usol'tsev V.A. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoy Evrazii: metody, baza dannykh i eye prilozheniya* [Biological Productivity of the Northern Eurasia Forests: Methods, Database and Its Applications]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2007. 636 p. (In Russ.)
8. Usol'tsev V.A., Nagimov Z.Ya., Tepikin S.V. *Raspredeleniye massy vetvey eli po tolshchinam i vertikal'nomu profilyu: modelirovaniye i sostavleniye tablits* [Distribution of Weight of Spruce Branches by Thickness and Vertical Profile: Modeling and Tabulation]. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest Valuation and Silviculture]. Krasnoyarsk, SibTI Publ., 1991, pp. 32–41.

9. Feklistov P.A., Evdokimov V.N., Barzut V.M. *Biologicheskiye i ekologicheskiye osobennosti rosta sosny v severnoy podzone evropeyskoy taygi* [Biological and Ecological Features of Pine Growth in the Northern Subzone of the European Taiga]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 1997. 140 p. (In Russ.)

10. Chibisov G.A. Biologicheskaya produktivnost' sosnyakov, formiruyemykh rubkami ukhoda [Biological Productivity of Pine Forests formed by Improvement Thinning]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1997, no. 5, pp. 7–16.

11. Albrektson A. Relation between Tree Biomass Fraction and Conventional Silvicultural Measurements. *Ecological Bulletins*, 1980, no. 32, pp. 315–327.

12. Helmisaari H.-S., Makkonen K., Kellomäki S., Valtonen E., Mälkönen E. Below- and Above-Ground Biomass, Production and Nitrogen Use in Scots Pine Stands in Eastern Finland. *Forest Ecology and Management*, 2002, vol. 165, iss. 1–3, pp. 317–326.

13. Hunt S.L., Gordon A.M., Morris D.M. Carbon Stocks in Managed Conifer Forest in Northern Ontario. *Silva Fennica*, 2010, vol. 44, no. 4, pp. 563–582. Available at: <https://www.silvafennica.fi/pdf/article128.pdf> (accessed 31.12.2010). DOI: doi.org/10.14214/sf.128

14. Kolari P., Pumpanen J., Rannik Ü., Ilvesniemi H., Hari P., Berninger F. Carbon Balance of Different Aged Scots Pine Forest in Southern Finland. *Global Change Biology*, 2004, vol. 10, iss. 7, pp. 1106–1119. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2003.00797.x

15. Mälkönen E. Annual Primary Production and Nutrient Cycle in Some Scots Pine Stands. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja*, 1974, vol. 84, no. 5, pp. 1–87.

16. Muukkonen P., Mäkipää R., Laiho R., Minkkinen K., Vasander H., Finér L. Relationship between Biomass and Percentage Cover in Understory Vegetation of Boreal Coniferous Forests. *Silva Fennica*, 2006, vol. 40, no. 2, pp. 231–245. Available at: <https://www.silvafennica.fi/pdf/article340.pdf> (accessed 31.12.2006). DOI: 10.14214/sf.340

17. Repola J. Models for Vertical Wood Density of Scots Pine, Norway Spruce and Birch Stems, and Their Application to Determine Average Wood Density. *Silva Fennica*, 2006, vol. 40, no. 4, pp. 673–685. Available at: <https://www.silvafennica.fi/pdf/article322.pdf> (accessed 31.12.2006). DOI: 10.14214/sf.322

18. Shanin V., Komarov A., Mäkipää R. Tree Species Composition Affects Productivity and Carbon Dynamics of Different Site Types in Boreal Forests. *European Journal of Forest Research*, 2014, vol. 133, iss. 2, pp. 273–286. DOI: 10.1007/s10342-013-0759-1

19. Stinson G., Kurz W.A., Smyth C.E., Neilson E.T., Dymond C.C., Metsaranta J.M., Boisvenue C., Rampley G.J., Li Q., White T.M., Blain D. An Inventory-Based Analysis of Canada's Managed Forest Carbon Dynamics, 1990 to 2008. *Global Change Biology*, 2011, vol. 17, iss. 6, pp. 2227–2244. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02369.x

20. Vanninen P., Ylitalo H., Sievänen R., Mäkelä A. Effects of Age and Site Quality on the Distribution of Biomass in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Trees*, 1996, vol. 10, iss. 4, pp. 231–238. DOI: 10.1007/BF02185674

21. Wang K.-Y., Kellomäki S., Zha T.S., Peltola H. Component Carbon Fluxes and Their Contribution to Ecosystem Carbon Exchange in a Pine Forest: An Assessment Based on Eddy Covariance Measurements and an Integrated Model. *Tree Physiology*, 2004, vol. 24, iss. 1, pp. 19–34. Available at: <https://academic.oup.com/treephys/article/24/1/19/1669211?searchresult=1> (accessed 01.01.2004). DOI: 10.1093/treephys/24.1.19

Received on March 06, 2018

УДК 582.32:581.5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.109

**ОСОБЕННОСТИ ВИДОВОГО СОСТАВА МОХООБРАЗНЫХ
НА ТЕРРИТОРИИ ПРИРОДНОГО КОМПЛЕКСА «РУДНИЧНЫЙ БОР»****О.Л. Цандекова, канд. с.-х. наук**А.Е. Ножинков, канд. биол. наук*

Институт экологии человека Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения РАН, просп. Ленинградский, д. 10,

г. Кемерово, Россия, 650065; e-mail: zandekova@bk.ru, alexbryo@yandex.ru

В статье приведены сведения о видовом составе мхов, произрастающих в условиях лесного массива естественного происхождения. Территория соснового бора, являющаяся частью городских лесов г. Кемерово, – уникальный природный объект с высоким рекреационным потенциалом. Составлен перечень мохообразных, который включает 36 видов, принадлежащих к 25 родам и 16 семействам. Для каждого вида приведены сведения с указанием их систематического положения, характера субстрата, распространения по экологическим группам. Результаты исследований свидетельствуют о том, что наибольшее число видов содержат семейства Brachytheciaceae (9), Mniaceae (5), Rylaisiaceae (4), Vgusaeae (3), составляющие 58 % от общей бриофлоры исследуемой территории. Самым крупным оказался род Plagiomnium. На территории бора доминировали следующие представители мохообразных: *Amblystegium serpens*, *Brachythecium salebrosum*, *Plagiomnium cuspidatum*, *Sanionia uncinata*, *Sciuro-hypnum oedipodium*, *Ceratodon purpureus*. Выявлено наибольшее число видов эпифитно-эпиксильной группы, которые обитают на стволах деревьев (бузина, береза, яблоня, сосна, черемуха, клен) и валеже, составляющие 86 % от общего состава бриофлоры лесного массива. На изученной территории состав бриофлоры отнесен к типично бореальной зоне. Результаты исследований могут быть использованы при мониторинге природных экосистем.

Ключевые слова: мхи, видовой состав, сосновый бор, экологические группы, Кемерово, природный комплекс «Рудничный бор».

Введение

Природный комплекс «Рудничный бор» расположен в городской черте г. Кемерово. Территория представляет собой часть природного ландшафта, сохраненную архитекторами при планировании застройки города. Участок соснового леса, составляющий основу комплекса, расположен на высоком берегу р. Томь, тогда как центральная часть города лежит в котловине. В 2015 г. сосновый бор получил статус особо охраняемой природной территории. В лесном массиве произрастает около 350 видов растений, в том числе и мохообразные. Они представлены зелеными мхами и занимают до 80 % площади. Мхи наравне с сосудистыми растениями относятся к важным компонентам растительных сообществ, хотя являются наименее изученными. Сложность определения мхов связана с трудностями сбора массового материала для количественного представления эколого-ценотических характеристик видов.

*Работа выполнена в рамках реализации государственного задания ФИЦ УУХ СО РАН (проект № 0352-2016-0002).

Для цитирования: Цандекова О.Л., Ножинков А.Е. Особенности видового состава мохообразных на территории природного комплекса «Рудничный бор» // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 109–116. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.109

Некоторые исследователи отмечают, что в луговых и степных сообществах разнообразие мхов невелико, однако в лесных сообществах они являются важным компонентом и могут играть роль эдификаторов фитоценозов [9–12, 14]. Для мохообразных важен лесной микроклимат (высокая и сбалансированная влажность воздуха) и наличие кустарникового яруса [6, 8]. В лесах таежной зоны Западной Сибири зарегистрировано 111 видов листостебельных мхов, 65 из них были найдены в лесных сообществах [13]. Ранее проводились исследования по изучению мохообразных на юге Кемеровской области [5, 7], но в условиях Кемерово сведений недостаточно. Выявление видового состава мохообразных и наблюдение за экологией видов дают информацию об определенных закономерностях их распространения на исследуемой территории. Без учета знаний о степени участия мохообразных в различных растительных сообществах невозможно иметь полное представление о растительном покрове региона.

Цель работы – изучить особенности видового состава мохообразных, произрастающих на территории природного комплекса «Рудничный бор» г. Кемерово.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований служили мохообразные, произрастающие на территории природного комплекса «Рудничный бор» г. Кемерово. Бор расположен на высокой надпойменной террасе правого берега р. Томь. Преобладающим типом почв лесного массива являются серые лесные почвы. Основная лесообразующая порода бора – сосна обыкновенная, средний возраст которой 90–120 лет. Она формирует древесный ярус высотой 20...24 м. Степень сомкнутости крон колеблется от 0,2 до 0,7. Для сосняков Рудничного бора характерен густой подлесок, который в основном образуют черемуха обыкновенная и рябина сибирская высотой 6...8 м, редко встречается береза повислая. Отличительной особенностью бора является хорошее развитие кустарникового яруса, который служит эдификатором условий, сходных с условиями темнохвойной тайги. Доминантами кустарников служат бузина сибирская, смородина колосистая, карагана кустарниковая и жимолость обыкновенная. Довольно часто встречаются клен ясенелистный и яблоня ягодная. Травянистый ярус хорошо развит, проективное покрытие его колеблется от 30 до 85 %. Его доминанты – крапива двудомная, лопух войлочный, лабазник вязолистный, чемерица Лобеля, овсяница гигантская, хвощ луговой, лютик ползучий, кислица обыкновенная, будра плющевидная, подорожник большой и др. [3].

Мхи отбирали в 2015–2016 гг. по стандартной методике маршрутным методом [4]. Место точек сбора: участок со стороны Соснового бульвара, район Кемеровского кардиологического центра (площадь около 500 м²) и маршрут Логового шоссе до проспекта Шахтеров через лесной массив. Все собранные образцы мхов оформлены в гербарий. Камеральную обработку гербарного материала проводили традиционным анатомо-морфологическим методом с использованием бинокулярной лупы МСП-2 (ЛОМО), микроскопа «Микмед-6» (ЛОМО) и определителей [1, 2, 4]. Исследовано 195 образцов мохообразных. Первичные данные и результаты обработки гербария оформлены в базу данных с помощью программы Microsoft Office Excel 2007.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам наших исследований составлен список видов мхов, произрастающих на территории исследуемого лесного массива, с указанием их систематического положения, характера субстрата и распространения по экологическим группам (см. таблицу).

**Видовой состав мхов и их экологические особенности
в условиях природного лесного массива**

Вид	Количество	Экологическая группа	Субстрат
<i>Семейство Amblystegiaceae – амблистегиевые</i>			
<i>Amblystegium serpens</i> (Hedw.) B. S. G. – амблистегий ползучий	11	Эпифит	На стволах деревьев
<i>Campylophyllum halleri</i> (Hedw.) M.Fleisch. – кампилофиллум Галлера	1	Эпиксил	На валеже
<i>Семейство Brachytheciaceae – брахитециевые</i>			
<i>Brachythecium velutinum</i> (Hedw.) Ignatov et Huttunen – брахитециаструм бархатный	5	Эпифит	На стволах деревьев (бузина, яблоня)
<i>Brachythecium rotaeanum</i> De Not. – брахитециум Роты	9	Эпифит	На стволе сосны
<i>Brachythecium salebrosum</i> (Web. et Mohr) B. S. G – брахитециум неровный (шероховатый)	10	Эпифит	На стволах деревьев (черемуха, береза)
<i>Brachythecium mildeanum</i> (Schimp.) Schimp. in Milde – брахитециум Мильде	1	Эпифит	На стволах деревьев (бузина, клен)
<i>Cirriphyllum piliferum</i> (Hedw.) Grout – циррифиллум волосконосный	4	Эпиксил, эпигейд	На почве, на валеже
<i>Oxyrrhynchium hians</i> (Hedw.) Loeske – оксиринхиум зияющий	2	Эпиксил	На валеже
<i>Sciuro-hypnum reflexum</i> (Starke) Ignatov et Huttunen – сциурогипнум отогнутый	8	Эпиксил	На почве, на валеже
<i>Sciuro-hypnum starkei</i> (Brid.) Ignatov et Huttunen – сциурогипнум Штарке	4	Эпиксил	На валеже
<i>Sciuro-hypnum oedipodium</i> (Mitt.) Ignatov et Huttunen – сциурогипнум вздутоножковый	13	Эпифит, эпигейд	На почве, на валеже
<i>Семейство Bryaceae – бриевые</i>			
<i>Bryum argenteum</i> Hedw. – бриум серебристый	2	Эпигейд	На кирпичачах и бетоне, на почве
<i>Bryum caespiticium</i> Hedw. – бриум дернистый	3	Эпигейд	На почве
<i>Rhodobryum roseum</i> (Hedw.) Limpr. – родобриум розетковидный	5	Эпигейд, эпиксил	На почве, на валеже
<i>Семейство Pylaisiaceae – пилезиевые</i>			
<i>Pylaisia polyantha</i> (Hedw.) Bruch et al. – пилезия многоцветковая	10	Эпифит	На стволах деревьев
<i>Stereodon pallescens</i> (Hedw.) Mitt. – стереодон бледноватый	3	Эпиксил	На валеже
<i>Callicladium haldanianum</i> (Grev.) H.A.Crum – калликладидум Холдейна	4	Эпифит	На стволах деревьев
<i>Calliergonella lindbergii</i> (Mitt.) Hedenäs – каллиергонелла Лундберга	1	Эпиксил	На валеже
<i>Семейство Climaciaceae – климациевые</i>			
<i>Climacium dendroides</i> (Hedw.) Web. Et Mohr – климациум древовидный	2	Эпиксил	На валеже
<i>Семейство Ditrichaceae – дитриховые</i>			
<i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid. – цератодон пурпурный	13	Эпифит	В основании стволов деревьев

Окончание таблицы

Вид	Количество	Экологическая группа	Субстрат
<i>Семейство Lophocoleaceae – лофоколеевые</i>			
<i>Lophocolea heterophylla</i> (Schrad.) Dum. – лофоколея разнолистная	4	Эпиксил	На валеже
<i>Семейство Mniaceae – мниевые</i>			
<i>Plagiomnium ellipticum</i> (Brid.) T. J. Кор. – плагиомниум эллиптический	5	Эпигейд	На почве
<i>Plagiomnium medium</i> (B. S. G.) T. J. Кор. – плагиомниум средний	1	Эпиксил	На валеже
<i>Plagiomnium rostratum</i> (Schrad.) T. J. Кор. – плагиомниум клювовидный	2	Эпигейд	На почве
<i>Plagiomnium cuspidatum</i> (Hedw.) T. J. Кор. – плагиомниум остроконечный	17	Эпиксил, эпифит	В основании стволов деревьев, на валеже
<i>Pohlia nutans</i> (Hedw.) Lindb. – полия поникшая	5	Эпиксил	На валеже
<i>Семейство Orthotrichaceae – ортотриховые</i>			
<i>Orthotrichum obtusifolium</i> Brid. – ортотрихум туполистный	1	Эпифит	На стволе березы
<i>Orthotrichum speciosum</i> Nees – ортотрихум прекрасный	2	Эпифит	На стволе березы
<i>Семейство Plagiotheciaceae – плагиотециевые</i>			
<i>Plagiothecium denticulatum</i> (Hedw.) Bruch et al. – плагиотециум мелкозубчатый	6	Эпифит, эпиксил	На стволах деревьев, на валеже
<i>Plagiothecium laetum</i> B. S. G. – плагиотециум светло-зеленый	3	Эпифит	На валеже
<i>Семейство Scorpidiaceae – скорпидиевые</i>			
<i>Sanionia uncinata</i> (Hedw.) Loeske – саниония крючковатая	16	Эпифит	На стволах деревьев
<i>Семейство Thuidiaceae – туйдиевые</i>			
<i>Haplcladium microphyllum</i> (Hedw.) Broth. – гапнокладиум мелколистный	2	Эпиксил	На валеже
<i>Семейство Calliergonaceae – каллиергоновые</i>			
<i>Warnstorfia fluitans</i> (Hedw.) Loeske in Nitardy – варнсторфия плавающая	1	Эпигейд	На камнях, на почве
<i>Семейство Aulacomniaceae – аулакомниевые</i>			
<i>Aulacomnium palustre</i> (Hedw.) Schwaegr. – аулакомниум болотный	1	Эпиксил	На валеже
<i>Семейство Hylocomiaceae – гилокомиевые</i>			
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt – плеврозиум Шребера	1	Эпиксил	На валеже
<i>Семейство Leskeaceae – лескеевые</i>			
<i>Leskea polycarpa</i> Hedw. – лескея многоплодная	1	Эпиксил	На валеже

Таким образом, в составе мохообразных выявлено 36 видов мхов, принадлежащих к 25 родам и 16 семействам, и 1 печеночник – *Lophocolea heterophylla*. Наибольшее число видов содержат семейства Brachytheciaceae (9), Mniaceae (5), Pylaisiaceae (4), Bryaceae (3), которые включают 58 % от общей бриофлоры исследуемой территории. Лидирующее положение таких семейств является типичным для территории бореальной зоны, где решающую роль

в сложении растительного покрова играют виды лесной экологии. На остальные семейства приходится по два и менее видов. Самым крупным родом в сборах с территории природного комплекса является *Plagiomnium* (4 вида). По два рода встречались в семействах *Bryaceae*, *Amblystegiaceae* и *Mniaceae*.

На территории соснового бора наиболее массовые виды мхов – *Amblystegium serpens*, *Brachythecium salebrosum*, *Sanionia uncinata*, *Plagiomnium cuspidatum*, *Ceratodon purpureus*, *Sciuro-hypnum oedipodium*. Некоторые виды редки и отмечены из единичных местонахождений: *Aulacomnium palustre*, *Brachythecium mildeanum*, *Calliergonella lindbergii*, *Campylophyllum halleri*, *Oxyrrhynchium hians*, *Climacium dendroides*, *Leskea polycarpa*, *Plagiomnium medium*, *Orthotrichum speciosum*, *Plagiothecium laetum*, *Pleurozium schreberi*, *Warnstorfia fluitans*.

В зависимости от экологических условий в лесных сообществах выделяют несколько группировок мхов, приуроченных к разным микроместобитаниям. Это эпигейные мхи – мхи напочвенного покрова; эпифитные мхи, обитающие на стволах живых деревьев; эпиксильные мхи, обитающие на гниющей древесине. В наших исследованиях отнесено к эпифитно-эпиксильной группе наибольшее число видов, которые преимущественно обитали на стволах деревьев (сосна, бузина, яблоня, черемуха, клен) и поднимались на высоту до 2 м от земли. Большинство из них произрастали на валеже на начальных стадиях разложения древесины, некоторые виды – в основании стволов деревьев. Всего к данной группе отнесено около 31 вида, что составило 86 % от общего состава бриофлоры лесного массива. Высокая доля таких видов обусловлена тем, что в лесных сообществах существуют наиболее благоприятные условия для роста мохообразных. Так, покрытие снежным покровом снижает вероятность повреждения низкими температурами, рельеф старой коры позволяет задерживаться влаге и пыли. Гниющий колодник является субстратом, хорошо аккумулирующим влагу, кроме того, здесь практически отсутствует конкуренция со стороны других компонентов фитоценоза. Наименьшее количество мхов составила группа эпигейдов (14 %), произрастающих на почвенном субстрате.

Заключение

На территории природного комплекса «Рудничный бор» выявлено 36 видов мохообразных, принадлежащих к 25 родам и 16 семействам. Наибольшее число видов содержат семейства *Brachytheciaceae* (9), *Mniaceae* (5), *Pylaisiaceae* (4), *Bryaceae* (3), которые составили 58 % от общей бриофлоры исследуемой территории. Самым крупным родом является *Plagiomnium*. Выявлено наибольшее число видов эпифитно-эпиксильной группы, обитающих на стволах деревьев (бузина, береза, яблоня, сосна, черемуха, клен) и валеже и составляющих 86 % от общего состава бриофлоры лесного массива. Наименьшее количество мохообразных выявлено в группе эпигейдов (14 %), произрастающих на почвенном субстрате. Состав бриофлоры на изученной территории отнесен к типично бореальной зоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части Европейской России. Т. 1. *Sphagnaceae* – *Hedwigiaceae*. М.: КМК, 2003. 680 с.
2. Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части Европейской России. Т. 2. *Fontinalaceae* – *Amblystegiaceae*. М.: КМК, 2004. С. 609–944.

3. Куприянов А.Н., Манаков Ю.А., Скалон Н.В., Суцев Д.В., Хрусталева И.А., Стрельникова Т.О., Куприянов О.А. Отчет. Материалы комплексного экологического обследования лесного массива «Рудничный бор» в городе Кемерово. Кемерово: Кузбас. ботан. сад, 2013. 138 с.

4. Мульдияров Е.Я. Определитель листостебельных мхов Томской области: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1990. 208 с.

5. Ножинков А.Е. Предварительный список листостебельных мхов Кузбасского ботанического сада // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. 2007. Вып. 13. С. 83–85.

6. Писаренко О.Ю. Лесные мхи Западной Сибири: встречаемость и распространение // Растительный мир Азиатской России. 2012. № 2(10). С. 12–18.

7. Писаренко О.Ю., Ножинков А.Е. Материалы по редким видам мхов Кемеровской области // Флора и растительность антропогенно-нарушенных территорий. Кемерово, 2007. Вып. 3. С. 49–56.

8. Aude E., Poulsen R.S. Influence of Management on the Species Composition of Epiphytic Cryptogams in Danish Fagus Forests // Applied Vegetation Science. 2000. Vol. 3, iss. 1. Pp. 81–88.

9. Delgadillo C., Villaseñor J.L., Cárdenas A., Ortiz E. Diversity and Distribution of Mosses in the State of Hidalgo, Mexico // Revista Mexicana de Biodiversidad. 2014. Vol. 85, iss.1. Pp. 84–97. DOI: 10.7550/rmb.35761

10. Ignatov M.S. Moss Diversity Patterns on the Territory of the Former USSR // Arctoa. 1993. Vol. 2. Pp. 13–47.

11. Király I., Ódor P. The Effect of Stand Structure and Tree Species Composition on Epiphytic Bryophytes in Mixed Deciduous-Coniferous Forests of Western Hungary // Biological Conservation. 2010. Vol. 143, iss. 9. Pp. 2063–2069. DOI: 10.1016/j.biocon.2010.05.014

12. Ódor P., Király I., Tinya F., Bortignonc F., Nascimbene J. Patterns and Drivers of Species Composition of Epiphytic Bryophytes and Lichens in Managed Temperate Forests // Forest Ecology and Management. 2013. Vol. 306. Pp. 256–265. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.07.001

13. Pisarenko O.Yu. Mosses of Salair-Kuznetsk Region (Altai-Sayan Mountain Country) and Adjacent Plains of West Siberia // Arctoa. 2014. Vol. 23. Pp. 33–62. DOI: 10.15298/arctoa.23.06

14. Schofield W.B. Bryophyte Disjunctions in the Northern Hemisphere: Europe and North America // Botanical Journal of the Linnean Society. 1988. Vol. 98, iss. 3. Pp. 211–224. DOI: 10.1111/j.1095-8339.1988.tb02425.x

Поступила 15.06.18

UDC 582.32:581.5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.109

Features of Bryophytes Species Composition of the “Rudnichny Pine Forest” Natural Complex

O.L. Tsandekova, Candidate of Agricultural Sciences

A.E. Nozhinkov, Candidate of Biological Sciences

Institute of Human Ecology of the Siberian Branch of the RAS, prosp. Leningradskiy, 10, Kemerovo, 650065, Russian Federation; e-mail: zandekova@bk.ru, alexbryo@yandex.ru

The article provides information on species composition of mosses that grow in a natural forest environment. The territory of the pine forest is a part of the city forests of Kemerovo. It is a

For citation: Tsandekova O.L., Nozhinkov A.E. Features of Bryophytes Species Composition of the “Rudnichny Pine Forest” Natural Complex. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 109–116. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.109

unique natural area with a high recreational potential. A list of bryophytes is compiled. It includes 36 species belonging to 25 genera and 16 families. Information about each moss species which indicates their systematic position, nature of substrate, and distribution by ecological groups is provided. The results of the studies indicate that the largest number of species contain the following families: Brachytheciaceae (9), Mniaceae (5), Pylaisiaceae (4), Bryaceae (3). They represent 58 % of total brioflora of the study area. The largest genus is the *Plagiomnium* genus. The following representatives of bryophytes dominated on the territory of the forest: *Amblystegium serpens*, *Brachythecium salebrosum*, *Plagiomnium cuspidatum*, *Sanionia uncinata*, *Sciuro-hypnum oedipodium*, *Ceratodon purpureus*. The greatest number of species of epiphytic-epixialical group was found on tree trunks (elder, birch, apple tree, pine, bird cherry, maple) and windfall trees. This is 86 % of total forest land brioflora composition. Brioflora composition of the studied territory is referred to a typical boreal zone. Results of research can be used for monitoring of natural ecosystems.

Keywords: mosses, species composition, pine forest, ecological groups, Kemerovo, “Rudnichny Pine Forest” natural complex.

REFERENCES

1. Ignatov M.S., Ignatova E.A. *Flora mkhov sredney chasti Evropeyskoy Rossii. T. 1. Spagnaceae – Hedwigiaceae* [Moss Flora of Middle European Russia. Vol. 1. Spagnaceae – Hedwigiaceae]. Moscow, KMK Publ., 2003. 680 p. (In Russ.)
2. Ignatov M.S., Ignatova E.A. *Flora mkhov sredney chasti Evropeyskoy Rossii. T. 2. Fontinalaceae – Amblystegiaceae* [Brioflora of Middle European Russia. Vol. 2. Fontinalaceae – Amblystegiaceae]. Moscow, KMK Publ., 2004. Pp. 609–944. (In Russ.)
3. Kupriyanov A.N., Manakov Yu.A., Skalon N.V., Sushchev D.V., Khrustaleva I.A., Strel'nikova T.O., Kupriyanov O.A. *Otchet. Materialy kompleksnogo ekologicheskogo ob sledovaniya lesnogo massiva «Rudnichnyy bor» v gorode Kemerovo* [Report. Materials of the Complex Ecological Inspection of the “Rudnichny Bor” forest area in the city of Kemerovo]. Kemerovo, Kuzbasskiy botanicheskiy sad Publ., 2013. 138 p. (In Russ.)
4. Mul'diyarov E.Ya. *Opre delitel' listostebel'nykh mkhov Tomskoy oblasti: ucheb. posobiye* [Determinant of Leafy Mosses in Tomsk region: Educational Textbook]. Tomsk, Izd-vo Tomsk. un-ta, 1990. 208 p. (In Russ.)
5. Nozhnikov A.E. *Predvaritel'nyy spisok listostebel'nykh mkhov Kuzbasskogo botanicheskogo sada* [Preliminary List of Leafy Mosses of the Kuzbass Botanical Garden]. *Botanicheskkiye issledovaniya Sibiri i Kazakhstana*, 2007, no. 13, pp. 83–85.
6. Pisarenko O.Yu. *Lesnyye mkhi Zapadnoy Sibiri: vstrechayemost' i rasprostraneniye* [Forest Mosses of Western Siberia: Frequency and Distribution]. *Rastitel'nyj mir Aziatskoj Rossii* [Plant Life of Asian Russia], 2012, no. 2(10), pp. 12–18.
7. Pisarenko O.Yu., Nozhnikov A.E. *Materialy po redkim vidam mkhov Kemerovskoy oblasti* [Materials on Rare Mosses of Kemerovo Region]. *Flora i rastitel'nost' antropogenno-narushennykh territoriy* [Flora and Vegetation of Anthropogenically Disturbed Areas]. Kemerovo, 2007, no. 3, pp. 49–56.
8. Aude E., Poulsen R.S. *Influence of Management on the Species Composition of Epiphytic Cryptogams in Danish Fagus Forests*. *Applied Vegetation Science*, 2000, vol. 3, iss. 1, pp. 81–88.
9. Delgadillo C., Villaseñor J.L., Cárdenas A., Ortiz E. *Diversity and Distribution of Mosses in the State of Hidalgo, Mexico*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 2014, vol. 85, iss.1, pp. 84–97. DOI: 10.7550/rmb.35761
10. Ignatov M.S. *Moss Diversity Patterns on the Territory of the Former USSR*. *Arctoa*, 1993, vol. 2, pp. 13–47.

11. Király I., Ódor P. The Effect of Stand Structure and Tree Species Composition on Epiphytic Bryophytes in Mixed Deciduous-Coniferous Forests of Western Hungary. *Biological Conservation*, 2010, vol. 143, iss. 9, pp. 2063–2069. DOI: 10.1016/j.biocon.2010.05.014

12. Ódor P., Király I., Tinya F., Bortignonc F., Nascimbene J. Patterns and Drivers of Species Composition of Epiphytic Bryophytes and Lichens in Managed Temperate Forests. *Forest Ecology and Management*, 2013, vol. 306, pp. 256–265. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.07.001

13. Pisarenko O.Yu. Mosses of Salair-Kuznetsk Region (Altai-Sayan Mountain Country) and Adjacent Plains of West Siberia. *Arctoa*, 2014, vol. 23, pp. 33–62. DOI: 10.15298/arctoa.23.06

14. Schofield W.B. Bryophyte Disjunctions in the Northern Hemisphere: Europe and North America. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 1988, vol. 98, iss. 3, pp. 211–224. DOI: 10.1111/j.1095-8339.1988.tb02425.x

Received on June 15, 2018



УДК 634.0.383(083.9)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.117

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ***В.Г. Козлов, д-р техн. наук**А.В. Скрыпников, д-р техн. наук, проф.**Е.В. Чернышова, канд. техн. наук**Е.В. Чирков, экстерн**С.А. Поставничий, экстерн**Р.В. Могутов, экстерн*

Воронежский государственный университет инженерных технологий, просп. Революции, д. 19, г. Воронеж, Россия, 394036; e-mail: vya-kozlov@yandex.ru, skrypnikovvsafe@mail.ru, elenabok@mail.ru, e_v_chircov@mail.ru, r-mogutnov@mail.ru

Научные основы проектирования лесовозных автомобильных дорог, заложенные в трудах ведущих ученых в области обеспечения их транспортно-эксплуатационных характеристик, базируются на теории автомобиля. На начальном этапе требования к элементам плана и профиля определялись из условия обеспечения движения одиночного автомобиля, по динамическим характеристикам и динамической устойчивости на отдельных участках дорог, т. е. из условия взаимодействия системы «автомобиль–дорога». С увеличением количества автомобилей на дорогах появилась необходимость обеспечить пропуск транспортных потоков различной интенсивности, для чего потребовалось изучить взаимодействие системы «дорожные условия–транспортные дороги». Исследованиям этих проблем посвящены работы А.К. Бирули, В.Ф. Бабкова, Е.В. Кондрашова, В.В. Сильянова и др., которые создали основы теории движения транспортных потоков в различных дорожных условиях. Применение теорий вероятности и массового обслуживания к изучению процессов движения в работах Я.А. Калужского, В.В. Сильянова, И.В. Бегма, В.М. Кислякова и Д. Дрю существенно углубило понимание закономерностей движения транспортных потоков и управления ими. В связи с увеличением динамичности автомобилей и совершенствованием дорог возросли и скорости движения, что повысило роль водителя в выборе оптимальных режимов и обеспечении безопасности. Следовательно, один из перспективных путей повышения эффективности работы лесовозного автомобильного транспорта – изучение взаимодействия системы «водитель–условия движения». Выполненные исследования показывают, что поскольку главным звеном в процессе взаимодействия комплекса «водитель–автомобиль–дорога–среда» является водитель, требования к параметрам дорог должны исходить из создания наиболее благоприятных условий для его работы. С учетом этих требований должны разрабатываться и методы ландшафтного и пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог. В настоящий момент отсутствуют требования к допускаемым изменениям транспортно-

Для цитирования: Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Чирков Е.В., С.А. Поставничий, Могутов Р.В. Теоретические основы и методы математического моделирования лесовозных автомобильных дорог // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 117–127. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.117

эксплуатационных качеств дорог в зависимости от природно-климатических и погодных условий и методы оценки их влияния на режим и безопасность движения. Это не позволяет оценивать как качество проектов, так и эффективность деятельности дорожно-эксплуатационной службы по обеспечению удобства и безопасности движения на дороге.

Ключевые слова: лесовозные автомобильные дороги, эксплуатационные характеристики, проектирование дорог, информационное обеспечение.

Введение

Системному изучению эксплуатационных свойств элементов комплекса «автомобиль–водитель–дорога» посвящены работы В.Н. Иванова, В.Н. Ерохова, Е.В. Кондрашовой, Т.В. Скворцовой, А.Г. Чистякова, А.Ю. Арутюнян, Р.Н. Котлярова, П.И. Морозова и др. [4, 6, 8, 9, 11]. Их исследования направлены на совершенствование организации и управления всего транспортного процесса.

Выполненный авторами анализ условий движения и дорожно-транспортных происшествий на автомобильных лесовозных дорогах показывает, что на эффективность транспортного процесса существенное влияние оказывают погодно-климатические условия. Под их воздействием изменяются транспортно-эксплуатационные характеристики дорог, психофизиологическое состояние водителя, состояние систем и узлов автомобиля, а также режим движения транспортного потока, как результат взаимодействия всех элементов комплекса. Однако влияние природных и климатических условий в настоящее время учитывается главным образом в требованиях к прочности и работоспособности дорожных одежд и устойчивости земляного полотна. На основании исследований, выполненных В.Ф. Бабковым, А.К. Бирулей, Д. Дрю, Я.А. Калужским, И.В. Бегма, И.В. Чернышовой и др. [1–3, 5, 16], разработаны методы расчета дорожных одежд, в которых учитывается совместное воздействие природно-климатических условий и подвижной нагрузки. Прочность дорожных одежд рассчитывается по условиям самого неблагоприятного весеннего периода.

В районах с холодным климатом для предотвращения морозного пучения предусматриваются морозозащитные слои, толщина которых определяется методами, предложенными в работах [2, 7, 12], в районах с повышенной влажностью сооружаются дренажные устройства по методикам [7, 10, 13, 15]. Достижения отечественной науки в области исследования водно-теплового режима земляного полотна признаны мировой дорожной наукой.

Объекты и методы исследования

Методы проектирования лесовозных автомобильных дорог базируются на учете механического взаимодействия дороги и одиночного автомобиля, движущегося с расчетной скоростью.

Движение транспортных потоков учитывается только при определении числа полос движения, некоторых геометрических элементов и прочности дорожных одежд.

Результаты исследования и их обсуждение

В нормативно-технической литературе за расчетную скорость принимается наибольшая возможная скорость движения одиночных автомобилей при сухой или увлажненной чистой поверхности покрытия, при этом гололед, снежный накат, слой рыхлого снега, загрязненность покрытия, степень увлажнения, грязные обочины не учитываются, обеспеченность расчетных скоростей в проектах дорог не определяется. Например, величина максимального продольного уклона устанавливается, исходя из динамических характеристик автомобиля-тягача в автопоезде, и проверяется независимо от категории дороги и района ее прокладки по сцеплению для мокрого, но не загрязненного, заснеженного или обледенелого покрытия.

Известно, что коэффициент сцепления колеса автомобиля с сухим покрытием колеблется от 0,40 до 0,80, с влажным – от 0,20 до 0,40, с заснеженным или покрытым гололедом – от 0,07 до 0,27. При назначении геометрических элементов дорог, в частности при нахождении такого важного параметра, как видимость поверхности дороги, расчет ведется по коэффициенту сцепления 0,30...0,5.

При определении поперечного сцепления колеса с дорогой значение радиуса кривых в плане также принимается постоянным для всех районов нашей страны. В Строительных нормах и правилах имеется только указание об ограничении поперечного уклона до 4 % в районах с частыми туманами и длительными периодами гололеда с одновременным увеличением радиусов кривых.

Не существует метода учета погодных-климатических условий и при определении таких важных параметров, как радиусы вертикальных выпуклых и вогнутых кривых, ширина и поперечный уклон проезжей части, ширина обочин и переходных краевых полос, ширина и конструкция укрепления обочин при выборе сочетаний элементов плана и профиля дорог.

Обеспечение требуемых эксплуатационных качеств существующих дорог, организация дорожного движения и управление им возложено на дорожно-эксплуатационную службу. В ее задачи входит обеспечение круглогодичного, непрерывного, безопасного и удобного движения автомобилей, сохранности дорог и дорожных сооружений, повышение технического уровня и эксплуатационных качеств дорог с учетом роста интенсивности движения.

Сведения, содержащиеся в работах других авторов [7, 14] показывают, что взаимодействие автомобиля и дороги можно рассматривать как сложный комплекс, анализ состояния которого позволяет определить воздействие движущихся автомобилей на дорожную одежду, а также влияние погодных-климатических факторов на нее. Предложены многочисленные показатели эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог, каждый из которых оценивается соответствующим коэффициентом. К числу этих показателей относится скорость движения, непрерывность движения по дороге, прочность и ровность дорожной одежды, сцепные качества, интенсивность движения и др. Разработана классификация дорожно-ремонтных работ и периодичность их проведения, которая учитывает изменение состояния дорог под воздействием автомобильного движения и погодных-климатических факторов. На основе комплекса объективных показателей разработана методика оценки эффективности дорожно-ремонтных работ.

Однако исследования не содержат обоснованные нормативные требования ко многим транспортно-эксплуатационным показателям автомобильных лесовозных дорог в процессе эксплуатации. Так, не установлены требования к минимально допустимым скоростям движения транспортного потока и одиночного автомобиля, пропускной способности и уровню безопасности, непрерывности проезда в зависимости от категории дороги и погодноклиматических условий. Не обоснованы и не дифференцированы по категориям дорог требования к таким важнейшим показателям, как ровность, сцепные качества покрытий и коэффициент сопротивления качению, требования к эффективной ширине проезжей части и обочин, которые существенно влияют на скорость, безопасность и себестоимость перевозок. При проектировании лесовозных автомобильных дорог не анализируется изменение перечисленных показателей в процессе эксплуатации, не предусматриваются специальных мер для их обеспечения.

В условиях климата России для большинства районов лесозаготовок особые трудности в обеспечении удобного и безопасного движения на лесовозных дорогах возникают в зимний период. Условия работы дорог зимой рассмотрены в работах А.К. Бирули, В.Ф. Бабкова, Д.С. Птицина, Д.В. Радько [1, 2, 18]. Выполненные этими авторами исследования положены в основу районирования территорий по трудности снегоборьбы, ими предложено деление участков дорог по снегозаносимости в зависимости от соотношения геометрических размеров земляного полотна. Разработаны комплекс инженерных и организационных мероприятий по защите лесовозных автомобильных дорог от снежных заносов и требования к проектированию плана и профиля дороги по условиям снегозаносимости. Накоплен обширный опыт содержания дорог в зимний период.

При проектировании дорог не производится сравнение вариантов обеспечения требуемого состояния их поверхности в зимних условиях различными сочетаниями конструктивных и эксплуатационных мероприятий, не оцениваются возможность и вероятность образования гололеда и снежного наката на дорожных покрытиях, не предусматриваются меры по их предупреждению и ликвидации.

Во многих работах отмечаются значительные трудности зимнего содержания дорог на участках кривых малого радиуса в плане, на узлах примыканий и пересечений в одном и разных уровнях и в других стесненных условиях. Это требует изучения влияния геометрических элементов дорог и их сочетаний на состояние дорог и режимы движения в сложных погодных условиях.

Схемы установки дорожных знаков, разметки, конструкции ограждений, направляющих устройств и другого инженерного оборудования приняты одинаковыми для всей территории страны, для всех периодов года и климатических условий. Не учитывается, что направляющие столбики, тумбы и парапеты, дорожные знаки, установленные в пределах земляного полотна, приводят к снежным заносам, сужают его поверхность, мешают снегоочистке.

Назначению оптимальных скоростей движения транспортных потоков в реальных условиях посвящены многочисленные исследования, которые отражают большой накопленный опыт организации движения и управления им. Они охватывают широкий круг дорожных условий, различные сочетания

геометрических элементов дорог, интенсивности и состава движения, однако подавляющая часть наблюдений выполнена в летний период года, т. е. в наиболее благоприятных погодных условиях [14]. Исключением являются исследования режимов эксплуатации лесовозных автопоездов в зимний и осенне-весенний периоды года, которые посвящены изучению работы только автомобилей в условиях бездорожья, но не касаются режимов движения транспортных потоков [19]. В связи с этим необходимо продолжить изучение режимов движения одиночных автомобилей и транспортных потоков во время действия отдельных метеорологических факторов и их сочетаний в различные периоды года. Тем более, что произошел определенный прогресс в развитии методов, систем и технических средств управления движением. Появились знаки со сменной информацией, автоматические системы сбора информации о транспортных потоках, внедряются автоматизированные системы управления движением на автомагистралях с использованием ЭВМ, телевизионных устройств, управляемых дорожных знаков и различных приборов для сбора информации о параметрах дорог и метеорологических условиях.

Ведутся работы по изучению влияния дорожных условий на количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Особое значение имеют разработанные В.Ф. Бабковым [1] методы оценки безопасности движения на автомобильных дорогах с учетом коэффициентов аварийности и безопасности. Для оценки вариантов проектных решений плана и профиля дорог используются коэффициенты относительной безопасности, обратные по величине коэффициентам аварийности [1]. Однако эти методы учитывают влияние только некоторых отдельных метеорологических факторов на безопасность движения.

Представляет интерес попытка разработать метод оценки влияния всех элементов комплекса «водитель–автомобиль–дорога–среда» на безопасность движения. Многофакторная модель ДТП связана с погодно-климатическими условиями. На примере анализа ДТП А.В. Скрыпникова, Е.В. Кондрашовой и др. [8] получено уравнение множественной корреляции, связывающее количество ДТП с девятью факторами, которое не может считаться исчерпывающим, так как не включает многие важные элементы и параметры дорог. Таким образом, необходимость учета влияния погодно-климатических условий на безопасность движения остается актуальной.

Требуют уточнения и некоторые вопросы технико-экономического обоснования капиталовложений в дорожное строительство в различных климатических зонах.

Основным источником экономической эффективности строительства автомобильной лесовозной дороги является сокращение времени доставки лесоматериалов и пассажиров за счет увеличения скоростей движения автомобилей. Расчеты эффективности основаны на определении себестоимости перевозок до и после строительства дороги, причем себестоимость прежде всего связана с типом покрытия проезжей части, в зависимости от которого принимается и расчетная скорость. В технико-экономических расчетах скорость движения и себестоимость перевозок принимаются для летних условий и считаются постоянными в течение всего года, что не соответствует действительности.

Необходимо разработать методику учета влияния погодноклиматических условий на состояние дорог и условия движения. Анализ состояния лесовозных автомобильных дорог, условий движения, изменения скоростей движения и наличия ДТП в зависимости от состояния дорог для различных периодов года и погодных условий, выполненный совместно с анализом методов проектирования, организации ремонта, содержания дорог и регулирования движения с учетом погодных условий, позволяет сделать ряд важных выводов [9, 11, 17].

С позиций системного анализа функционирование автомобильно-дорожной системы представляет собой сложный многомерный процесс, непрерывно изменяющийся во времени и пространстве. Эффективность функционирования всей системы определяется состоянием отдельных подсистем, соответствием параметров одной подсистемы требованиям другой, их взаимодействием в различных условиях эксплуатации.

Лесовозные автомобильные дороги и вся дорожная сеть являются одним из главных элементов системы, степень развития, технический уровень и состояние которой существенно влияют на себестоимость автомобильных перевозок лесоматериалов, скорость, удобство и безопасность движения. Следовательно, необходимо непрерывное управление развитием сети лесовозных автомобильных дорог, их техническим уровнем и состоянием в целях обеспечения требуемой эффективности их работы как основной части автомобильно-дорожной системы.

Погодно-климатические и метеорологические условия, которые можно отнести к характеристикам окружающей среды, оказывают положительное или отрицательное влияние на состояние лесовозных автомобильных дорог, режим и безопасность движения лесовозов. Под воздействием условий изменяются транспортно-эксплуатационные характеристики дороги и окружающая обстановка, режим работы систем автомобиля, психофизиологическое состояние водителя, что приводит к изменению взаимодействия всего комплекса «водитель–автомобиль–дорога–среда» и его выходных параметров. При этом чем больше совершенствуются параметры автомобилей и автомобильных дорог и выше интенсивность и скорость движения, тем более существенным становится влияние погодноклиматических условий на взаимодействие систем комплекса и тем совершеннее должны быть методы управления параметрами комплекса и их взаимодействием в реальных условиях функционирования.

Существующие методы проектирования автомобильных лесовозных дорог недостаточно учитывают изменения условий движения лесовозов под воздействием неблагоприятных погодноклиматических условий и не предусматривают всего комплекса мер по обеспечению удобного и безопасного движения в любые периоды. Погодно-климатические условия учитываются при определении прочности дорожных одежд и устойчивости земляного полотна, но часто игнорируются при назначении параметров дорог, наиболее существенно влияющих на удобство и безопасность движения. Основные геометрические параметры плана, продольного поперечного профиля лесовозных автомобильных дорог, транспортно-эксплуатационные характеристики и элементы обустройства рассчитываются, как правило, на работу в летнее, наиболее благоприятное, время и не проверяются на их обеспеченность в другие периоды года, когда существенно изменяются интенсивность и состав

движения. Не разработаны методы прогноза и определения необходимого уровня транспортно-эксплуатационных характеристик дорог, что снижает ответственность проектных организаций за соблюдение нормальных условий движения лесовозного подвижного состава в процессе эксплуатации дорог в сложных погодных условиях. Вся ответственность за обеспечение удобного и безопасного движения возлагается на службу эксплуатации, не сравниваются различные варианты требуемой мощности и ресурсов для содержания дорог, имеющих различные технические параметры в неблагоприятные периоды года.

Таким образом, имеется разрыв в единой цепи создания и функционирования лесовозных автомобильных дорог. Существующие методы их ремонта и содержания направлены главным образом на сохранение естественно сложившихся ненормированных режимов и уровней безопасности движения, а в неблагоприятные периоды года и в сложных погодных условиях – на обеспечение непрерывности движения. Не разработаны научно-обоснованные методы определения минимально-допустимых показателей состояния дорог в неблагоприятные периоды года, показателей режимов движения, путей и ресурсов для их обеспечения.

Заключение

Закономерности движения транспортных потоков в неблагоприятных погодных-климатических условиях не исследованы и поэтому не имеют достаточного отражения в требованиях к элементам лесовозных автомобильных дорог и организации движения. Отсутствие данных о закономерностях движения транспортных потоков в неблагоприятные периоды года не позволяет прогнозировать режимы движения, пропускную способность дорог и уровень обеспечения безопасности движения, а также учитывать эти изменения в технико-экономических расчетах.

Все крупные инженерные сооружения рассчитываются на определенные критические условия работы или критические нагрузки, при которых они должны обладать необходимым запасом прочности и устойчивости. Современная лесовозная автомобильная дорога является сложным и дорогостоящим сооружением и для обеспечения высокой скорости и безопасности движения должна сохранять определенный минимум транспортно-эксплуатационных качеств в критических условиях эксплуатации.

Таким образом, возникает задача обоснования расчетных условий движения в зависимости от назначения дороги и погодных-климатических характеристик района, где она расположена. Необходимо разработать комплекс конструктивных и организационных решений, которые позволили бы обеспечить движение лесовозного подвижного состава в любых погодных-климатических условиях с требуемыми скоростями и уровнем безопасности, заложенными в проект. Выполнение требований расчета условий движения в зависимости от характеристик дороги и погодных-климатических условий может повлечь дополнительные затраты и поэтому должно быть экономически оправданным. Не во всех случаях полный комплекс мероприятий может быть экономически целесообразен, т. е. необходимы частные решения, которые могли бы локализовать влияние отдельных климатических факторов или значительно ослабить их. В этом случае должны быть заранее определены допускаемые режимы движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабков В.Ф.* Дорожные условия и безопасность движения: учеб. для вузов. М.: Транспорт, 1993. 271 с.
2. *Бируля А.К.* Эксплуатация автомобильных дорог: учеб. М.: Транспорт, 1966. 326 с.
3. *Дрю Д.* Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт, 2012. 424 с.
4. *Иванов В.Н., Ерохов В.Н.* Влияние параметров автомобильных дорог на расход топлива // *Автомобильные дороги*. 2014. № 8. С. 10–13.
5. *Калужский Я.А., Бегма И.В., Кисляков В.М., Филиппов В.В.* Применение теории массового обслуживания в проектировании автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1969. 136 с.
6. *Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В.* Совершенствование организации дорожного движения в транспортных системах лесного комплекса // *Системы управления и информационные технологии*. 2008. № 3.2(33). С. 272–275.
7. *Сильянов В.В., Ситников Ю.М.* Расчет скоростей движения при проектировании автомобильных дорог // *Тр. МАДИ*. 1974. Вып. 72. С. 47–66.
8. *Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В., Чистяков А.Г.* Моделирование поведения водителя при управлении автотранспортным средством // *Вестн. ВГУИТ*. 2015. № 1(63). С. 97–104.
9. *Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Скворцова Т.В., Арутюнян А.Ю.* Автоматизированное проектирование лесовозной дороги // *Автоматизация. Современные технологии*. 2016. № 6. С. 38–41.
10. *Скрыпников А.В., Котляров Р.Н.* Теоретическое обоснование условий безопасности движения лесовозных автопоездов в автомобильных потоках // *Лесотехн. журн*. 2011. № 2. С. 41–44.
11. *Скрыпников А.В., Котляров Р.Н., Морозов П.И.* Проектирование и планирование обустройства лесовозных автомобильных дорог // *Лесотехн. журн*. 2011. № 2. С. 36–41.
12. *Скрыпников А.В., Умаров М.М., Арутюнян А.Ю., Чернышова Е.В.* Анализ методов оценки надежности сложных технических комплексов // *Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: материалы междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 08–09 апр. 2015 г.* Воронеж: ВГУИТ, 2015. С. 76–81.
13. *Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Микова Е.Ю., Логойда В.С.* Выбор критерия принятия решений при управлении информационным обеспечением автомобильного транспорта // *Автоматизация. Современные технологии*. 2017. Т. 71, № 10. С. 476–478.
14. *Хомяк Я.В.* Проектирование сетей автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1983. 207 с.
15. *Чернышова Е.В.* Алгоритм решения задачи оптимального трассирования лесовозной автомобильной дороги на неоднородной местности // *Вестн. ВГУИТ*. 2017. Т. 79, № 2(72). С. 113–120.
16. *Чернышова Е.В.* Методы формирования цифровой модели местности при трассировании лесовозных автомобильных дорог // *Системы. Методы. Технологии*. 2017. № 3(35). С. 143–148.
17. *Skrypnikov A., Dorokhin S., Kozlov V.G., Chernyshova E.V.* Mathematical Model of the Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. Vol. 12, no. 2. Pp. 511–515. Режим доступа: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0117_5647.pdf (дата обращения: 01.02.2017).

18. Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V. Analysis of Security Identity and Access Management Systems // International Journal of Control Theory and Applications. 2016. Vol. 9, no. 1. Pp. 105–117.

19. Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V. Development of the Method for the Integration of Mobile Applications and Corporate Information Systems // Journal of Digital Information Management. 2016. Vol. 14, iss. 5. Pp. 322–332. Режим доступа: http://dline.info/fpaper/jdim/v14i5/jdimv14i5_5.pdf (дата обращения: 01.11.2016).

Поступила 25.06.18

UDC 634.0.383(083.9)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.117

Theoretical Foundations and Methods of Mathematical Modeling of Forestry Roads

G.V. Kozlov, Doctor of Engineering Sciences

A.V. Skrypnikov, Doctor of Engineering Sciences, Professor

E.V. Chernyshova, Candidate of Engineering Sciences

E.V. Chirkov, External Student

S.A. Postavnichiy, External Student

R.V. Mogutnov, External Student

Voronezh State University of Engineering Technologies, prosp. Revolyutsii, 19, Voronezh, 394036, Russian Federation; e-mail: vya-kozlov@yandex.ru, skrypnikovvsafe@mail.ru, elenabok@mail.ru, e_v_chircov@mail.ru, r-mogutnov@mail.ru

Scientific basis of forestry roads design laid down in the works of the leading scientists in the sphere of support of their transportation and operational parameters is based on the automobile theory. At the initial stage the requirements for plan and profile parts were determined by the condition of movement of a single car according to dynamic characteristics and dynamic stability on the certain road sections, i.e. by the condition of “car – road” system interaction. A necessity to ensure the traffic flow of varying intensity emerged with the increase of cars on roads. That required studying of “road conditions – transport roads” system interaction. These issues were studied in the papers of such scientists as A.K. Biruli, V.F. Babkov, E.V. Kondrashov, V.V. Sil’yanova and others, who created the fundamentals of the traffic flows theory under varying road conditions. Application of the theories of probability and queueing to the study of movement processes in the papers of Ya.A. Kaluzhskiy, V.V. Sil’yanov, I.V. Begma, V.M. Kislyakov and D. Dryu had significantly deepened the understanding of regularities of traffic flows and their management. Traffic speeds had increased due to the increase of acceleration capacity of cars and improvement of roads that enhanced the driver’s role in choosing the optimal modes and ensuring traffic safety. Consequently, one of the most promising ways to improve the efficiency of forestry road transport is the study of “driver – traffic conditions” system interaction. The research shows that the requirements for the road parameters must be based on creation of the most favorable conditions for the driver's work since the key link in “driver – car – road – environment” system interaction is a driver. Methods of landscape and spatial design of forestry roads must be developed due to these requirements. Currently, there are no requirements for assumed changes in transportation and operational parameters of roads depending on the climatic and weather conditions and methods for assessment of their influence on the traffic

For citation: Kozlov G.V., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Chirkov E.V., Postavnichiy S.A, Mogutnov R.V. Theoretical Foundations and Methods of Mathematical Modeling of Forestry Roads. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 117–127. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.117

mode and safety. This does not allow evaluating of projects quality and efficiency of road service activities for ensuring of traffic convenience and safety on road.

Keywords: forestry roads, operation parameters, road design, information support.

REFERENCES

1. Babkov V.F. *Dorozhnyye usloviya i bezopasnost' dvizheniya: ucheb. dlya vuzov* [Road Conditions and Traffic Safety: Textbook for Universities]. Moscow, Transport Publ., 1993. 271 p. (In Russ.)
2. Birulya A.K. *Eksploatatsiya avtomobil'nykh dorog: ucheb.* [Road Operation: Textbook]. Moscow, Transport Publ., 1966. 326 p. (In Russ.)
3. Dryu D. *Teoriya transportnykh potokov i upravleniye imi* [Theory of Traffic Flows and Their Management]. Moscow, Transport Publ., 2012. 424 p. (In Russ.)
4. Ivanov V.N., Erokhov V.N. Vliyaniye parametrov avtomobil'nykh dorog na raskhod topliva [Influence of Highways Parameters on Fuel Consumption]. *Avtomobil'nyye dorogi*, 2014, no. 8, pp. 10–13.
5. Kaluzhskiy Ya.A., Begma I.V., Kislyakov V.M., Filippov V.V. *Primeneniye teorii massovogo obsluzhivaniya v proyektirovanii avtomobil'nykh dorog* [Application of Queueing Theory in Road Design]. Moscow, Transport Publ., 1969. 136 p. (In Russ.)
6. Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. Sovershenstvovaniye organizatsii dorozhnogo dvizheniya v transportnykh sistemakh lesnogo kompleksa [Improving of Traffic Management in Transport Systems of Forest Complex]. *Sistemy upravleniya i informatsionnyye tekhnologii*, 2008, no. 3.2(33), pp. 272–275.
7. Sil'yanov V.V., Sitnikov Yu.M. Raschet skorostey dvizheniya pri proyektirovanii avtomobil'nykh dorog [Calculation of Driving Speed in Road Design]. *Tr. MADI* [Academic Papers of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)]. 1974, iss. 72, pp. 47–66.
8. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Chistyakov A.G. Modelirovaniye povedeniya voditelya pri upravlenii avtotransportnym sredstvom [Modeling of Driver's Behavior in Driving a Vehicle]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2015, no. 1(63), pp. 97–104.
9. Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Skvortsova T.V., Arutyunyan A.Yu. Avtomatizirovannoye proyektirovaniye lesovoznoy dorogi [Automated Design Engineering of a Forestry Road]. *Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii* [Automation. Modern Technology], 2016, no. 6, pp. 38–41.
10. Skrypnikov A.V., Kotlyarov R.N. Teoreticheskoye obosnovaniye usloviy bezopasnosti dvizheniya lesovoznykh avtopoyezdov v avtomobil'nykh potokakh [Theoretical Justification of Safety Conditions for Traffic of Logging Truck in Automobile Flows]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2011, no. 2, pp. 41–44.
11. Skrypnikov A.V., Kotlyarov R.N., Morozov P.I. Proyektirovaniye i planirovaniye obustroystva lesovoznykh avtomobil'nykh dorog [Designing and Planning of Construction of Forestry Roads]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2011, no. 2, pp. 36–41.
12. Skrypnikov A.V., Umarov M.M., Arutyunyan A.Yu., Chernyshova E.V. Analiz metodov otsenki nadezhnosti slozhnykh tekhnicheskikh kompleksov [Analysis of Methods for Reliability Assessment of Complex Engineering Complexes]. *Sistemnyy analiz i modelirovaniye protsessov upravleniya kachestvom v innovatsionnom razvitii agropromyshlennogo kompleksa: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Voronezh, 08–09 apr. 2015 g.* [System Analysis and Modeling of Quality Management Processes in Innovative Development of Agroindustrial Complex: Proceedings of Int. Sci.-Pract. Conf., Voronezh, April 08–09, 2015]. Voronezh, VSUET Publ., 2015, pp. 76–81.

13. Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Mikova E.Yu., Logoyda V.S. Vybor kriteriya prinyatiya resheniy pri upravlenii informatsionnym obespecheniyem avtomobil'nogo transporta [Criterion Selection for Decision Making in Information Support Management of Automobile Transport]. *Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii* [Automation. Modern Technology], 2017, vol. 71, no. 10, pp. 476–478.

14. Khomyak Ya.V. *Proyektirovaniye setey avtomobil'nykh dorog* [Network Design of Automobile Roads]. Moscow, Transport Publ., 1983. 207 p. (In Russ.)

15. Chernyshova E.V. Algoritm resheniya zadachi optimal'nogo trassirovaniya lesovoznoy avtomobil'noy dorogi na neodnorodnoy mestnosti [Solution Algorithm of Optimal Forestry Road Setting out on a Heterogenic Terrain]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2017, vol. 79, no. 2(72), p. 113–120.

16. Chernyshova E.V. Metody formirovaniya tsifrovoy modeli mestnosti pri trassirovaniy lesovoznykh avtomobil'nykh dorog [Methods of Formation of a Digital Terrain Model for Forestry Road Setting out]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2017, no. 3(35), pp. 143–148.

17. Skrypnikov A., Dorokhin S., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of the Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, vol. 12, no. 2, p. 511–515. Available at: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0117_5647.pdf (accessed 01.02.2017).

18. Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V. Analysis of Security Identity and Access Management Systems. *International Journal of Control Theory and Applications*, 2016, vol. 9, no. 1, pp. 105–117.

19. Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V. Development of the Method for the Integration of Mobile Applications and Corporate Information Systems. *Journal of Digital Information Management*, 2016, vol. 14, iss. 5, pp. 322–332. Available at: http://dline.info/fpaper/jdim/v14i5/jdimv14i5_5.pdf (accessed 01.11.2016).

Received on June 25, 2018

УДК 625.731.001.24

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.128

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПОПЕРЕЧНОГО ИЗГИБА ОСНОВАНИЙ ЗИМНИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ ГРУНТАХ

В.С. Морозов, д-р техн. наук, проф.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 22, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: v.morozov@narfu.ru

На обширных северных территориях Европейской России и Западной Сибири располагается значительная часть природных ресурсов: лес, нефть, газ и др. Освоение этих территорий затруднено в связи со слабым развитием транспортной сети и сильной степенью заболоченности, достигающей 55...70 %. Поэтому при освоении этих регионов особое внимание уделяется зимним автомобильным дорогам. Соблюдение определенных правил и технологии строительства дает возможность реализовать преимущества зимних дорог. Ввод их в эксплуатацию осенью сдерживается наличием незамерзших участков на переувлажненных заболоченных грунтах и болотах. Правильный выбор конструкции дорожной одежды и технико-экономическая обоснованность позволяют увеличить срок службы зимних дорог на болотах в соответствии с запланированными объемами вывозки древесины и улучшить их состояние. С помощью данных мероприятий и использования специальных методов расчета на прочность можно определить наименьшую толщину дорожного покрытия (слоя мерзлого торфа) для проезда транспортных средств и повысить сохранность дорог. Показано, что напряженно-деформированное состояние дорожной одежды зимних дорог и грунтовых массивов существенно отличаются. Зависимость механических свойств массива мерзлого торфа от температуры и изменение его размеров в основании дороги приводит к возникновению разных показателей механических свойств в отдельных точках массива. Слой мерзлого торфа на слое талого торфа прогибается как единое целое и в этом смысле аналогичен тонкой плоской плите. Установлено, что при симметричной нагрузке эпюры прогибов и напряжений в поперечном сечении дороги также симметричны, но при асимметричной нагрузке имеет место перекося полотна дороги. Для учета поперечного изгиба в расчеты введен коэффициент поперечного изгиба α . Приведены методика его определения и пример расчета.

Ключевые слова: напряжения, деформации, болото, торф, расчеты на прочность, поперечный изгиб.

Введение

Мерзлый торф (МТ) в качестве дорожно-строительного материала обладает двумя основными особенностями, которые отличают его от других распространенных материалов (супесь, песок, глина и др.). Первая заключается в том, что основные механические характеристики деформационных

Для цитирования: Морозов В.С. Особенности расчета поперечного изгиба оснований зимних автомобильных дорог на заболоченных грунтах // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 128–137. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.128

свойств МТ (модуль упругости и прочность) существенно зависят от его температуры, влажности и продолжительности действия внешней (подвижной) нагрузки. Еще одна его особенность – МТ является разномодульным телом, которое во время сжатия проявляет свойства, присущие пластичному телу, при растяжении – хрупкому. Следовательно, при разработке методики расчета оснований зимних дорог на прочность и оценки их несущей способности необходимо учитывать основные механические характеристики деформационных свойств МТ, которые, в свою очередь, зависят от вида нагружения (растяжения или сжатия).

Известно, что процессы ползучести МТ при воздействии на дорогу кратковременной подвижной нагрузки (автопоезд) выражены слабо. Следовательно, МТ можно рассматривать как упругое тело [5]. В большинстве расчетов на прочность допускается использовать методы теории упругости. В этом случае механические свойства будут характеризоваться модулем упругости и коэффициентом Пуассона (коэффициентом поперечной деформации α).

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является основание автомобильной дороги из МТ.

В настоящее время для оценки проезжаемости зимних автомобильных дорог на болотах в осенне-весенний период не существует достаточно полной методики расчета.

За основу расчетной схемы можно взять основание зимних дорог, проложенных на болотах, и представить его длинной плитой из МТ, лежащей на линейно-деформируемом основании из талого торфа (рис. 1).

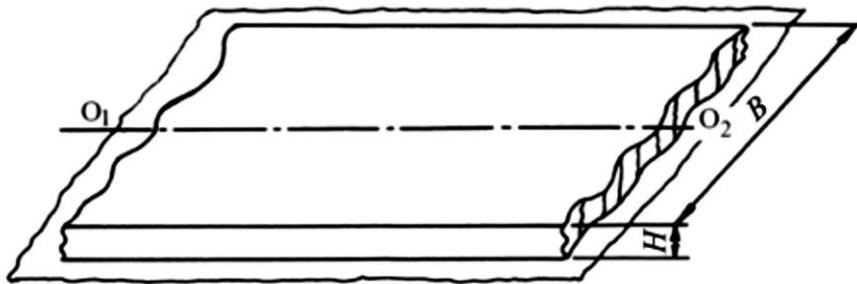


Рис. 1. Основание дороги из МТ в качестве плиты: B – ширина; H – толщина

Fig. 1. Road base made of frozen peat as a slab: B – width; H – thickness

Действие внешней нагрузки от автопоездов оказывает на плиту продольные и поперечные деформации (рис. 2).

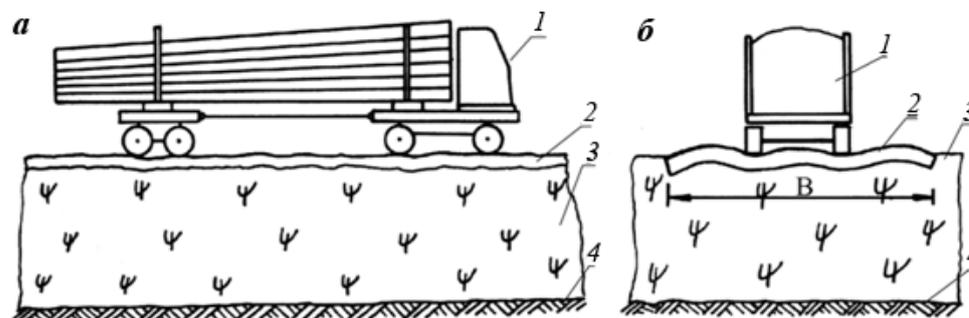


Рис. 2. Изгиб плиты при движении автомобиля по зимней дороге в продольном (а) в поперечном (б) направлениях: 1 – автопоезд; 2 – нагруженная плита из МТ; 3 – талый торф; 4 – дно болота, представленное минеральным основанием

Fig. 2. Slab bending during vehicle moving on a winter road in the longitudinal (a) and cross (b) directions; 1 – road train; 2 – loaded slab made of frozen peat; 3 – thawed peat; 4 – swamp floor represented by mineral base

На переходах через болота и на заболоченных участках прочность основания зимних дорог во многом зависит от его деформации. При движении транспортного средства происходит изгиб плиты в продольном и поперечном направлениях. Поперечный изгиб плиты не учитывается.

Основание зимних дорог на болотах состоит в большинстве случаев из слоя МТ на слое талого торфа. Для повышения несущей способности дорожную одежду усиливают укладкой сплошного поперечного и продольного настила из хлыстов или бревен. Поверх настила насыпают слой минерального грунта, укладывают порубочные остатки и т. д.

В случае движения автомобиля вдоль оси дороги с симметричной загрузкой колес по обеим сторонам изгиб плиты в поперечном направлении будет одинаковым [11]. При смещении автопоезда к краю дороги наблюдается скручивание плиты, что делает ее напряженно-деформированное состояние еще более сложным (рис. 3).

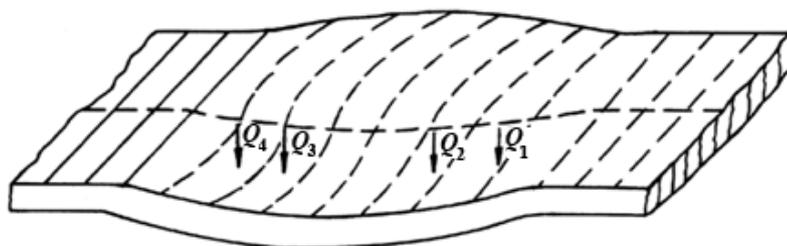


Рис. 3. Схема скручивания плиты от движения автопоезда при смещении от оси дороги

Fig. 3. Scheme of slab twisting from road train movement off a road baseline

Прочностные свойства оснований зимних дорог в условиях болотистой местности зависят от наименьшей толщины слоя МТ, который обеспечивает движение транспортных средств.

При построении расчетной схемы дороги произведем замену плиты балкой высотой H и шириной B эквивалентной жесткости (E_3), лежащей на

линейно-деформируемом основании из талого торфа и воспринимающей внешнюю нагрузку от транспортных средств [7, 12]. Тогда от двухосной (плоской) задачи можно перейти к одноосной (линейной). Использование коэффициента поперечного изгиба α позволяет учесть влияние поперечного изгиба плиты. В этом случае становится возможным одновременно рассматривать продольный и поперечный изгибы.

Для лесовозных дорог внешней нагрузкой является автопоезд (рис. 4, а).

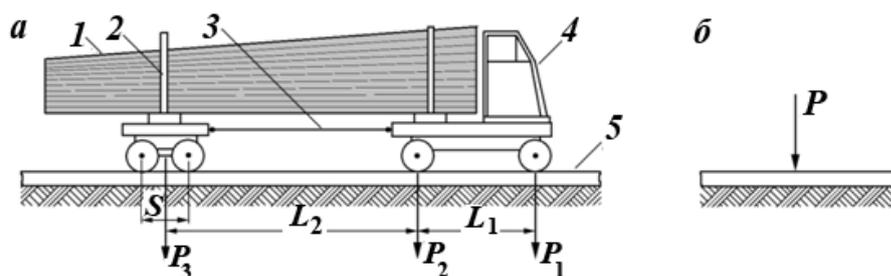


Рис. 4. Схема расчета внешней нагрузки: а – автопоезд; б – схема приложения силы; 1 – груз; 2 – полуприцеп-ропуск; 3 – дышло; 4 – автомобиль-тягач; 5 – дорога

Fig. 4. Scheme for calculation of external load: а – road train; б – scheme of calculated force application; 1 – cargo; 2 – semitrailer pole carriage; 3 – draft pole; 4 – towing truck; 5 – road

Из представленной схемы видно, что на дорогу в вертикальном направлении воздействуют следующие нагрузки: P_1 и P_2 – оказывают давление на задний и передний мосты автомобиля; P_3 – на мост прицепа-ропуска. Так как нагрузки P_1 и P_2 существенно меньше P_3 , а расстояние L_2 достаточно велико по сравнению с базой автомобиля-тягача L_1 , то за расчетную нагрузку принимаем силу P , которая будет равна P_3 (рис. 4, б). Сила P оказывает прямое воздействие на балку, которая лежит на линейно-деформируемом основании.

Если основание охарактеризовать с помощью коэффициента постели C , то решение данной задачи, связанное с изгибом балки, будет известно [1, 2, 10]. Таким образом можно определить параметры напряжения и деформации балки, требуемые поперечные размеры плиты при заданных допустимых напряжениях на растяжение для МТ.

Однако данная расчетная схема является условной. Представленная плита не является балкой и может испытывать изгиб как вдоль, так и поперек оси дороги (см. рис. 2). Пренебрежение поперечным изгибом может привести к большим погрешностям и ошибкам в расчетах. Воспользуемся методикой решения задачи по расчету, аналогичному расчету железнодорожного пути [3, 4, 8].

Выполняя расчет нужно учитывать продольный (рельсы) и поперечный (шпалы) изгиб, т. е. рельсо-шпальная решетка изгибается в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Аналогичную деформацию испытывает и плита из МТ, поэтому при ее расчете применим ту же методику, что и для рельсо-шпальной решетки [9].

При расчете на прочность поперечный изгиб рельсо-шпальной решетки учитывается коэффициентом поперечного изгиба α , который определяется

как отношение среднего прогиба по длине балки $\omega_{\text{ср}}$ к его максимальному значению ω_{max} :

$$\alpha = \omega_{\text{ср}} / \omega_{\text{max}}.$$

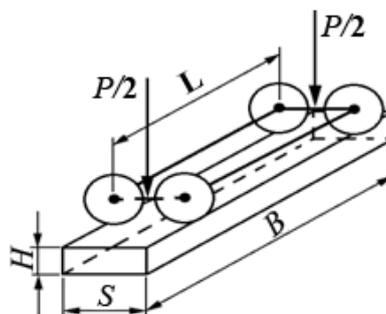
За расчетный элемент, который имитирует шпалу (брус) при расчете плиты из МТ, принимаем участок дороги, расположенный между колесами прицепа (рис. 5) и имеющий следующие размеры: B – длина бруса, равная ширине проезжей части дороги; H – толщина бруса, равная толщине слоя МТ; S – поперечная ширина, равная расстоянию между осями тележки прицепа (для заднего моста, состоящего из одной оси) [9].

Поперечную ширину находим по формуле

$$S = D = 1,08\sqrt{P/P_0},$$

где D – диаметр круга, равный площади отпечатка колеса; P – прилагаемая к колесу нагрузка; P_0 – внутреннее давление, возникающее в шине.

Рис. 5. Расчетный брус
Fig. 5. Calculated beam



На брус действуют две силы $P = P_3/2$, расстояние между которыми составляет L (ширина колеи полуприцепа). Методика расчета прогибов бруса конечной длины, лежащего на линейно-деформируемом основании с коэффициентом постели C , для расчетной схемы на рис. 6 приведена в [6].

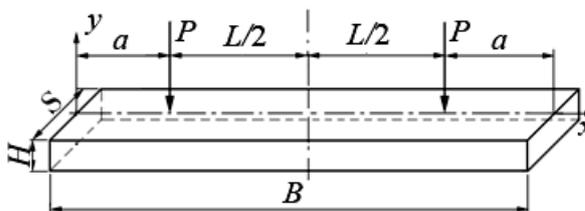


Рис. 6. Расчетный брус (где $a = (B - L)/2$)
Fig. 6. Calculated beam (where $a = (B - L)/2$)

Результаты исследования и их обсуждение

Для снижения трудоемкости вычислений на ЭВМ при расчете коэффициента α была составлена программа, состоящая из следующих блоков:

1. Вычисление основных расчетных величин:

$$U = CS; \quad k = \sqrt[4]{\frac{3C}{EH^3}}; \quad I = \frac{SH^3}{12},$$

где U – модуль упругости основания; C – коэффициент постели основания; S – расчетная ширина балки; k – коэффициент относительной жесткости плиты и основания балки; E – эквивалентный модуль упругости основания; H – толщина балки; I – момент инерции поперечного сечения бруса при его изгибе.

2. Вычисление гиперболических функций:

$$\begin{aligned} sh\left(\frac{kB}{2}\right) &= \frac{\left(e^{\frac{kB}{2}} - e^{-\frac{kB}{2}}\right)}{2}; \\ sh\left(\frac{kL}{2}\right) &= \frac{\left(e^{\frac{kL}{2}} - e^{-\frac{kL}{2}}\right)}{2}; \\ ch\left(\frac{kB}{2}\right) &= \frac{\left(e^{\frac{kB}{2}} + e^{-\frac{kB}{2}}\right)}{2}; \\ ch\left(\frac{kL}{2}\right) &= \frac{\left(e^{\frac{kL}{2}} + e^{-\frac{kL}{2}}\right)}{2}. \end{aligned}$$

3. Вычисление фундаментальных функций:

$$\begin{aligned} Y_1 &= \cos\left(\frac{kB}{2}\right) ch\left(\frac{kB}{2}\right); \quad V_1 = \cos\left(\frac{kL}{2}\right) sh\left(\frac{kL}{2}\right); \\ Y_2 &= \left[\sin\left(\frac{kB}{2}\right) ch\left(\frac{kB}{2}\right) + \cos\left(\frac{kB}{2}\right) sh\left(\frac{kB}{2}\right)\right] / 2; \\ Y_3 &= \sin\left(\frac{kB}{2}\right) sh\left(\frac{kB}{2}\right); \quad V_1 = \sin\left(\frac{kL}{2}\right) sh\left(\frac{kL}{2}\right); \\ Y_4 &= \frac{\left[\sin\left(\frac{kB}{2}\right) ch\left(\frac{kB}{2}\right) - \cos\left(\frac{kB}{2}\right) sh\left(\frac{kB}{2}\right)\right]}{4}. \end{aligned}$$

4. Вычисление прогибов $y(0)$ и углов поворота $y'(0)$ на левом конце балки (начальные условия):

$$\begin{aligned} y(0) &= -\frac{kP}{U} \frac{Y_1 V_1 + 4Y_3 V_3}{Y_1 Y_2 + 4Y_3 Y_3}; \\ y'(0) &= -\frac{4k^2 P}{U} \frac{Y_2 V_3 - Y_4 V_1}{Y_1 Y_2 + 4Y_3 Y_3}. \end{aligned}$$

5. Вычисление прогибов балки в отдельных ее сечениях:

$$y(kx) = Y_1(kx)y(0) + Y_2(kx)\frac{y'(0)}{k} - \frac{P}{k^3 EI} Y_4[k(x-a)].$$

Начальное значение x равно нулю, конечное – B , шаг вычислений ординат $y - \Delta x$. По мере вычисления $y(x)$ ЭВМ формирует массив значений y , находит максимальное значение ординаты прогибов y_{\max} , среднее значение $y_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n y_i/n$ (где n – число ординат) и значения α .

Результаты вычисления коэффициента α для частных случаев приведены в таблице и проиллюстрированы на рис. 7.

Для составления таблицы необходимо было знать изменение температуры (Θ) МТ на поверхности проезжей части, коэффициент постели (C) и ширину проезжей части (B).

Зависимость коэффициента поперечного изгиба α от различных факторов

Θ , °C	E_3 , МПа	Значения α при ширине дороги B , см			
		300	500	700	900
$C = 5 \text{ Н/см}^3$					
-1	258,0	0,530	0,391	0,253	0,200
-5	294,5	0,625	0,436	0,310	0,244
-10	284,4	0,654	0,462	0,330	0,259
$C = 3 \text{ Н/см}^3$					
-1	258,0	0,418	0,274	0,193	0,154
-5	294,5	0,499	0,334	0,236	0,186
-10	284,4	0,526	0,356	0,251	0,199
$C = 1 \text{ Н/см}^3$					
-1	258,0	0,380	0,243	0,173	0,138
-5	294,5	0,446	0,294	0,208	0,165
-10	284,4	0,470	0,313	0,221	0,175

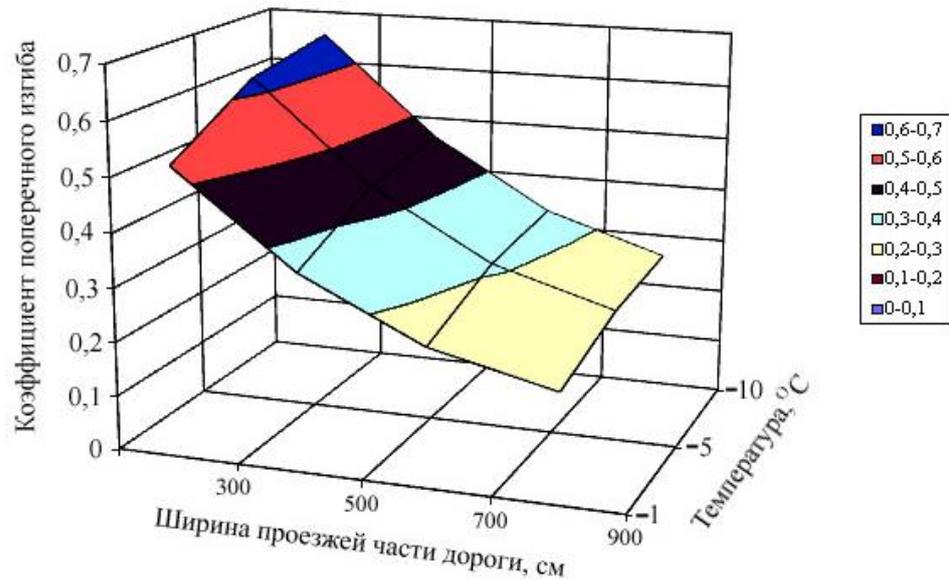


Рис. 7. График распределения коэффициентов поперечного изгиба α при коэффициенте постели $C = 5 \text{ Н/см}^3$

Fig. 7. Distribution graph of cross bending coefficients α at coefficient of soil reaction $C = 5 \text{ Н/см}^3$

Коэффициент постели зависит от типа болота [3]. Для первого типа болота $C = 5 \text{ Н/см}^3$; для второго – 3 Н/см^3 ; для третьего – 1 Н/см^3 .

Значения эквивалентного модуля упругости E_3 определяли по методике, приведенной в работе [6].

Выводы

Прочность дорожной одежды повышается в зависимости от коэффициента поперечного изгиба α . Он максимален при $C = 5 \text{ Н/см}^3$ (для болота первого типа), $\Theta = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ и ниже, $B = 300 \text{ см}$ (см. таблицу).

Значения коэффициента α снижаются по мере увеличения ширины дороги B (при прочих равных условиях).

Знание коэффициента поперечного изгиба α позволяет определить коэффициент относительной жесткости дорожной одежды и основания дороги:

$$k = \sqrt[4]{\frac{0,3C\alpha}{E_3 H^3}},$$

где C – коэффициент постели основания дорожной одежды, зависящий от типа болота, Н/см^3 ; α – коэффициент поперечного изгиба; E_3 – эквивалентный модуль упругости дорожной одежды, МПа; H – толщина дорожной одежды, см.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вайнгольц А.И.* Прогноз несущей способности двухслойного основания на основе результатов анализа его напряженного состояния: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2014. 24 с.
2. *Микеладзе Ш.Е.* Некоторые задачи строительной механики. М.; Л.: Гостехиздат, 1948. 268 с.
3. *Морозов С.И.* О расчете устойчивости рельсо-шпальной решетки // Лесн. журн. 1974. № 2. С. 45–50. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Морозов С.И.* О критерии устойчивости железнодорожного пути // Тр. АЛТИ. Вып. XXVIII: Исследования по механизации лесоразработок и транспорту леса. Архангельск, 1971. С. 60–67.
5. *Морозов В.С.* Расчет и проектирование оснований зимних дорог на болотах: учеб. пособие. Архангельск: АГТУ, 1999. 235 с.
6. *Морозов В.С.* Расчет на прочность оснований зимних дорог на заболоченных грунтах // Лесн. журн. 2012. № 6. С. 58–65. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Шапошников Н.А.* Вероятностный расчет балки на неоднородно деформируемом основании на действие динамической нагрузки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2013. 25 с.
8. *Шахуньянц Г.М.* Путь и путевое хозяйство: учеб. пособие. М.: Трансжелдориздат, 1949. 632 с.
9. *Шахуньянц Г.М.* Железнодорожный путь: учеб. для студентов и аспирантов вузов железнодорожного транспорта. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Транспорт, 1987. 479 с.
10. *Янковский Л.А.* К расчету круглой плиты на двухслойном упругом основании // Строительная механика и расчет сооружений. 1963. № 1. С. 44–45.
11. *Frejaques J.L.* Construction de routes sur terrains compressibles // Revue générale des routes et des aérodromes. 1977. N. 535. Pp. 11–15, 85–86.
12. *Lutz E.* Dammbau ohne Beseitigung weicher Bodenschichten // Straßenbau – Techn. 1973. В. 26, N. 19. S. 32–34.

UDC 625.731.001.24.128

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.128

Aspects of Cross Bending Calculation for Winter Road Bases on Boggy Grounds*V.S. Morozov, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

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

Severnoy Dviny, 22, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: v.morozov@narfu.ru

There is a significant part of natural resources such as forest, oil, gas, etc. in the vast northern territories of European Russia and Western Siberia. Invasion of these territories is difficult due to the poor development of the traffic network and a high degree of swampiness reaching 55–70 %. Therefore, special attention in the development of these regions is paid to winter roads. Observance of certain rules and construction technology allows realization of winter roads advantages. Putting them into operation in autumn is constrained by the presence of unfrozen road sections on water-logged boggy grounds and swamps. The right choice of road topping and technical and economic validity allow increasing lifetime of the winter roads on swamps according to the planned volumes of wood removal and improving them. It is possible to determine the smallest thickness of road pavement (layer of frozen peat) for the passage of vehicles and increase the duration of road life with the help of these measures and the use of special methods of structural analysis. It is shown that the stress-strain behavior of the winter road topping significantly differs from the soil body road topping. Dependence of mechanical properties of the frozen peat area on the temperature and change of its dimensions in the road base leads to the generation of various indicators of mechanical properties in discrete points of the area. A frozen peat layer on a thawed peat layer bends in block and in this sense it is similar to a thin flat plate. It was determined that eures of deflection and tension in the cross section of the road under the symmetrical load are also symmetrical, however, there is a roadway bowing under the asymmetrical load. Cross bending coefficient α is added into the calculations in order to take into account cross bending. Method of coefficient determination and an example of calculation are given.

Keywords: tension, deformations, swamp, peat, structural analysis, cross bending.

REFERENCES

1. Vayngol'ts A.I. *Prognoz nesushchey sposobnosti dvukhsloynogo osnovaniya na osnove rezul'tatov analiza ego napryazhennogo sostoyaniya: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Forecast of Load-Carrying Capability of a Double-Layer Base on the Basis of Analysis Results of Its Tension: Cand. Tech. Sci. Abs.]. Volgograd, 2014. 24 p.
2. Mikeladze Sh.E. *Nekotoryye zadachi stroitel'noy mekhaniki* [Some Tasks of Structural Mechanics]. Moscow, Gostekhizdat Publ., 1958. 268 p. (In Russ.)
3. Morozov S.I. O raschete ustoychivosti rel'so-shpal'noy reshetki [Buckling Analysis of a Track Panel]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1974, no. 2, pp. 45–50.
4. Morozov S.I. O kriterii ustoychivosti zheleznodorozhnogo puti [Criteria of Stability of a Railway Track]. *Tr. ALTI. Vyp. XXVIII: Issledovaniya po mekhanizatsii lesorazrabotok i transportu lesa* [Academic Papers of Arkhangelsk Forest Engineering Institute named after V.V. Kuibyshev. Iss. XXVIII: Research on Mechanization of Forest Exploitation and Forest Transportation]. Arkhangelsk, ALTI Publ., 1971, pp. 60–67.

For citation: Morozov V.S. Aspects of Cross Bending Calculation for Winter Road Bases on Boggy Grounds. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 128–137. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.128

5. Morozov V.S. *Raschet i proyektirovaniye osnovaniy zimnikh dorog na bolotakh: ucheb. posobiye* [Calculation and Design of Winter Road Bases on Wetlands: Educational Textbook]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 1999. 235 p. (In Russ.)

6. Morozov V.S. Raschet na prochnost' osnovaniy zimnikh dorog na zabolochennykh gruntakh [Strength Analysis of Winter Road Bases on Boggy Grounds], *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2012, no. 6, pp. 58–65.

7. Shaposhnikov N.A. *Veroyatnostnyy raschet balki na neodnorodno deformiruemom osnovanii na deystviye dinamicheskoy nagruzki: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Probability Calculation of a Beam on a Heterogeneous Deforming Base to Dynamic Load: Cand. Tech. Sci. Abs.]. Volgograd, 2013. 25 p.

8. Shakhun'yants G.M. *Put' i putevoye khozyaystvo: ucheb. posobiye* [Railway Track and Track Facilities: Educational Textbook]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1949. 632 p. (In Russ.)

9. Shakhun'yants G.M. *Zheleznodorozhnyy put': ucheb. dlya studentov i aspirantov vuzov zheleznodorozhnogo transporta* [Railway Track: Textbook for Students and Postgraduate Students of Higher Educational Institutions of Railway Transport]. Moscow, Transport Publ., 1987. 479 p. (In Russ.)

10. Yankovskiy L.A. K raschetu krugloy plity na dvukhsloynnom uprugom osnovanii [Calculation of a Round Plate on a Two-Layer Elastic Cushion]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions], 1963, no. 1, pp. 44–45.

11. Frejacques J.L. Construction de routes sur terrains compressibles. *Revue générale des routes et des aérodromes*, 1977, no. 535, pp. 11–15, 85–86.

12. Lutz E. Dammbau ohne Beseitigung weicher Bodenschichten. *Straßenbau – Techn.*, 1973, B. 26, N. 19, S. 32–34.

Received on June 21, 2018



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 691.116

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.138

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ *LVL* С РАЗЛИЧНЫМ СОЧЕТАНИЕМ ВЗАИМНО ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫХ СЛОЕВ ШПОНА

Е.Ю. Циулин, асп.

А.Б. Шмидт, канд. техн. наук, доц.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2-я Красноармейская ул, д. 4, Санкт-Петербург, Россия 190005;
e-mail: eciulin@edu.spbgasu.ru, shmidt.a.b@lan.spbgasu.ru

Комбинированные составные несущие конструкции, такие как клефанерные, являются наиболее рациональными по материалоемкости по сравнению с обычными клеешпунными конструкциями той же несущей способности. Однако конструктивные особенности и некоторые сложности изготовления снижают экономическую эффективность клеешпунных конструкций. Появление материала *LVL* и возможность использования различных его типов вместо фанерных стенок и дощатых поясов позволяют значительно повысить эффективность и расширить область применения комбинированных конструкций составного двутаврового или коробчатого сечения. Важной проблемой, которая затрудняет широкое использование комбинированных конструкций с *LVL*, является то, что в современных российских нормах проектирования отсутствует информация о значении модуля упругости под разным углом к волокнам древесины в пакете *LVL*. Эта информация необходима для расчета конструкций, например по методу приведенного сечения. В статье приводятся описание создания конечно-элементных моделей и результаты конечно-элементного анализа анизотропии модуля упругости материала *LVL* марки «Ultralam» с различным количеством слоев и сочетанием их укладки по взаимно-перпендикулярному и параллельному расположению в них волокон древесины. Для исследования использовали численное моделирование испытаний *LVL* на изгиб методом конечных элементов согласно ГОСТ 33124–2014 в программе SCAD. Полученные данные обрабатывали в программных комплексах Mathcad и Excel. В результате были получены простые аналитические зависимости, позволяющие вычислять модуль упругости конструкций всех типов и толщин *LVL* марки «Ultralam» под любым заданным углом к волокнам древесины слоев.

Ключевые слова: *LVL* брус марки «Ultralam», модуль упругости, метод конечных элементов, численный эксперимент, деревянные конструкции, клееные деревянные конструкции.

Для цитирования: Циулин Е.Ю., Шмидт А.Б. Численное моделирование модуля упругости *LVL* с различным сочетанием взаимно перпендикулярных слоев шпона // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 138–148. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.138

Введение

В строительстве несущие клефанерные конструкции считаются наиболее экономичными в силу рациональности поперечного сечения (двухтавровое, коробчатое или двухтаврово-коробчатое) [4, 8]. Однако низкая технологичность изготовления таких конструкций [7] тормозит их широкое применение. С появлением плит и *LVL (Laminated Veneer Lumber)* бруса [9–15] использование сечений по типу клефанерных становится весьма перспективным как в конструктивном, так и технологическом плане. Для таких конструкций значительно (до 40...50 м) возрастает длина пролета, пропадает необходимость устройства конструктивных стыков стенок, увеличивается диапазон размеров поясов стенок как по сечению, так и по длине (до 20 м). Появляется возможность создавать унифицированные конструкции ломаного рационального очертания, двухтаврово-коробчатого сечения с типизированными конструктивными элементами и сечениями.

Расчет и проектирование таких конструкций по нормам [3, 5] следует выполнять с использованием метода приведенного сечения, для чего необходимо знать модули упругости стенки и поясов под разными углами в участках перелома осей элементов конструкций. Однако в нормах [1, 2, 5, 6] отсутствуют значения модуля упругости для *LVL* бруса под разными углами к волокнам древесины шпона, поэтому проектирование становится некорректным.

Цель исследования – определение модуля упругости в плоскости листа для различных типов и толщин *LVL* марки «Ultralam» под разными углами (от 0 до 90° с шагом 5°) к направлению волокон наружных слоев и при известных значениях модулей упругости каждого слоя вдоль и поперек его волокон.

Для достижения поставленной цели был выбран метод численного моделирования испытаний образца *LVL* в соответствии с действующими нормами [2].

Объекты и методы исследования

В ходе исследования решались следующие задачи.

1. Выбрать расчетную схему, соответствующую схеме испытаний на изгиб по ГОСТ 33124–2014 «Брус многослойный клееный из шпона. Технические условия» [2].

2. Построить методом конечных элементов (МКЭ) модели экспериментальных образцов в виде многослойных пластинчатых конечных элементов с анизотропными (ортотропными) свойствами, соответствующими реальным свойствам *LVL* «Ultralam» разных марок.

3. Построить модель нагружения конечно-элементного образца *LVL* на изгиб двумя силами по методике [2] для определения модуля упругости E .

4. Реализовать МКЭ численный эксперимент, используя программно-вычислительный комплекс (ПВК) SCAD.

5. Построить графические зависимости E от угла α расположения слоев относительно оси образца.

6. Подобрать аппроксимирующие зависимости E – α в виде аналитических выражений и наглядных диаграмм.

Расчетная схема испытаний на изгиб согласно [2] при установке образца «по кромке» (т. е. с вертикальным расположением клеевых швов между слоями шпона) представлена на рис 1.

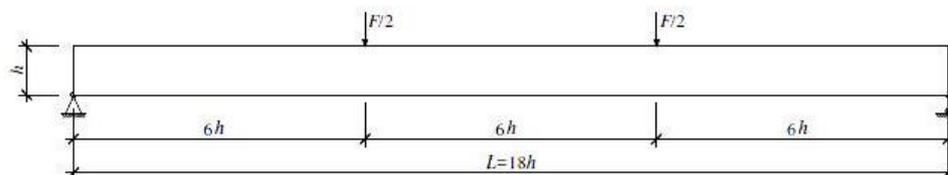


Рис. 1. Расчетная схема согласно [2] при установке образца «по кромке»

Fig. 1. Calculation model according to [2] when installing the sample along the edge

По методике, изложенной в [2], поочередно прикладываются нагрузки F_1 и F_2 (где $F_1 = 0,1 F_{\max}$, $F_2 = 0,4 F_{\max}$), измеряются прогибы (соответственно f_1 и f_2), определяется модуль упругости:

$$E = \frac{3aL^2(F_2 - F_1)}{4bh^2(f_2 - f_1)}, \quad (1)$$

где $a = 6h$; L – пролет балки; b – ширина сечения; h – высота сечения.

Значение F_{\max} находится в зависимости от временного сопротивления изгибу под разным углом к волокнам древесины $R_{\text{и}\alpha}^{\text{вр}}$, которое согласно СП 64.13330.2017 [5] рассчитывается как

$$R_{\text{и}\alpha}^{\text{вр}} = \frac{R_{\text{и}}^{\text{вр}}}{1 + \left(\frac{R_{\text{и}}^{\text{вр}}}{R_{\text{и}90}^{\text{вр}}} - 1 \right) \sin^3 \alpha}. \quad (2)$$

В табл. 1 отображено расположение слоев шпона для различных типов и толщин LVL марки «Ultralam» согласно СТО 36554501-021–2010 [6].

Таблица 1

Схема расположения слоев шпона для LVL «Ultralam»

Толщина плиты, мм	Тип R		Типы X и I		
	Число слоев, шт.	Расположение слоев	Число слоев, шт.	В том числе поперечных, шт.	Расположение слоев
19	7	IIIIII	7	2 или 3	I-III-I или I-I-I-I
21	7	IIIIII	7	2	I-III-I или II-I-II
27	9	IIIIIIII	9	2	II-III-II
33	11	IIIIIIIII	11	2	II-III-II
39	13	IIIIIIIIII	13	2	II-III-II
45	15	IIIIIIIIIII	15	4	II-II-III-II-II

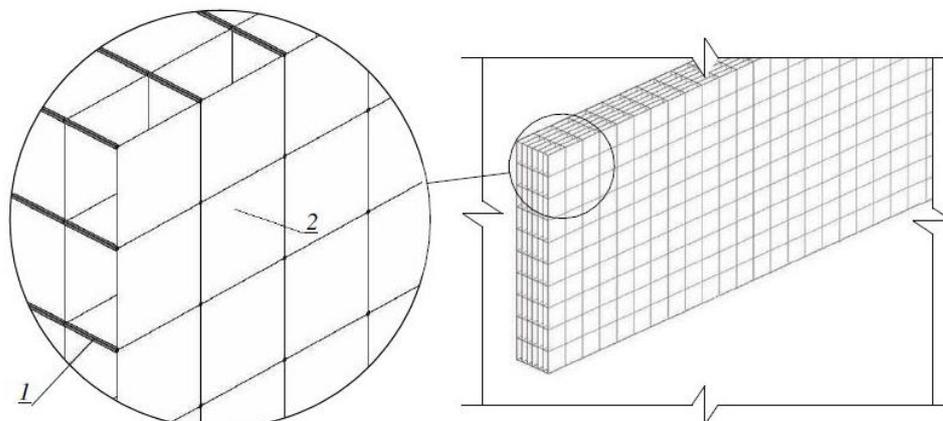


Рис. 3. Общий вид КЭ балки, в которой все слои шпона расположены вертикально и параллельно продольной оси балки, взаимно перпендикулярные оси анизотропии пластин – параллельно горизонтальным и вертикальным направлениям: 1 – стержень КЭ (абсолютно жесткая вставка); 2 – пластинчатый КЭ (количество слоев – согласно табл. 1)

Fig. 3. General view of FE (finite element) of the beam, where all the veneer layers are arranged vertically and parallel to the longitudinal axis of the beam and mutually perpendicular axes of anisotropy of plates are parallel to the horizontal and vertical directions: 1 – bar FE (absolutely rigid insertion); 2 – plate FE (number of layers according to the tabel 1)

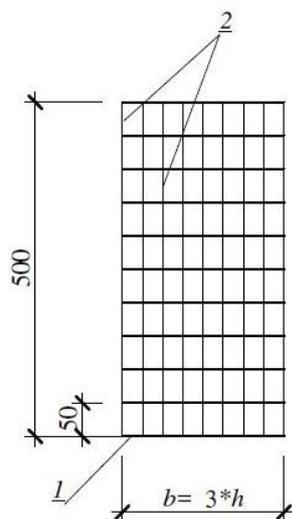


Рис. 4. Поперечное сечение КЭ балки, в которой все слои шпона расположены вертикально и параллельно продольной оси балки, взаимно перпендикулярные оси анизотропии пластин – параллельно горизонтальным и вертикальным направлениям: 1 – стержень КЭ (абсолютно жесткая вставка); 2 – пластинчатый КЭ; h – количество слоев согласно табл. 1 [6]

Fig. 4. Cross section of beam FE, where all the veneer layers are arranged vertically and parallel to the longitudinal axis of the beam and mutually perpendicular axes of anisotropy of plates are parallel to the horizontal and vertical directions: 1 – core of FE (absolutely rigid insertion); 2 – plate FE; h – number of layers according to the table 1 [6]

Так как в ПВК Scad 11.5 отсутствует возможность поворота осей пластинчатых элементов на заданный угол, а значит и осей ортотропии тоже, то для моделирования случая расположения слоев под разным углом к продольной оси элемента в плоскости изгиба было решено вращать непосредственно пластинчатые элементы на угол от 0 до 90° с шагом 5°.

Пример сформированной модели экспериментальной балки с аналогичными пролетом и высотой сечения с пластинчатыми элементами, развернутыми под углом 30° к продольной оси, представлен на рис. 5.

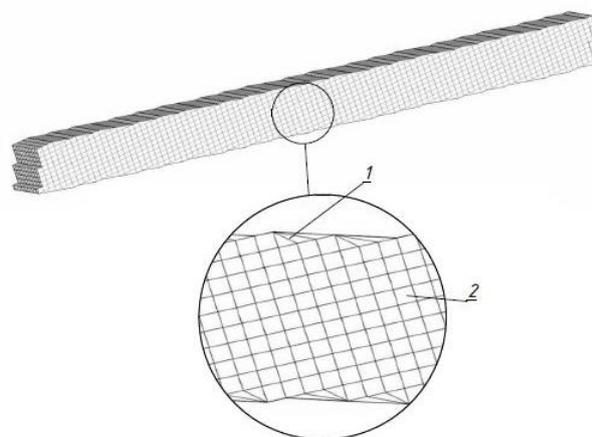


Рис. 5. Общий вид экспериментальной балки с пластинчатыми элементами (слоями шпона), развернутыми под углом 30° к продольной оси балки: 1 – треугольный КЭ; 2 – прямоугольный КЭ

Fig. 5. General view of the experimental beam with plate elements (veneer layers) deployed at an angle of 30° to the longitudinal axis of the beam: 1 – triangular FE; 2 – rectangular FE

Для «сглаживания» получившихся при повороте пластин «неровностей» использовали треугольные КЭ с осями ортотропии, параллельными осям прямоугольных КЭ.

В результате моделирования для численного эксперимента было создано 810 моделей элементов с разным числом слоев (и соответственно толщин), а также их сочетаний при углах наружных слоев от 0 до 90° с шагом 5° . Это эквивалентно 4050 образцам при натуральных испытаниях (по 5 шт. минимум на каждый вид образца) и материалоемкости, равной $50 \text{ м}^3 \text{ LVL}$, с примерной стоимостью только материала более 1 млн р. Следует отметить, что ряд натуральных испытаний выполнить было бы весьма трудно, а получить достоверные данные почти невозможно. Например, в образцах с волокнами, расположенными вертикально, когда изгибные нормальные напряжения в нижней кромке направлены на растяжение поперек волокон с прочностью, близкой к нулю. После решения задачи для *LVL* толщиной от 21 до 106 мм типов *R* и *X* были получены значения прогибов при различных углах поворота волокон шпона относительно продольной оси балки, а также данные для случая, когда все слои шпона в пакете по аналогии с фанерой имеют взаимно-перпендикулярное направление. Такой тип, условно обозначенный как тип *P*, может быть изготовлен по желанию заказчика.

На основе полученных данных с использованием программного комплекса Mathcad-15 были найдены аппроксимирующие уравнения в виде полиномов третьей степени с коэффициентами, позволяющими корректировать зависимости E для промежуточных углов в диапазоне углов α от 0 до 90° [6] для всех типов *LVL* и вычислять значения E для любых промежуточных α .

Запишем общий вид полинома третьей степени для определения модуля упругости *LVL* под углом к волокнам древесины:

$$E_{\alpha}^{Tb} = K_{Tb} [a_{Tb}(k_{\alpha}\alpha)^3 + b_{Tb}(k_{\alpha}\alpha)^2 + c_{Tb}(k_{\alpha}\alpha) + d_{Tb}], \quad (3)$$

где α – угол наклона волокон древесины пакета (от $0 \dots 90^{\circ}$), \dots° ; T – тип *LVL* марки «Ultralam» (R , X или P); E_{α}^{Tb} – модуль упругости *LVL* типа T толщиной b под углом α , МПа; K_{Tb} , a_{Tb} , b_{Tb} , c_{Tb} , d_{Tb} – коэффициенты для *LVL* типа T толщиной b , табл. 2; $k_{\alpha} = 0,211$.

Подставим значения коэффициентов полинома в формулу (3), тогда модуль упругости при толщине 45 мм под углом 25° для марки X :

$$E_{25}^{x45} = 2,14[-2,7(0,211 \cdot 25)^3 + 109(0,211 \cdot 25)^2 - 1431(0,211 \cdot 25) + 6490] = 6210,8 \text{ МПа.} \quad (4)$$

На основании полученных данных был сделан вывод, что для типов R и P значения модуля упругости не зависят от количества слоев шпона в пакете, поскольку все слои имеют либо параллельное, либо взаимно перпендикулярное расположение волокон соответственно. В табл. 2 для типов R и P значения коэффициентов не зависят от толщины плиты *LVL*.

Таблица 2

Значения коэффициентов полинома для разных типов *LVL* «Ultralam»

Тип <i>LVL</i>	Толщина плиты <i>LVL</i>	K_{Tb}	a_{Tb}	b_{Tb}	c_{Tb}	d_{Tb}
R	Не зависит	2,14	-2,70	109,0	-1431,0	6490,0
X	21	1,99	0,38	-1,23	-179,0	5539,0
	27	1,40	-0,87	53,5	-985,0	7874,0
	39	1,33	-1,59	79,8	-1282,0	8258,0
	45	1,46	-0,49	39,3	-817,0	7542,0
	51	1,45	-0,20	36,2	-916,0	7586,0
	57	1,44	-0,53	43,0	-902,0	7619,0
	63	1,43	-0,56	43,0	-883,0	7689,0
	69	1,41	-0,74	49,6	-959,0	7807,0
	75	1,42	-0,71	49,4	-973,0	7766,0
	90	1,42	-2,15	92,4	-1314,0	7743,0
	100	1,46	-1,28	66,7	-1114,0	7517,0
106	1,40	-3,43	135,0	-1678,0	7880,0	
P	Не зависит	2,24	0,03	10,8	-289,0	5816,0

На рис. 6 представлены графики зависимости модуля упругости E от угла наклона волокон α для *LVL* марки «Ultralam» типов P и R .

Для типа X значение модуля упругости зависит от количества слоев, так как меняется число взаимно перпендикулярных листов шпона (рис. 7).

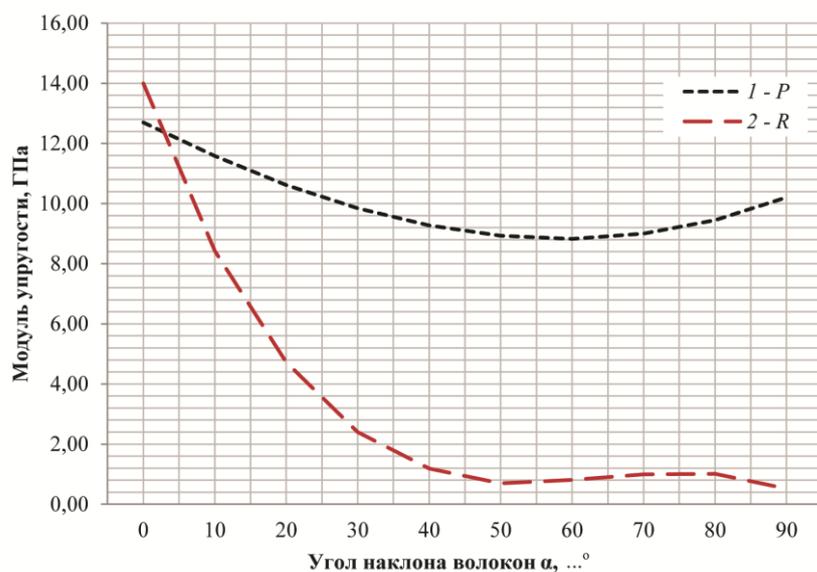


Рис. 6. Зависимость модуля упругости от угла наклона волокон α для LVL типов R (1) и P (2)

Fig. 6. Dependence of elastic modulus on angle of slope of fibers for types R (1) and P (2)

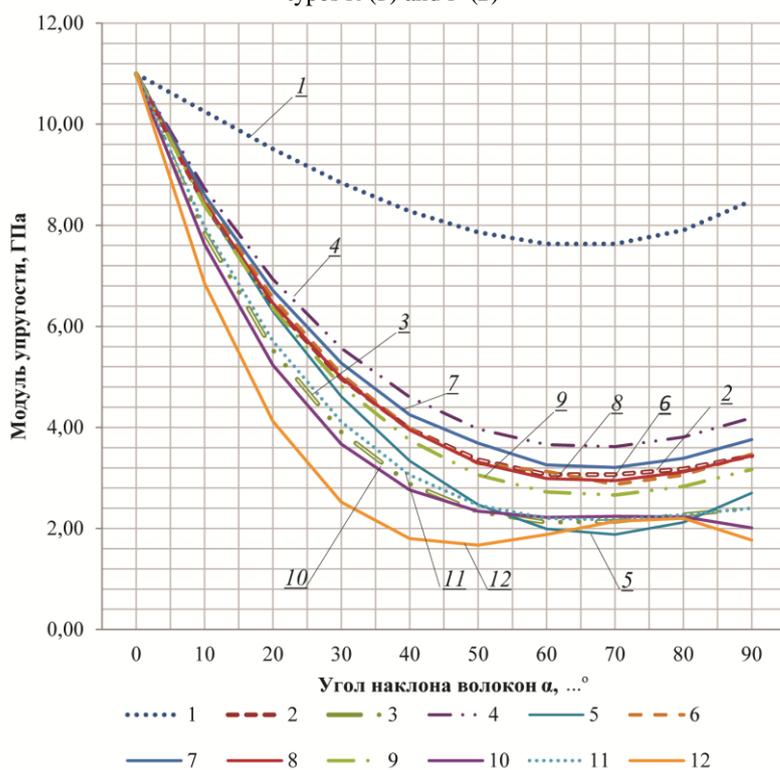


Рис. 7. Зависимость модуля упругости E от угла наклона волокон α для LVL марки «Ultralam» типа X: 1 – толщина 21 мм; 2 – 27; 3 – 39; 4 – 45; 5 – 51; 6 – 57; 7 – 63; 8 – 69; 9 – 75; 10 – 90; 11 – 100; 12 – 106 мм

Fig. 7. Dependence of elastic modulus E on angle of slope of fibers α for Ultralam LVL type X: 1 – 21 mm thickness; 2 – 27; 3 – 39; 4 – 45; 5 – 51; 6 – 57; 7 – 63; 8 – 69; 9 – 75; 10 – 90; 11 – 100; 12 – 106 mm

Заключение

Полученные в результате численного эксперимента зависимости позволяют производить более точный расчет конструкций составных сечений с использованием *LVL* разных типов и под разными углами сопряжения элементов, что снизит их материалоемкость и расширит сферы применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ашкенази Е.К.* Анизотропия древесины и древесных материалов. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 218 с.
2. ГОСТ 33124–2014. Брус многослойный клееный из шпона. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2015.
3. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II–25–80) / ЦНИИСК. М.: Стройиздат, 1986. 216 с.
4. *Серов Е.Н., Санников Ю.Д., Серов А.Е.* Проектирование деревянных конструкций: учеб. пособие / под ред. Е.Н. Серова. М.: АСВ, 2011. 536 с.
5. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуал. версия СНиП II–25–80. М., 2017.
6. СТО 36554501-021–2010. Деревянные конструкции. Многослойный клееный из шпона материал «Ultralam» (Ультралам). М.: НИЦ «Строительство», 2010.
7. *Шмидт А.Б.* Численный анализ работы клефанерных конструкций с дефектами изготовления // Вестн. граждан. инж. 2011. № 4(29). С. 41–46.
8. *Шмидт А.Б., Дмитриев П.А.* Атлас строительных конструкций из клееной древесины и водостойкой фанеры: учеб. пособие. М.: АСВ, 2002. 285 с.
9. DIN EN 14374:2004. Timber Structures – Structural Laminated Veneer Lumber – Requirements. 2005. 22 p.
10. DIN EN 408:2004. Timber Structures – Structural Timber and Glued Laminated Timber – Determination of Some Physical and Mechanical Properties. 2004. 30 p.
11. EN 1995-1-1:2004+A1. Eurocode 5: Design of Timber Structures – Part 1–11: General – Common Rules and Rules for Buildings. 2008. 121 p.
12. *Jäger A., Bader T., Hofstetter K., Eberhardsteiner J.* The Relation between Indentation Modulus, Microfibril Angle, and Elastic Properties of Wood Cell Walls // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2011. Vol. 42, iss. 6. Pp. 677–685. DOI: 10.1016/j.compositesa.2011.02.007
13. *Kamala B.S., Kumar P., Rao R.V., Sharma S.N.* Performance Test of Laminated Veneer Lumber (LVL) from Rubber Wood for Different Physical and Mechanical Properties // Holz als Roh- und Werkstoff. 1999. Vol. 57, iss. 2. Pp. 114–116. DOI: 10.1007/s001070050025
14. *Meder R., Thumm A., Bier H.* Veneer Stiffness Predicted by NIR Spectroscopy Calibrated Using Mini-LVL Test Panels // Holz als Roh- und Werkstoff. 2002. Vol. 60, iss. 3. Pp. 159–164. DOI: 10.1007/s00107-002-0296-y
15. Structural Plywood & LVL Design Manual / ed. by J. MacGregor. Australia: Engineered Wood Product Association of Australia, 2009. 261 p.

Поступила 28.05.18

UDC 691.116

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.138

Numerical Simulation of LVL Elastic Modulus with Different Combinations of Mutually Perpendicular Veneer Layers*E.Yu. Tsiulin, Postgraduate Student**A.B. Shmidt, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2-ya Krasnoarmeyskaya ul., 4, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation;

e-mail: eciulin@edu.spbgasu.ru, shmidt.a.b@lan.spbgasu.ru

Integrated composed supporting structures such as laminated plywood are the most sustainable in terms of material consumption in comparison with ordinary glulam structures of the same supporting capacity. However, design features and some manufacturing difficulties reduce the economic efficiency of laminated plywood structures. Appearance of Laminated Veneer Lumber (LVL) and possibility of using its various types instead of plywood walls and board belts can significantly increase the efficiency and expand the application area of composite structures of composed I-beam or box section. An important problem that limits development and common use of composed structures with LVL is the lack of information on value of the elastic modulus under different angles to wood fibers in LVL in current Russian design standards. This information is necessary for structure designing, for example, according to the method of transformed section. The article describes the creation of finite element models as well as the results of a finite element analysis of anisotropy of Ultralam LVL elastic modulus with different amount and combination of layers and mutually perpendicular and parallel arrangement of wood fibers. In the research, we have used numerical simulation of LVL bending tests using the FEM method according to GOST 33124–2014 in the SCAD program. The obtained data was processed in Mathcad and Excel software packages. Simple analytical dependences were obtained. They allow to calculate the elastic modulus of all types and thicknesses of Ultralam LVL at any given angle to wood fibers.

Keywords: Ultralam LVL, elastic modulus, finite element method, numerical experiment, wood structures, laminated veneer lumber, laminated wood structures.

REFERENCES

1. Ashkenazi E.K. *Anizotropiya drevesiny i drevesnykh materialov* [Anisotropy of Wood and Wood Materials]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 218 p. (In Russ.)
2. *GOST 33124–2014. Brus mnogosloynny kleyenny iz shpona. Tekhnicheskiye usloviya* [Laminated Veneer Lumber. Technic Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2015.
3. *Posobiye po proyektirovaniyu derevyannykh konstruksiy (k SNiP II-25–80)* [Manual on Wooden Structures Design (for SNiP II-25-80)]. TSNIISK. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 216 p.
4. Serov E.N., Sannikov Yu.D., Serov A.E. *Proyektirovaniye derevyannykh konstruksiy: ucheb. posobiye* [Design of Wooden Structures: Educational Textbook]. Ed. by E.N. Serov. Moscow, ASV Publ., 2011. 536 p. (In Russ.)

For citation: Tsiulin E.Yu., Shmidt A.B. Numerical Simulation of LVL Elastic Modulus with Different Combinations of Mutually Perpendicular Veneer Layers. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 138–148. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.138

5. SP 64.13330.2017. *Derevyannyye konstruksii. Akt. versiya SNiP II-25–80* [SP 64.13330.2017. Wooden Structures. Valid Version of SNiP II-25–80]. Moscow, 2017.
6. STO 36554501-021–2010. *Derevyannyye konstruksii. Mnogosloynny kleyenny iz shpona material «Ultralam» (Ul'tralam)* [STO 36554501-021-2010. Wooden Structures. Multilayer Glued Veneer Material Ultralam]. Moscow, NITS Stroitel'stvo Publ., 2010.
7. Shmidt A.B. *Chislenny analiz raboty kleyefanernykh konstruksiy s defektami izgotovleniya* [Numerical Analysis of Glulam Plywood Structures Behavior Containing Manufacture Defects]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers], 2011, no. 4(29), pp. 41–46.
8. Shmidt A.B., Dmitriyev P.A. *Atlas stroitel'nykh konstruksiy iz kleyenoy drevesiny i vodostoykoy fanery: ucheb. posobiye* [Atlas of Building Structures from Laminated Wood and Water Resistant Plywood: Educational Textbook]. Moscow, ASV Publ., 2002. 285 p. (In Russ.)
9. DIN EN 14374:2004. *Timber Structures – Structural Laminated Veneer Lumber – Requirements*. 2005. 22 p.
10. DIN EN 408:2004. *Timber Structures – Structural Timber and Glued Laminated Timber – Determination of Some Physical and Mechanical Properties*. 2004. 30 p.
11. EN 1995-1-1:2004+A1. *Eurocode 5: Design of Timber Structures – Part 1–11: General – Common Rules and Rules for Buildings*. 2008. 121 p.
12. Jäger A., Bader T., Hofstetter K., Eberhardsteiner J. The Relation between Indentation Modulus, Microfibril Angle, and Elastic Properties of Wood Cell Walls. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2011, vol. 42, iss. 6, pp. 677–685. DOI: 10.1016/j.compositesa.2011.02.007
13. Kamala B.S., Kumar P., Rao R.V., Sharma S.N. Performance Test of Laminated Veneer Lumber (LVL) from Rubber Wood for Different Physical and Mechanical Properties. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1999, vol. 57, iss. 2, pp. 114–116. DOI: 10.1007/s001070050025
14. Meder R., Thumm A., Bier H. Veneer Stiffness Predicted by NIR Spectroscopy Calibrated Using Mini-LVL Test Panels. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 2002, vol. 60, iss. 3, pp. 159–164. DOI: 10.1007/s00107-002-0296-y
15. *Structural Plywood & LVL Design Manual*. Ed. by J. MacGregor, Australia, Engineered Wood Product Association of Australia, 2009. 261 p.

Received on May 28, 2018

УДК 674.053:621.934/.936

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.149

ИСХОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СУППОРТА ОБРЕЗНОГО СТАНКА ОТ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

А.Е. Алексеев, д-р техн. наук, проф.

М.В. Кришьянис, ст. преподаватель

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

В работе дана характеристика операции формирования ширины обрезных пиломатериалов на базе станка Ц2Д-5А; изучен механизм управления подвижной пилой посредством ручной установки гидропозиционера на размер обрезанной доски по ширине. Сформулированы общие методические положения по формированию сечений пиломатериалов; выполнен анализ результатов формообразования размеров обрезных пиломатериалов. Представлена классификация систем управления деревообрабатывающими станками. Разработаны исходные технологические требования для системы позиционирования суппорта обрезного станка от линейного асинхронного двигателя, учтены изменения характеристик выхода пиломатериалов в зависимости от сочетаний толщин тонких и толстых досок. Установлено, что выставка штока (вторичного элемента) линейного асинхронного двигателя на максимальную длину соответствует наименьшей ширине обрезной доски с учетом припуска на ее усушку по номинальной ширине. При этом базовой поверхностью служит воображаемая плоскость, параллельная плоскости неподвижной круглой пилы двухпильного станка и касательная в точках, определяемых положениями ее зубьев с регламентируемым уширением на сторону. Началом отсчета номинальной ширины обрезной доски является плоскость, располагающаяся параллельно базовой и отстоящая от нее на величину, равную номинальной ширине доски с припуском на усушку.

Ключевые слова: система позиционирования, линейный асинхронный двигатель, исходные технологические требования, обрезка пиломатериалов.

Введение

Для того, чтобы технология производства и продукция были однородными, осуществляется специализация в соответствии с породным составом и качеством сырья согласно предназначению, техническим требованиям на пиломатериалы и запросам рыночных потребителей, а также размерам сечений пилопродукции [5, 6]. Внедрение специализации – это база для оптимизации технологий, автоматизации и механизации производственных процессов, роста технического уровня производства и др. Для этого группы сечений пилопродукции подбирают в соответствии с их размерами, характеристиками, методами распиливания сырья с учетом той части поставы, из которой распили-

Для цитирования: Алексеев А.Е., Кришьянис М.В. Исходные технологические требования системы позиционирования суппорта обрезного станка от линейного асинхронного двигателя // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 149–159. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.149

вается размерная группа досок, и дальнейшим определением соотношения групп сечений досок (в процентах) в зависимости от потребительских спецификаций. Для расчета процентного соотношения групп сечений пилопродукции, изготавливаемой из поступающего на предприятие сырья, используют схемы раскроя.

За оценочный критерий в процессе планирования раскроя лесопильных материалов круглой формы принимают стоимость пиломатериала на выходе либо затраты сырья, необходимого для изготовления сводной спецификации [2, 7]. Чтобы рассчитать стокнотные задания, пилопродукцию подразделяют на группы по ширине и толщине. По ширине доски имеют размеры от 175 до 275 мм и от 75 до 150 мм. По толщине различают толстые доски, которые выпиливаются из продольной ширины бруса и подразделяются еще на 4–7 подгрупп, что зависит от точности расчета, а также тонкие, которые выпиливаются из параболической части бревна и части брусовой зоны. Так, общее количество групп колеблется от 6 до 9. Чтобы выполнить планирование задания, рассчитывают варианты соотношений групп сечений пилопродукции, получаемой из сырья в данном регионе. Для этого используют схему, в которой показан раскрой бревен отдельных пород на заданное количество групп сечений. Определяют размеры бревен для получения досок конкретной группы сечений. По размеру сырья для распила, сводной спецификации на экспорт пилопродукции и сведениям о процентном составе досок разных сечений в применяемой системе поставок уточняют схему раскроя сырья.

Выбор технологии должен совершаться дифференцированно, что зависит от региона, особенностей характеристик и состава пиловочного сырья, используемых оборудования и производственных технологий, ориентирования объектов обработки по поставу лесопильного инструмента и других условий эксплуатации. Разделение пиловочного сырья по диаметрам связано с таксационными показателями древостоев и принадлежностью к региону сырьевой базы. В расчетной практике это определяется логарифмическим законом [4]. Требования к бревнам из хвойной древесины, имеющим нормальный сбеж, отражены в ГОСТ 9463–88. В пиломатериалах определяются толщина и длина бревна. Разделение длин бревен обусловлено полимодальным законом [8]. Сбежистость свидетельствует об уменьшении диаметра сортимента по направлению от комлевого торца к вершинному. Разделение по сбежистости отражается нормальным логарифмическим законом [3].

Объекты и методы исследования

Лесопильной продукцией согласно ГОСТ 18288–87 являются пиломатериалы, полученные путем продольного разделения бревен на составляющие части, а также раскроя данных частей вдоль и поперек. По предназначению пилопродукцию подразделяют на 2 главные группы: для экспорта (ГОСТ 26002–83) и для отечественного (внутреннего) рынка (ГОСТ 8486–86). Последняя бывает двух видов: общего и специального предназначения.

Пилопродукция в зависимости от толщины делится на тонкие (от 16 до 22 мм), средние (от 25 до 44 мм) и толстые (от 50 до 100 мм) доски. По ширине пиломатериалы бывают узкие (от 75 до 125 мм) и широкие (от 150 мм); по длине – короткие (0,45...2,40 м) и длинные (2,70...6,30 м). Номинальные размеры пилопродукции по ширине и толщине согласно ГОСТ 24454–80Е

предназначены для древесины влажностью 20 %. При этом допустимыми являются отклонения от заданных размеров: по длине – от +25 до –12 мм; по ширине – от +3 до –2 мм; по толщине – от +2 мм до –1 мм (для размеров менее 50 мм) и от +3 мм до –2 мм (более 50 мм).

Номинальная длина пилопродукции от 1,50 м определяется с градацией 0,30 м, а от 0,45...1,35 м – 0,15 м.

В зависимости от качества и обработки пилопродукцию подразделяют на 5 сортов, но правила ее сортировки обуславливают сортировку только на 3 сорта качества. Влажность исходного пиловочного сырья не должна быть выше 22 %. Правила замера пиломатериалов регламентированы ГОСТ 6564–84, припуски на усушку – ГОСТ 6782.1–75 и ГОСТ 6782.2–75, допустимые нормы пороков – ГОСТ 8486–86.

Создаются сечения пилопродукции вследствие продольного деления сортамента в установленных плоскостях, которые находятся под определенным углом по отношению к друг другу и оси сортамента. Очередность переходов устанавливается линейными показателями постава. Согласно стандартному методу пиломатериалы круглой формы делят на группы размеров, которые зависят от диаметра вершины. Распил для каждой группы осуществляется при постоянстве постава изначально на брус. Распил бруса происходит на 2-м проходе. Состояние центральной части досок дает возможность предварительного прогноза. Главный резерв увеличения выхода приходится на боковые доски. Прогнозируемый выход пилопродукции устанавливается в процессе расчета поставов. Выход наиболее узких и коротких досок можно спрогнозировать с помощью статистической обработки. Ширина продольной части бруса, которая предназначена для вписания досок повышенной толщины, находится в соотношении с наименьшим четным диаметром досок, относящихся к группам размеров. Количество и положение тонких досок подбирают исходя из условий рациональности использования древесины в совокупности с диаметром лесосырья и ожидаемой толщиной бруса. Согласно избранному способу формируют поставки, необходимые для раскроя сортаментов для изготовления пилопродукции нужных размеров.

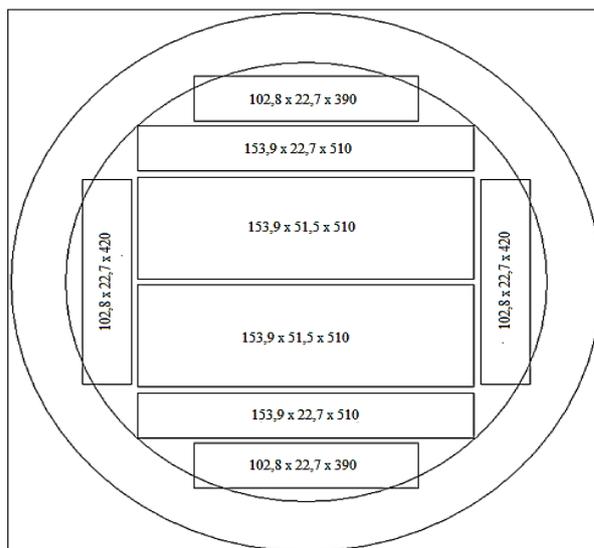
Результаты исследования и их обсуждение

Диаметры обрабатываемой древесины хвойных пород изменялись от 11 до 34 см без учета кривизны. Распределение лесосырья согласно диаметрам учитывалось для среднего диаметра. Раскрой бревна осуществлялся брусово-развальным методом на пилорамах 1-го и 2-го рядов. Толщина пил на 1-м и 2-м проходах отвечала равному распилу бревен и бруса при создании ширин пилопродукции, необходимых для обрезки на 2-пильном станке марки Ц2Д-5А, имеющем одну подвижную пилу.

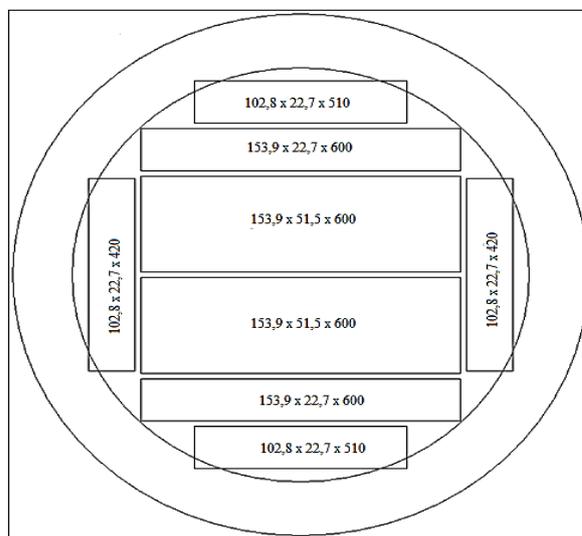
При создании размеров досок придерживались выработке пилопродукции согласно ГОСТ 26002–83Э, в соответствии с которым ширина доски менялась через каждые 25 мм, начиная со 100 мм, а длина – через каждые 0,3 м, начиная с 2,7 м. Толщина распиливаемого бруса – не более диаметра бревна в торце вершины. Припуски на усушку пилопродукции подбирались согласно существующей нормативной документации (ГОСТ 67.82.1–72). Ориентировались на бревна хвойных пород с нормальным сбегом согласно ГОСТ 9463–72. Ожидаемый материал представляет собой пилопродукцию с транспортной

влажностью 20...22 %, имеющую 2 толщины (тонкие – 19, 22, 25 мм; толстые – 44, 50, 75 мм) и 6 ширин (100, 125, 150, 175, 200, 225 мм, учитывая укороченную до типичной длины, которая имеет градацию 0,25; 0,30 и 0,60 м).

Порядок оптимизации раскроя бревен продольного типа согласно оси постава [1] способствует оценке численного распределения обрезков доски по ширинам. Две из рассматриваемых схем раскроя приведены на рис. 1.



a

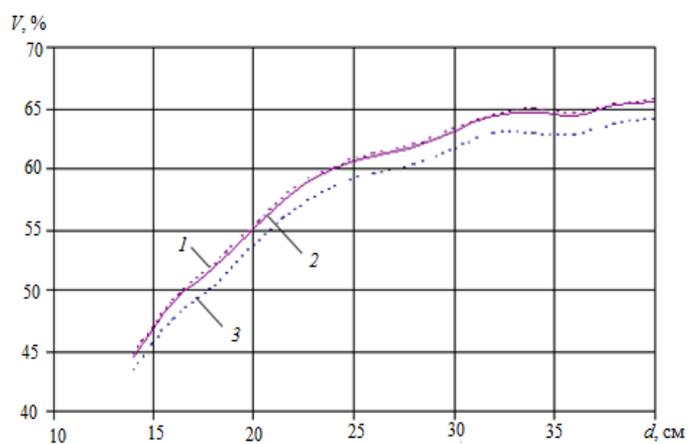


б

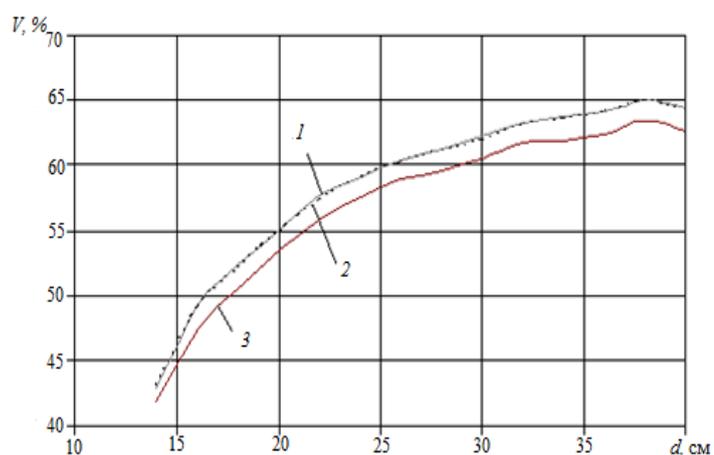
Рис. 1. Схемы раскроя для бревен длиной 5,2 м (*a*) и 6,1 м (*б*)

Fig. 1. Cutting plan for a logs of 5.2 m length (*a*) and of 6.1 m length (*б*)

Два из анализируемых изменений выхода пилопродукции, предусмотренных разнообразными сочетаниями толщин досок толстого и тонкого типа, рассмотрены на рис. 2.



a



б

Рис. 2. Изменение выхода V пилопродукции в зависимости от диаметра d бревен при разной толщине получаемых досок тонкого и толстого типов: *a* – 22 и 50 мм; *б* – 22 и 75 мм; 1 – градация торцовки 0,25 м; 2 – 0,3 м; 3 – 0,6 м

Fig. 2. Dependence of sawn timber output change V from diameter of logs d with different thickness of obtained boards of thin and thick types: *a* – 22 and 50 mm; *б* – 22 and 75 mm; 1 – cross-cutting gradation of 0.25 m; 2 – 0.3 m; 3 – 0.6 m

Системы координат способствуют смещению рабочих частей станка из одного положения в другое с установленными координатами, т. е. заданное смещение деталей либо инструмента требуется для дальнейшей обработки, причем большое значение имеет точность смещения в определенную координату, а направление траектории не так существенно. Для вышеуказанных систем координат свойственны дискретные передвижения: после смещения ин-

струмента либо детали в установленную координату совершается рабочая операция, в процессе которой заданные смещения отсутствуют. В станках, предназначенных для деревообработки, управление положением часто происходит в декартовой системе координат, при этом во многих случаях по одной координате, которая устанавливает определенный размер детали, подлежащей обработке. Контурные (непрерывные) системы управления необходимы для беспрерывной смены траектории и скорости перемещения рабочей части (как правило, суппорта), предназначенной для обработки криволинейных плоскостей, как плоских, так и объемных.

На сегодняшний день исследуются позиционные управляющие системы (ПУС), направленные на автоматизацию установленных смещений рабочих частей станка либо деталей, которые подлежат обработке на станках, предназначенных для деревообработки [9–13]. По степени автоматизации ПУС подразделяются на 3 группы управления: визуальную, дистанционную числовую и программную. Визуальные управляющие системы базируются на визуальном оценивании оператором положения рабочей части станка с выполнением функций сравнения и командного устройства. Данные системы имеют устройство цифровой индикации для учета положения рабочей части станка дистанционного типа, которое необходимо для визуального цифрового учета смещений его подвижных частей. Причем оператор сам контролирует направление смещения и выключает механизм, когда рабочая часть станка достигает определенной координаты. По этой причине визуальные системы управления способствуют только механизации смещений, но не автоматизации процесса установки позиции рабочей части станка, так как рабочий орган самостоятельно принимает участие в процессе управления и оказывает влияние на точность работы установки.

Для автоматизации управления современными станками, предназначенными специально для деревообработки, необходимы гибкие управляющие системы, позволяющие быстро и четко менять положение станка либо линии автоматизации. Они называются системами программного управления (СПУ), представляющими вид автоматизированного управления с определением параметров работы станка или техпроцесса по предварительно установленной программе, поддающейся изменению. СПУ имеют максимальную мобильность и способствуют повышению выхода продукции даже в производстве малых серий. Главные их достоинства: возможность быстрой переналадки оборудования на другую заготовку; корректировка обрабатываемой программы с учетом внесения изменений в конструкцию изделия; централизованная подготовка обрабатываемых программ даже за пределами предприятия и хранение их в специальной библиотеке; автоматизация подготовки программы на базе электронно-вычислительных машин. СПУ, которые используются в станках, предназначенных для деревообработки, можно группировать по типу управляющей информации: цикловые и числовые.

Цикловые СПУ представляют собой системы программирования цикла работы оборудования и режимы обработки, способы смещения рабочих частей станка устанавливаются с помощью наладки упоров, которые оказывают воздействие на путевые тумблеры. Носителями в данных системах, как правило, являются панели штекеров с разделителями в виде диодов и линеек либо барабаны, имеющие передвижные упоры. При числовом программном управлении (ЧПУ) в состав устанавливаемой программы входят сведения о режи-

мах обработки, цикле и размерах смещений рабочих частей станка. ЧПУ совершается за счет общей установки логических сведений, связанных с размерами в цифровой форме на носителе программы. В зависимости от типа движения управляемых рабочих частей системы ЧПУ бывают непрерывные и позиционные. Непрерывные (контурные) системы ЧПУ необходимы для обработки криволинейных поверхностей (плоских и объемных), нуждающихся в строгой согласованности во времени смещений рабочих частей станка по 2 или 3 координатам, и заменяют управляющие системы копирования в производстве единичного и мелкосерийного формата.

Позиционные системы (ПУ) – это системы, способствующие на любой стадии работы станка выбору одного из всевозможных значений показателя работы оборудования или техпроцесса. По типу размерного или безразмерного параметра ПУ способны осуществлять управление линейными либо угловыми смещениями рабочих частей станка с помощью температуры, давления или номера ячейки для хранения сортируемых изделий, например пилопродукции какой-либо длины или сечения.

Раскрой досок в процессе обрезки носит индивидуальный характер, его необходимо осуществлять, учитывая размеры, особенности формы, качества и состояния доски. Эта непростая задача выполняется при помощи обрезчика и сопровождается острой нехваткой времени и большой физической нагрузкой, связанной с разборкой пачек древесины и их подачей на деревообрезной станок. Согласно осуществляемым операциям автоматизированная система управления (АСУ) наряду с обеспечением функций обрезки должна включать такие устройства, как впередистаночное оборудование, предназначенное для фиксирования необрезной доски к пилам; измерительное оборудование, управляющее положением пил, собирающее данные с датчиков показателей ширины и длины и изменяющее их в соответствии с заданным алгоритмом с помощью сигнала о подходящей ширине выпиливаемого изделия.

В Московском лесотехническом институте (ныне Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана) разработана и исследована упрощенная АСУ, которая управляет положением пил в 2-пильных обрезных станках с симметричным расположением пил. Рабочими частями системы гидравлики считаются 2 одинаковых станка, симметричных к оси просвета и имеющих 5 поршней гидравлических позиционеров со связанными с суппортами пилы выходными штоками. Гидравлический позиционер с 5 поршнями, ходы которых созданы в соответствии с законами двоичных чисел, дает возможность получить $2^5 = 32$ автономных положения выходного штока с наименьшим шагом, равным 5 мм, причем установка гидропозиционеров на пилы на 1 из 25 размеров, заданных обрабатываемой программой, с номинальным расстоянием между пилами 60...300 мм. Гидравлический позиционер обрезного станка марки Ц2Д-5А способствует обеспечению шага 10 мм при ручном задании или 0,5 дюйма при перенастройке механизма.

Изменения выходных характеристик пилопродукции в зависимости от толщины досок тонкого и толстого типа способствуют тому, что с повышением толщины досок тонкого типа при условии постоянной толщины досок толстого типа снижаются наибольший выход, наименьший допустимый и средний выходы пилопродукции. Смена градации почти не оказывает влияния на средний выход пилопродукции в рамках групп толщин. С повышением тол-

щины досок толстого типа при постоянной толщине досок тонкого типа растут и наибольший выход, наименьший допустимый и средний выходы. Наибольший допустимый выход, наименьший допустимый и средний выходы при постоянной толщине досок толстого типа с повышением градации также возрастают: при росте градации в пределах 0,25...0,30 м диапазон допустимых параметров выхода уменьшается, а при росте градации до 0,60 м – увеличивается. Распределение досок по ширине в зависимости от длины и диаметра перерабатываемой древесины приведено на рис. 3.

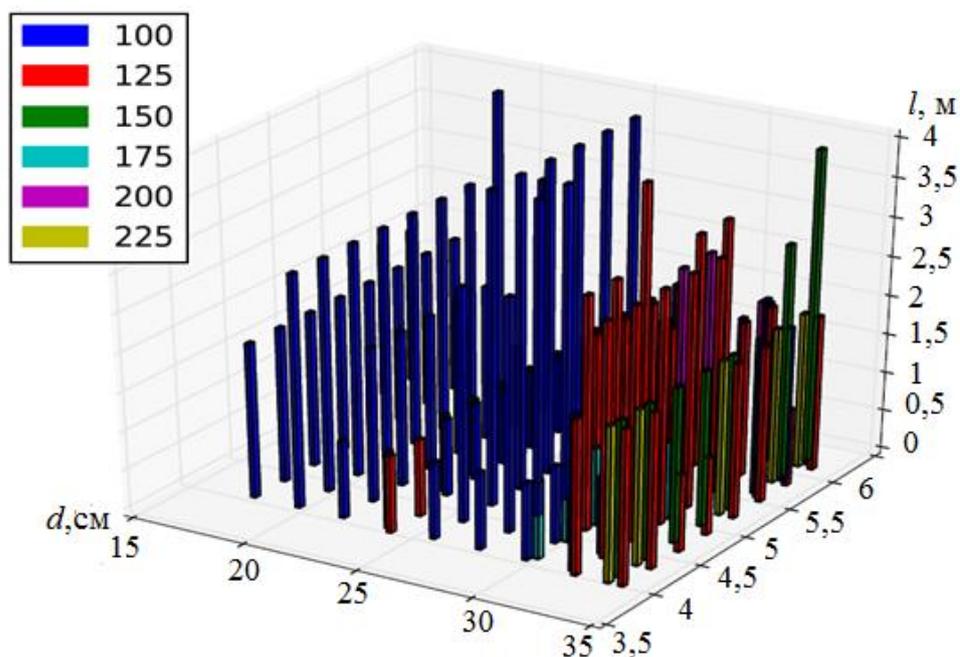


Рис. 3. Распределение обрезных досок по ширине в зависимости от диаметра d и длины l обрабатываемых бревен

Fig. 3. Distribution of edged boards across the width depending on diameter d and length l of processed logs

Заключение

Рассмотренные параметры дискретности технологических показателей обрезных досок свидетельствуют о том, что выставка вторичного элемента штока, который относится к асинхронному двигателю линейного типа, на наибольшую длину будет совпадать с минимальной шириной обрезки доски, учитывая припуск на ее усушку в соответствии с номинальной шириной. Причем базой будет считаться воображаемая поверхность, расположенная параллельно поверхности круглой пилы 2-пильного станка и находящаяся в неподвижном состоянии относительно точек, которые определяются положением зубьев пилы с установленным расширением в сторону. Точкой отсчета номинальной ширины обрезки доски будет считаться плоскость, расположен-

ная параллельно по отношению к основной и на расстоянии, составляющем номинальную ширину обрезной доски с учетом припуска на усушку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.Е., Алексеева Л.В.* Организация малых лесопильных предприятий. Архангельск: АГТУ, 2007. 731 с.
2. *Варфоломеев Ю.А., Дружин И.С., Дьячков Ю.А.* Справочник по лесопилению / под ред. А.М. Копейкина. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Экология, 1991. 495 с.
3. *Клюев В.А.* Распределение бревен по диаметру и сбегу // Науч. тр. ЦНИИМОД. Архангельск: ЦНИИМОД, 1973. Вып. 28. С. 77–80.
4. *Кулиш В.Г., Коротов С.С.* Распределение пиловочника бревен по диаметрам // Совершенствование технологии и оборудования лесопильного производства: науч. тр. ЦНИИМОД. Архангельск: ЦНИИМОД, 1981. С. 10–14.
5. *Покотило В.П.* Специализация лесопильных предприятий. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 97 с.
6. *Покотило В.П.* Специализация лесозэкспортных предприятий производственного объединения «Северолесозэкспорт» / Всесоюз. науч.-исслед. и проект. ин-т экономики, организации управления пр-вом и информ. по лес., целлюлоз.-бумаж. и деревообраб. пром-сти. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1977. 54 с.
7. *Шимкевич Ю.Б.* Справочник по лесопилению. СПб.: ПРОФИ-ИНФОРМ, 2005. 200 с.
8. *Ясинский В.С., Кучин А.В.* О законе распределения пиловочного сырья по длинам // Технология и оборудование деревообрабатывающих производств. Процессы механической обработки, склеивания и отделки древесины. Л.: ЛТА, 1983. С. 8–10.
9. *Alekseev A.E., Krisjanis M.V.* Evaluation of the Thermal State of a Linear Induction Motor Operating as a Positioner in the Edging Machine // International Conference on Advanced Research in Business, Economics, Law and Social Sciences. Section 2. Electrical Engineering, Madrid, November 15, 2017. Madrid, 2017. Pp. 17–25.
10. *Birkeland R., Timland H.* Practical Experience with a Fully Automated Line Camera Scanning System in a Window Manufacturing Company // Proceedings of the 3rd International Conference on Scanning Technology in Sawmilling, San Francisco, 1989. San Francisco, 1989. Pp. xx-1–9.
11. *Chang S.J.* External and Internal Defect Detection to Optimize Cutting of Hardwood Logs and Lumber // Transferring Technologies to the Hardwood Industry: Handbook No. 3. / U.S. Department of Commerce. Beltsville, MD, 1992. 24 p.
12. *Niskanen M., Silvén O., Kauppinen H.* Experiments with SOM Based Inspection of Wood // International Conference on Quality Control by Artificial Vision (QCAV2001), Le Creusot, 2001. Le Creusot, France, 2001. No. 2. Pp. 311–316.
13. *Rieth P.A., Good D.* Scanning for Lumber Defects and Ripsaw Optimization: A Case Study // Proceedings of the 3rd International Conference on Scanning Technology in Sawmilling, San Francisco, October 5–6, 1989. San Francisco. 1989. Pp. XV-1–28.

Поступила 13.04.18

UDC 674.053:621.934/.936

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.149

Initial Technological Requirements for Position Control System of Edging Machine Support from Linear Induction Motor

A.E. Alekseev, Doctor of Engineering Sciences, Professor

M.V. Krisjanis, Senior Lecturer

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

e-mail: a.alekseev@narfu.ru, m.krishjyanis@narfu.ru

The paper gives characteristic to the operation of width formation of edging sawn timber on the basis of the Ts2D-5A machine. The mechanism of control a mobile saw by the means of manual installation of a hydropositioner on the size of a cutting board across the width is studied. The general methodological regulations on formation of sawn timber sections are formulated; the results analysis of geometry forming of edged sawn timber is done. The article presents a classification of control systems of woodworking machines. The initial technological requirements of position control system for edging machine support from the linear induction motor are developed; changes in the output characteristics of sawn timber depending on the combination of thin and thick board thicknesses are taken into account. It is established that adjustment of stock (secondary element) of the linear induction motor for maximum length corresponds to the smallest width of edging board with allowance for its shrinkage across the nominal width. In this case, imaginary plane parallel to plane of a fixed circular saw of double saw machine and tangent at the points determined by the positions of saw teeth with the controlled broadening on the side is a base surface. Reference position of the nominal width of edged board is a plane parallel to the base surface and spaced away from it by the nominal width of the board with allowance for shrinkage.

Keywords: position control system, linear induction motor, initial technological requirements, sawn timber edging.

REFERENCES

1. Alekseev A.E., Alekseeva L.V. *Organizatsiya malykh lesopil'nykh predpriyatiy* [Organization of Small Sawmills]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2007. 731 p. (In Russ.)
2. Varfolomeyev Yu.A., Druzhin I.S., D'yachkov Yu.A. *Spravochnik po lesopileniyu* [Handbook of Sawmilling]. Ed. by A.M. Kopeikin. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 495 p. (In Russ.)
3. Klyuyev V.A. Raspredeleniye breven po diametru i sbegu [Distribution of Logs by Diameter and Taper]. *Nauch. tr. TSNIIMOD* [Academic Papers of the Central Research Institute of Mechanical Wood Processing]. Arkhangelsk, TSNIIMOD Publ., 1973, iss. 28, pp. 77–80.
4. Kulish V.G., Korotov S.S. Raspredeleniye pilovochnika breven po diametram [Distribution of Lumber Logs by Diameter]. *Sovershenstvovaniye tekhnologii i oborudovaniya lesopil'nogo proizvodstva: nauch. tr. TSNIIMOD* [Improvement of Technology and Equipment for Sawmill Production: Academic Papers of the Central Research Institute of Mechanical Wood Processing]. Arkhangelsk, TSNIIMOD Publ., 1981, pp. 10–14.

For citation: Alekseev A.E., Krisjanis M.V. Initial Technological Requirements for Position Control System of Edging Machine Support from Linear Induction Motor. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 149–159. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.149

5. Pokotilo V.P. *Spetsializatsiya lesopil'nykh predpriyatiy* [Differentiation of Sawmills]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 97 p. (In Russ.)
6. Pokotilo V.P. *Spetsializatsiya lesoeksportnykh predpriyatiy proizvodstvennogo ob'yedineniya «Severolesoeksport»* [Differentiation of Timber Export Enterprises of the Industrial Association "Severolesoeksport"]. Vsesoyuz. nauch.-issled. i proyektnyy in-t ekonomiki, organizatsii upravleniya pr-vom i inform. po les., tsellyuloz.-bumazhn. i derevoobrab. prom-sti [All-Union Sci.-Res. and Project Institute of Economics, Organization of Production Management and Information on Forest, Pulp and Paper and Woodworking Industry]. Moscow, VNIPIEIllesprom Publ., 1977. 54 p. (In Russ.)
7. Shimkevich Yu.B. *Spravochnik po lesopileniyu* [Handbook of Sawmilling]. Saint Petersburg, PROFI-INFORM Publ., 2005. 200 p. (In Russ.)
8. Yasinskiy V.S., Kuchin A.V. O zakone raspredeleniya pilovochnogo syr'ya po dlinam [On the Law of Distribution of Sawing Raw Material by Lengths]. *Tekhnologiya i oborudovaniye derevoobrabatyvayushchikh proizvodstv. Protsessy mekhanicheskoy obrabotki, skleivaniya i otdelki drevesiny* [Technology and Equipment for Woodworking Industries. Mechanical Processing, Gluing and Fashioning of Wood]. Leningrad, LTA Publ., 1983, pp. 8–10.
9. Alekseev A.E., Krisjanis M.V. Evaluation of the Thermal State of a Linear Induction Motor Operating as a Positioner in the Edging Machine. *International Conference on Advanced Research in Business, Economics, Law and Social Sciences. Section 2. Electrical Engineering, Madrid, November 15, 2017*. Madrid, 2017, pp. 17–25.
10. Birkeland R., Timland H. Practical Experience with a Fully Automated Line Camera Scanning System in a Window Manufacturing Company. *Proceedings of the 3rd International Conference on Scanning Technology in Sawmilling, San Francisco, 1989*. San Francisco, 1989, pp. xx-1–9.
11. Chang S.J. External and Internal Defect Detection to Optimize Cutting of Hardwood Logs and Lumber. *Transferring Technologies to the Hardwood Industry: Handbook No. 3*. U.S. Department of Commerce, Beltsville, MD, 1992. 24 p.
12. Niskanen M., Silvén O., Kauppinen H. Experiments with SOM Based Inspection of Wood. *International Conference on Quality Control by Artificial Vision (QCAV2001), Le Creusot, 2001*. Le Creusot, France, 2001, no. 2, pp. 311–316.
13. Rieth P.A., Good D. Scanning for Lumber Defects and Ripsaw Optimization: A Case Study. *Proceedings of the 3rd International Conference on Scanning Technology in Sawmilling, San Francisco, October 5–6, 1989*. San Francisco. 1989, pp. XV-1–28.

Received on April 13, 2018



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 665.944.54:665.584.22

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.160

ПОЛУЧЕНИЕ НАСТОЙКИ ИЗ ЯГОД ГОЛУБИКИ ВЫСОКОРОСЛОЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА СВОЙСТВА КОСМЕТИЧЕСКОЙ ЭМУЛЬСИИ*Е.А. Флюрик, канд. биол. наук, доц.**Ж.В. Бондаренко, канд. техн. наук, доц.**Н.В. Валовень, магистр биол. наук*

Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, д. 13а, Минск, Беларусь, 220006; e-mail: FlurikE@mail.ru, bondarenko_zhanna@belstu.by, nadya-valoven@mail.ru

Исследовано влияние продолжительности настаивания (1–7 суток) и концентрации экстрагента (этилового спирта – 30, 40, 70 %) на содержание флавоноидов и антоцианов в настойке из ягод голубики сорта Блюкроп. Соотношение сырья и экстрагента для получения ягодной настойки – 1 : 10. Установлено, что для обеспечения большего содержания анализируемых биологически активных компонентов в настойке экстрагирование необходимо осуществлять 70 %-м этиловым спиртом в течение 5 суток. При данных параметрах процесса содержание флавоноидов и антоцианов в экстракте составляло соответственно около $2810,0 \pm 121,3$ и $313,8 \pm 8,3$ мг/100 г сырья. Исследовано влияние расхода настойки ягод голубики на свойства косметической эмульсии, содержащей растительное масло. Образцы эмульсии получали по способу «горячий/горячий». Настойку вводили в эмульсию после охлаждения до 40...45 °С и дополнительно диспергировали. Для изучения устойчивости эмульсии к окислению при добавлении настойки ягод образцы подвергали ускоренному старению – выдерживали в термостате при температуре 40...42 °С. Устойчивость оценивали по изменению перекисного и кислотного чисел эмульсии. Показано, что в количестве 1...5 масс. % настойка не влияет на коллоидную стабильность эмульсии, которая сохраняет однородность после центрифугирования в течение 5 мин при частоте вращения ротора 6000 мин⁻¹. При добавлении настойки ягод голубики эмульсия приобретает розоватый оттенок и легкий ягодный аромат, которые усиливаются с увеличением количества введенного компонента. В количестве 3...5 масс. % настойка ягод голубики повышает устойчивость косметической эмульсии к окислению за счет содержащихся в ней природных антиоксидантов.

Ключевые слова: ягоды голубики, сорт Блюкроп, настаивание, флавоноиды, антоцианы, свойства эмульсии, окисление.

Введение

Флора Земли – огромная, неиссякаемая кладовая лекарственных средств, являющаяся наиболее доступным и дешевым источником их получения. На земном шаре произрастает свыше 400 000 видов растений, на терри-

Для цитирования: Флюрик Е.А., Бондаренко Ж.В., Валовень Н.В. Получение настойки из ягод голубики высокорослой и исследование ее влияния на свойства косметической эмульсии // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 160–171. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.160

тории бывшего СССР – около 17 000 видов, из которых свыше 500 лекарственных [6]. В Республике Беларусь, согласно оценкам академиков В.И. Парфенова, И.Д. Мишенина и др., насчитывается свыше 4 300 растений, из них лечебное применение могут иметь 265 видов дикорастущих или культурных высших растений [3].

Основным материальным ресурсом леса, используемым людьми в большинстве стран и регионов мира, является древесина, но не менее важны и другие ресурсы – грибы, ягоды. Они используются не только в пищу, но и широко применяются в различных отраслях промышленности, поскольку содержат разнообразные природные биологически активные вещества (БАВ).

В последние годы отмечается увеличение производства косметических продуктов, содержащих в своем составе натуральные БАВ. Это связано с ростом спроса на средства, которые обеспечивают не только уход за кожей (смягчение, увлажнение и др.), но и содержат компоненты, оказывающие дополнительное функциональное воздействие (регенерация кожи, стимуляция синтеза коллагена и т. д.). Особое внимание уделяется косметическим средствам с антиоксидантами [13], которые способствуют защите клеток кожи от окислительного стресса, негативного воздействия УФ-излучения, а следовательно, и преждевременного старения.

Среди активных веществ, обеспечивающих многофункциональное воздействие косметических средств на кожу, первое место занимают вещества растительных экстрактов, настоев, получаемые из растительного сырья (цветки, стебли, семена, плоды и др.) с использованием различных растворителей [13]. Содержащиеся в сырье биологически активные ингредиенты обогащают кожу питательными веществами, снижают признаки ее старения, улучшая внешний вид, помогают бороться с вредными факторами окружающей среды и др. Однако действие того или иного экстракта зависит от его состава и присутствующих в нем активных компонентов, что определяется используемым для выделения БАВ экстрагентом и исходным сырьем.

Одними из важнейших биологически активных компонентов в составе косметических эмульсий являются ненасыщенные жирные кислоты, которые способствуют регенерации кожного покрова, восстановлению водного баланса кожи, поддержанию ее барьерных функций и др. Источник ненасыщенных жирных кислот – растительные масла. Однако ненасыщенные жирные кислоты, как и растительные масла, легко подвергаются окислению, этот процесс усиливается при повышении температуры, поэтому необходимо обязательно использовать в составе эмульсий антиоксиданты. Одновременное введение в состав эмульсий растительных экстрактов и растительных масел может положительно повлиять на ее устойчивость к окислению за счет присутствия комплекса природных антиоксидантов.

Цель данного исследования – получение и исследование влияния настойки ягод голубики высокорослой на свойства косметической эмульсии, содержащей рапсовое масло.

Голубика – ветвистый полукустарник или кустарник, имеющий иногда стелющийся стебель. В отличие от черники, стебель этого растения древеснеет почти доверху. По внешнему виду (особенно из-за схожести листьев) их можно спутать, но голубика имеет более светлый стебель и другую форму цветоложа на ягоде: у черники оно ровное, почти круглое, у голубики более изломанное. Корневая система мочковатая, корневые волоски отсутствуют.

Листья длиной до 3 см обратнойцевидные или продолговатые, плотные, тонкие. Цветы мелкие, пятизубчатые, поникающие, венчик кувшинчатый белый или розоватый. Плоды синие с сизым налетом, сочные, съедобные, мякоть зеленоватая. По вкусу ягоды черники и голубики сильно отличаются. Сок у голубики бесцветный.

Голубика относится к широко и традиционно используемым растениям, однако в фармакопею не включена. Флавоноиды, антоцианы, дубильные и другие вещества, содержащиеся в составе плодов голубики, обуславливают их разнообразное благоприятное воздействие на организм человека. Полифенольные соединения растения характеризуются обширным спектром действия, например они способны повышать прочность стенок капилляров (Р-витаминная активность) за счет антиоксидантного влияния, что важно при лечении хронической венозной недостаточности, гипертонии и других сердечно-сосудистых заболеваний, связанных с увеличением проницаемости кровеносных капилляров [5, 14]. Антоцианы голубики вовлечены в широкий диапазон биологических воздействий, включая антиокислительное, противовоспалительное и противораковое. Они способны уменьшить риск возникновения сердечно-сосудистых заболеваний как вазопротектор, оказывают влияние на артериальное давление, приводят к снижению содержания липопротеинов низкой плотности в виде бляшек [15, 18]. Полифенольные соединения являются участниками окислительно-восстановительных процессов, регулируют работу желез внутренней секреции и обладают противоопухолевым действием, а также относятся к природным антиоксидантам и могут замедлять окислительные процессы [11, 16, 17].

Активно культивировать голубику в Республике Беларусь стали в начале XXI в., после того как вступили в стадию полного плодоношения первые промышленные насаждения данной культуры. Этому предшествовала исследовательская работа по определению наиболее пригодных и хозяйственно ценных сортов. В результате многолетней селекционной работы были отобраны и выведены сорта, обладающие важнейшими биологическими и хозяйственными признаками [9].

Многолетними исследованиями были доказаны перспективность выращивания в Беларуси голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) и преимущество этого вида перед местным видом – голубикой топяной (*Vaccinium uliginosum*). Определен перечень сортов голубики, которые имеют стабильные урожаи и высокое товарное качество ягод, установлены климатические зоны ее промышленного выращивания в регионе, разработана технология ее возделывания.

Наиболее популярен и широко культивируется в регионе сорт голубики высокорослой – Блюкроп (Bluescrop).

Сорт Блюкроп получен Ф.В. Ковиллом и М. Фриманом в 1934 г. в результате скрещивания сортов GM-37 (Jersey × Pioneer) × CU-5 (Stanley × June). Отобран в 1941 г. и введен в производство в 1952 г.

Кусты этого сорта в условиях Беларуси достигают высоты 1,8...2,0 м. Листья темно-зеленые, средней величины, продолговатой заостренной формы. Грозди длинные. Ягоды крупные, 17...20 мм в диаметре, слегка сплюснены, синие с сильным светло-голубым налетом, упругие, собраны в небольшие свободные кисти (рис. 1).

*a**б*

Рис. 1. Голубика сорта Блюкроп: *a* – внешний вид; *б* – в разрезе

Fig. 1. Bleukrop blueberry: *a* – habitus; *б* – in section

Сорт отличается устойчивостью к болезням, не боится засухи и морозов до $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ (цветки – до $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$). Кусты требуют регулярной обрезки, иначе ягоды мельчают.

Блюкроп – среднеспелый сорт, ягоды созревают в конце июля–августе, созревание неодновременное, плодоношение очень обильное, регулярное, урожайность 2...4 кг с куста. Плоды пригодны для домашних заготовок и заморозки, ягоды хорошо хранятся и транспортируются [7, 12]. С 2005 г. сорт включен в Государственный реестр фармакопеи Республики Беларусь.

Объекты и методы исследования

Для исследования использовали ягоды голубики сорта Блюкроп, собранные в июле 2016 г. в Пуховичском районе Минской области Республики Беларусь.

Одним из методов выделения БАВ, таких как флавоноиды и антоцианы, из природных растительных объектов является настаивание с использованием различных растворителей. Для получения настойки из ягод голубики в качестве экстрагента применяли этиловый спирт концентрацией 30, 40 и 70 %, что позволило извлекать спирторастворимые вещества, к которым относятся антоцианы и флавоноиды. Соотношение сырья и экстрагента 1 : 10.

В соответствии с ГОСТ 24027.2–80 «Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла», определяли влажность растительных образцов, по Государственной фармакопее Республики Беларусь [1] – плотность полученной настойки ягод голубики.

Количественное определение суммы флавоноидов в пересчете на кверцетин и абсолютно сухое вещество (а. с. в.) проводили спектрофотометрическим методом [10]. Для этого в мерную колбу вместимостью 25 мл помещали 2 мл настойки, 1 мл 1 %-го раствора хлорида алюминия в 95 %-м этиловом спирте и доводили объем раствора до метки 95 %-м этиловым спиртом. Оптическую плотность исследуемого раствора измеряли через 20 мин после его приготовления на спектрофотометре «Specord M40» (Carl Zeiss, ГДР) в кювете с толщиной слоя 1 см при длине волны 430 нм. В качестве раствора сравнения

использовали раствор, приготовленный в мерной колбе вместимостью 25 мл и состоящий из 2 мл настойки и 95 %-го этилового спирта.

Содержание суммы флавоноидов (%) в настойке:

$$X = \frac{D \cdot 25 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100}{764,6 \cdot m \cdot 2 \cdot (100 - W)},$$

где D – оптическая плотность исследуемого раствора; 764,6 – удельный показатель поглощения комплекса кверцетина с хлоридом алюминия при длине волны 430 нм; m – масса сырья, г; W – потеря массы сырья в процессе высушивания, %.

Содержание антоцианов определяли спектрофотометрическим методом в соответствии с методикой, приведенной в [2]. Для приготовления раствора к 0,5 мл настойки ягод голубики прибавляли 2,0 мл раствора 0,4 М хлороводородной кислоты и 2,1 мл 70 %-го этилового спирта. Раствор сравнения содержал 0,5 мл настойки, 2,0 мл раствора 0,4 М хлороводородной кислоты, 2,0 мл 70 %-го этилового спирта и 0,1 мл пергидроля. Растворы выдерживали в течение 15 мин в темном месте. Их оптическую плотность измеряли на спектрофотометре «Specord M40» (Carl Zeiss, ГДР) в кювете с толщиной слоя 1 см при длине волны 550 нм.

Содержание суммы антоцианов (%) в настойке:

$$Y = \frac{AV_1}{A_{1\text{ см}}^{1\%} V_2 \rho},$$

где A – оптическая плотность испытуемого раствора; V_1 – объем раствора для спектрофотометрирования, мл; $A_{1\text{ см}}^{1\%}$ – удельный показатель поглощения цианидин-3,5-дигликозида, $A_{1\text{ см}}^{1\%} = 453$; V_2 – объем настойки, взятой для определения, мл; ρ – относительная плотность настойки, г/см³.

Образцы эмульсии с настойкой из ягод голубики получали способом «горячий/горячий», который предусматривал отдельную подготовку водной и масляной фаз, последующее их смешивание и диспергирование при температуре 75...80 °С. Введение настойки осуществляли после охлаждения эмульсии до температуры 40...45 °С и проводили дополнительное диспергирование. Состав эмульсии: самоэмульгирующая основа «Липодерм 4/1», рапсовое масло, глицерин, настойка из ягод голубики, консерванты и вода. Оценку органолептических и физико-химических показателей образцов эмульсии проводили в соответствии с СТБ 1673–2006 «Кремы косметические. Общие технические условия».

Для оценки влияния настойки голубики на устойчивость эмульсии к окислению образцы подвергали ускоренному старению (выдерживание в термостате при температуре 38...40 °С в течение 3 недель) и анализировали изменение перекисного и кислотного чисел, отражающих накопление в системе первичных и вторичных продуктов окисления. Перекисное и кислотное числа определяли в соответствии с методиками, приведенными в работе [4].

Относительная погрешность определения содержания флавоноидов и антоцианов в настойке из ягод голубики, а также перекисного и кислотного чисел составляла не более 5 %.

Результаты исследования и их обсуждение

Фактор времени при производстве настоек и экстрактов имеет существенное значение, поэтому было исследовано влияние продолжительности экстрагирования и концентрации этилового спирта на содержание флавоноидов и антоцианов в образцах настойки ягод голубики сорта Блюкроп. Результаты исследований представлены на рис. 2. Для более наглядного восприятия информации, полученные значения содержания антоцианов и флавоноидов пересчитаны в миллиграммах на 100 г сырья.

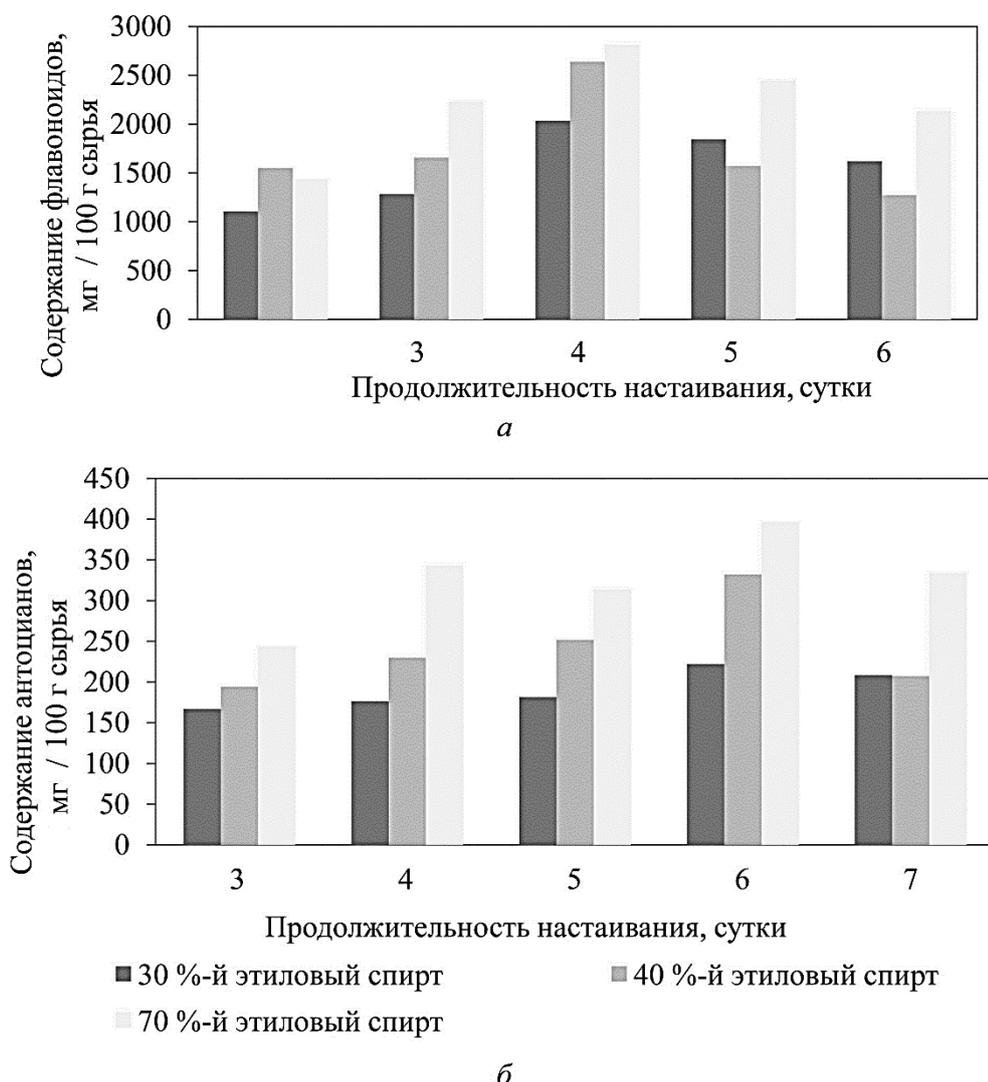


Рис. 2. Количественное содержание суммы флавоноидов (а) и антоцианов (б) в зависимости от продолжительности настаивания

Fig. 2. Quantitative content of flavonoids (a) and anthocyanins (b) sum depending on infusion duration

Из представленных результатов видно, что сумма флавоноидов достигла максимума на 5-е сутки при использовании 40 и 70 %-го этилового спирта (соответственно $2639,0 \pm 101,7$ и $2810,0 \pm 121,3$ мг/100 г), а содержание антоцианов – на 6-е сутки при использовании 70 %-го этилового спирта ($396,0 \pm 7,4$ мг/100 г). Таким образом, большее содержание анализируемых биологически активных компонентов в настойках голубики достигнуто при использовании 70 %-го этилового спирта, что связано с его большей экстрагирующей способностью. Процесс настаивания необходимо проводить в течение 5 суток, чтобы обеспечить большее содержание в них флавоноидов и антоцианов. Полученные нами данные о содержании флавоноидов и антоцианов в настойках из ягод голубики сорта Блюкроп согласуются с литературными [8, 16, 18].

В дальнейших исследованиях было изучено влияние количества введенной водно-спиртовой настойки из ягод голубики на физико-химические показатели образцов эмульсии, содержащей рапсовое масло. Данные приведены в таблице.

Показатель	Расход настойки ягод голубики, масс. %			
	0	1	3	5
pH	5,51	5,60	5,82	6,05
Кислотное число, мг КОН/г	2,10	2,08	2,05	2,01
Перекисное число, ммоль 1/2 O/kg	3,39	4,81	5,17	5,35

В ходе исследований установлено, что введение настойки из голубики повлияло на цвет образцов, они приобрели розовый оттенок, который усиливался с увеличением количества введенной настойки. Кроме того, у образцов эмульсии появился приятный ягодный аромат. Анализ коллоидной стабильности образцов эмульсии, проведенный по методике, изложенной в ГОСТ 29188.3–91 «Изделия косметические. Методы определения стабильности эмульсии», показал, что в рамках изученных параметров настойка из ягод голубики не повлияла на данный показатель, все полученные образцы были устойчивы при центрифугировании (продолжительность – 5 мин, частота вращения ротора – 6000 мин^{-1}). Для оценки влияния настойки из ягод голубики на окисление эмульсии образцы были подвергнуты ускоренному старению – выдерживанию в термостате при температуре $38...40 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 3 недель. Устойчивость образцов к окислению устанавливали на основании изменения перекисного и кислотного чисел (рис. 3).

Из представленных на рис. 3 данных видно, что при увеличении продолжительности старения перекисное число возрастает для всех исследуемых образцов эмульсии, что отражает накопление в них перекисей и гидроперекисей (первичных продуктов окисления). Однако при расходе настойки из ягод голубики 3 и 5 масс. % показатель практически не изменяется в течение 1 и 2 недель соответственно. Это свидетельствует о том, что присутствующие в настойке природные антиоксиданты в течение данного периода обеспечивают защиту эмульсии от окисления.

Анализ кислотного числа показывает, что в эмульсии без настойки ягод голубики в течение 2 недель показатель немного возрастает, что говорит о дополнительном образовании кислот, а в образцах эмульсии с настойкой из ягод голубики в течение 2 недель ускоренного старения исследуемый показатель практически не изменяется. Это указывает на то, что кислоты, как вто-

ричные продукты окисления, в образцах не образуются, и этот факт подтверждает антиоксидантное действие настойки из ягод голубики. Уменьшение кислотного числа образца эмульсии без настойки и с настойкой в количестве 5 % после 3 недель ускоренного старения можно объяснить вторичными превращениями кислот, содержащихся в образцах.

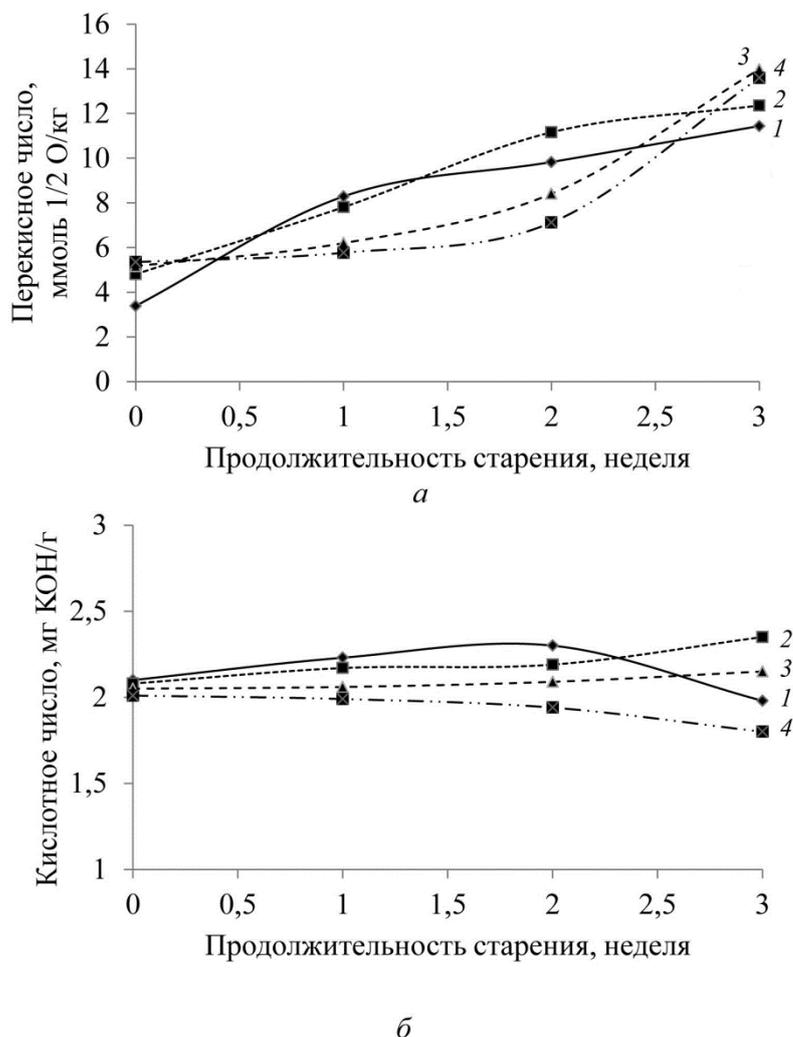


Рис. 3. Зависимость перекисного (а) и кислотного (б) чисел образцов эмульсии от продолжительности старения и количества введенной настойки, масс. %: 1 – 0; 2 – 1; 3 – 3; 4 – 5

Fig. 3. Dependence of peroxide (a) and acid (b) numbers of emulsion samples from duration of aging and amount of injected tincture, % wt: 1 – 0; 2 – 1; 3 – 3; 4 – 5

Выводы

1. Для получения настойки из ягод голубики с большим содержанием биологически активных компонентов – флавоноидов и антоцианов – процесс

настаивания необходимо осуществлять в течение 5–6 суток с использованием 70 %-го этилового спирта.

2. Настойка из ягод голубики в составе косметической эмульсии, содержащей рапсовое масло, в количестве 3 и 5 масс. % не влияет на стабильность эмульсии, придает ей розовый оттенок и легкий ягодный аромат, повышает устойчивость к окислению и сохраняет свойства косметического продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная фармакопея Республики Беларусь: в 3 т. Т. 1. Общие методы контроля качества лекарственных средств. Минск: МГПТК полиграфии, 2006. 656 с.
2. Ёршик О.А., Бузук Г.Н. Определение качественного состава и количественного содержания антоцианов в цветках *Centaurea cyanus* L. в условиях термической активации // Бюл. Брянск. отд-ния РБО. 2014. № 2(4). С. 69–73.
3. Карпук В.В. Фармакогнозия: учеб. пособие. Минск: БГУ, 2011. 340 с.
4. Ким В.Е., Букаръ Н.В., Горнова И.Б. Практикум по технологии косметических средств. Анализ сырья и готовой продукции. Микробиологический контроль: учеб. пособие. М.: Шк. космет. химиков, 2005. 152 с.
5. Маршанова Л.М. Исследование состава и разработка биотехнологии получения биологически активных концентратов черники обыкновенной – *Vaccinium myrtillus* L: дис. ... канд. биол. наук. Ставрополь, 2006. 155 с.
6. Самылина И.А., Белогурова В.А. Лекарственные растения и пищевые продукты в медицине: учеб. пособие по фармакогнозии. М.: ЛЕНАНД, 2014. 200 с.
7. Сорт голубики американской Блюкроп (*Bluecrop*) // Государственный реестр сортов голубики садовой. 2017. Режим доступа: <http://golubika.by/sort-golubiki-amerikanskoj-blyukrop-bluecrop.html> (дата обращения: 13.09.2017).
8. Спиридович Е.В. Ботанические коллекции: документирование и биотехнологические аспекты использования. Минск: Беларуская навука, 2015. 226 с.
9. Титок В.В., Веевник А.А., Павловский Н.Б. Голубика высокорослая – инновационная культура премиум-класса // Голубиководство в Беларуси: итоги и перспективы: материалы Республик. науч.-практ. конф., Минск, 17 авг. 2012 г. Минск: ЦБС Национ. АН Беларуси, 2012. С. 5–8.
10. Федосеева Г.М., Минович В.М., Горячкина Е.Г., Переломова М.В. Фитохимический анализ растительного сырья, содержащего флавоноиды: метод. пособие по фармакогнозии. Иркутск: Иркут. гос. мед. ун-т, 2009. 67 с.
11. Bunea A., Rugină D., Sconța Z., Pop R.M., Pinteș A., Socăciu C., Tăbăran F., Grootaert C., Struijs K., VanCamp J. Anthocyanin Determination in Blueberry Extracts from Various Cultivars and Their Antiproliferative and Apoptotic Properties in B16-F10 Metastatic Murine Melanoma Cells // *Phytochemistry*. 2013. No. 95. Pp. 436–444. DOI: 10.1016/j.phytochem.2013.06.018
12. Ehlenfeldt M.K., Martin R.B.Jr. Seed Set, Berry Weight, and Yield Interactions in the Highbush Blueberry Cultivars (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Bluecrop’ and ‘Duke’ // *Journal of the American Pomological Society*. 2010. Vol. 64(3). Pp. 162–172.
13. Kusumawati I., Indrayanto G. Natural Antioxidants in Cosmetics // *Studies in Natural Products Chemistry*. 2013. Vol. 40. Pp. 485–505. DOI: 10.1016/B978-0-444-59603-1.00015-1
14. Moyer R.A., Hummer K.E., Finn C.E., Frei B., Wrolstad R.E. Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity in Diverse Small Fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes* // *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 2002. Vol. 50, no. 3. Pp. 519–525. DOI: 10.1021/jf011062r

15. Routray W., Orsat V. Blueberries and Their Anthocyanins: Factors Affecting Biosynthesis and Properties // *Food Science and Food Safety*. 2011. Vol. 10, no. 6. Pp. 303–320. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2011.00164.x

16. Stevenson D., Scalzo J. Anthocyanin Composition and Content of Blueberries from around the World // *Journal of Berry Research*. 2012. No. 2. Pp. 179–189. DOI: 10.3233/JBR-2012-038

17. Teplova V.V., Isakova E.P., Klein O.I., Dergachova D.I., Gessler N.N., Deryabina Y.I. Natural Polyphenols: Biological Activity, Pharmacological Potential, Means of Metabolic Engineering (Review) // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2018. Vol. 54, no. 3. Pp. 221–237. DOI: 10.1134/S0003683818030146

18. Wang B.C., He R., Li Z.M. The Stability and Antioxidant Activity of Anthocyanins from Blueberry // *Food Technology and Biotechnology*. 2010. Vol. 48(1). Pp. 42–49.

Поступила 21.08.18

UDC 665.944.54:665.584.22

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.160

Tincture Preparation from Northern High Bush Blueberries and a Study of Their Influence on the Cosmetic Emulsion Properties

E.A. Flyurik, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Zh.V. Bondarenko, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

N.V. Valoven', Master of Biological Sciences

Belarusian State Technological University, ul. Sverdlova, 13a, Minsk, 220006, Republic of Belarus; e-mail: FlurikE@mail.ru, bondarenko_zhanna@belstu.by, nadya-valoven@mail.ru

We have studied the effect from maceration duration (1–7 days) and extraction solvent concentration (ethanol – 30, 40, 70 %) on the content of flavonoids and anthocyanins in Bluecrop blueberry tincture. The ratio between raw material and extraction solvent for the berry tincture preparation was 1:10. It was determined that extraction must be done by 70 % ethanol for 5 days in order to ensure a larger volume of analyzed bioactive components in the tincture. Under these extraction conditions the content of flavonoids and anthocyanins in the extract was about 2810.0 ± 121.3 and 313.8 ± 8.3 mg/100 g of raw material consequently. We have studied the effect from northern blueberry tincture consumption on the properties of cosmetic emulsion containing vegetable oil. Emulsion samples were received according "hot/hot" procedure. The tincture was introduced into the emulsion after its cooling to 40–45 °C and additionally dispersed. The samples were exposed to the accelerated aging (thermostat incubation at a temperature of 40–42 °C) in order to study emulsion stability to oxidation on addition of the northern blueberry tincture. Stability was evaluated on the basis of change of emulsion peroxide and acid numbers. It was shown that the tincture of 1–5 % wt does not effect on colloidal stability of emulsion which retains homogeneity after centrifuging for 5 min at 6000 min^{-1} . With introduction of berry tincture the emulsion gets a pinky colour and slight berry aroma, which become stronger with increase of the added component amount. The northern blueberry tincture of 3–5 % wt increases resistance of cosmetic emulsion to oxidation due to presence of natural antioxidants.

For citation: Flyurik E.A., Bondarenko Zh.V., Valoven' N.V. Tincture Preparation from Northern High Bush Blueberries and a Study of Their Influence on the Cosmetic Emulsion Properties. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 160–171. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.160

Keywords: northern blueberry, Bluecrop, infusion, flavonoids, anthocyanins, emulsion, properties, oxidation.

REFERENCES

1. Gosudarstvennaya farmakopeya Respubliki Belarus': v 3 t. T. 1. Obshchiye metody kontrolya kachestva lekarstvennykh sredstv [State Pharmacopoeia of the Republic of Belarus. Vol. 1. General Methods of Medication Quality Control]. Minsk, MGPTK poligrafii Publ., 2006. 656 p. (In Russ.)
2. Yorshyk O.A., Buzuk G.N. Opredeleniye kachestvennogo sostava i kolichestvennogo sodержaniya antotsianov v tsvetkakh *Centaurea cyanus* L. v usloviyakh termicheskoy aktivatsii [Determination of Qualitative Composition and Quantitative Content of Anthocyanins in the *Centaurea cyanus* L. Flowers of under the Conditions of Thermal Activation]. *Byulleten' Bryanskogo otdeleniya Russkogo botanicheskogo obshchestva* [Bulletin of Bryansk Department of Russian Botanical Society], 2014, no. 2(4), pp. 69–73.
3. Karpuk V.V. *Farmakognosiya: ucheb. posobiye* [Pharmacognosy: Educational Textbook]. Minsk, BGU Publ., 2011. 340 p. (In Russ.)
4. Kim V.E., Bukar' N.V., Gornova I.B. *Praktikum po tekhnologii kosmeticheskikh sredstv. Analiz syr'ya i gotovoy produktsii. Mikrobiologicheskii kontrol'*: ucheb. posobiye [Workshop on the Technology of Cosmetics. Analysis of Raw Materials and End Products. Microbiological Control: Educational Textbook]. Moscow, Shkola kosmeticheskikh khimikov Publ., 2005. 152 p. (In Russ.)
5. Marshanova L.M. *Issledovaniye sostava i razrabotka biotekhnologii polucheniya biologicheskii aktivnykh kontsentratsionnykh ekstraktov cherniki obyknovennoy – Vaccinium myrtillus L.*: dis. ... kand. biol. nauk [Study of the Composition and Development of Biotechnology for the Production of Bioactive Concentrates of Common Blueberry – *Vaccinium myrtillus* L.: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs.]. Stavropol, 2006. 155 p.
6. Samylina I.A., Belogurova V.A. *Lekarstvennyye rasteniya i pishchevyye produkty v meditsine: ucheb. posobiye po farmakognozii* [Medicinal Plants and Food Products in Medicine: Educational Textbook on Pharmacognosy]. Moscow, LENAND Publ., 2014. 200 p. (In Russ.)
7. Sort golubiki amerikanskoy Blyukrop (Bluecrop) [Bluecrop Northern High Bush Blueberry]. *Gosudarstvennyy reyestr sortov golubiki sadovoy* [State Register of Garden Blueberry Breeds]. 2017. Available at: <http://golubika.by/sort-golubiki-amerikanskoj-blyukrop-bluecrop.html> (accessed 13.09.2017).
8. Spiridovich E.V. *Botanicheskiye kolleksii: dokumentirovaniye i biotekhnologicheskkiye aspekty ispol'zovaniya* [Botanical Collections: Recording and Biotechnological Aspects of Use]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2015. 226 p.
9. Titok V.V., Veyevnik A.A., Pavlovskiy N.B. Golubika vysokoroslaya – innovatsionnaya kul'tura premium-klassa [Northern High Bush Blueberry – Innovative Premium Culture]. *Golubikovodstvo v Belarusi: itogi i perspektivy: materialy Respublik. nauch.-prakt. konf.* [Northern Blueberry Breeding in Belarus: Results and Prospects: Proceedings of the Republican Sci.-Pract. Conf., Minsk, August 17, 2012]. Minsk, TSBS Natsional'noy AN Belarusi Publ., 2012, pp. 5–8.
10. Fedoseyeva G.M., Mirovich V.M., Goryachkina E.G., Perelomova M.V. *Fitokhimicheskiy analiz rastitel'nogo syr'ya, sodержashchego flavonoidy: metod. posobiye po farmakognozii* [Phytochemical Analysis of Plant Raw Materials Containing Flavonoids]. Irkutsk, Irkut. gos. meditsin. un-t Publ., 2009. 67 p.
11. Bunea A., Rugină D., Sconța Z., Pop R.M., Pinteș A., Socaciu C., Tăbăran F., Grootaert C., Struijs K., VanCamp J. Anthocyanin Determination in Blueberry Extracts from Various Cultivars and Their Antiproliferative and Apoptotic Properties in B16-F10 Metastatic Murine Melanoma Cells. *Phytochemistry*, 2013, no. 95, pp. 436–444. DOI: 10.1016/j.phytochem.2013.06.018

12. Ehlenfeldt M.K., Martin R.B.Jr. Seed Set, Berry Weight, and Yield Interactions in the Highbush Blueberry Cultivars (*Vaccinium corymbosum* L.) 'Bluecrop' and 'Duke'. *Journal of the American Pomological Society*, 2010, vol. 64(3), pp. 162–172.

13. Kusumawati I., Indrayanto G. Natural Antioxidants in Cosmetics. *Studies in Natural Products Chemistry*, 2013, vol. 40, pp. 485–505. DOI: 10.1016/B978-0-444-59603-1.00015-1

14. Moyer R.A., Hummer K.E., Finn C.E., Frei B., Wrolstad R.E. Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity in Diverse Small Fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes*. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2002, vol. 50, no. 3, pp. 519–525. DOI: 10.1021/jf011062r

15. Routray W., Orsat V. Blueberries and Their Anthocyanins: Factors Affecting Biosynthesis and Properties. *Food Science and Food Safety*, 2011, vol. 10, no. 6, pp. 303–320. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2011.00164.x

16. Stevenson D., Scalzo J. Anthocyanin Composition and Content of Blueberries from around the World. *Journal of Berry Research*, 2012, no. 2, pp. 179–189. DOI: 10.3233/JBR-2012-038

17. Teplova V.V., Isakova E.P., Klein O.I., Dergachova D.I., Gessler N.N., Deryabina Y.I. Natural Polyphenols: Biological Activity, Pharmacological Potential, Means of Metabolic Engineering (Review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2018, vol. 54, no. 3, pp. 221–237. DOI: 10.1134/S0003683818030146

18. Wang B.C., He R., Li Z.M. The Stability and Antioxidant Activity of Anthocyanins from Blueberry. *Food Technology and Biotechnology*, 2010, vol. 48(1), pp. 42–49.

Received on August 21, 2018



ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

УДК 910.4(09)(470.1)

А.А. БИТРИХ И ЛЕСОВОДСТВО ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

В начале XX в. лесоустроительные работы получают широкое развитие, особенно в связи с проведением Столыпинской земельной реформы по переселению крестьян из центральных и западных губерний России в Сибирь, на Север империи и в азиатскую ее часть. Начинается инвентаризация лесов, в том числе и на территории Европейского Севера. В период с 1901 по 1914 г. на обширной территории лесоустроителями проведены интересные исследования типов насаждений в северной тайге, по результатам которых составлены планы ведения лесного хозяйства, таксационные описания и планово-картографические материалы. После 1905 г. активно исследуется ухтинское месторождение нефти. В связи с этим Лесной департамент страны предпринимает усилия по изучению лесов в наиболее удаленных лесничествах. В 1907 г. Александр Александрович Битрих, заведовавший в то время лесоустроительной партией Вологодского лесоустройства, лесовод Гаврила Германович Гулюшкин и др. исследовали типы насаждений в Помоздинском, Небдинском и др. лесничествах (современная территория Республики Коми). Результаты работ, содержащие детальную характеристику типов лесов, были изложены в статьях «Очерк лесов Усть-Сысольского уезда»¹ и «К характеристике типов насаждений Помоздинского лесничества»², опубликованных в «Лесном журнале».

Как известно, основоположником учения о типах леса считается Г.Ф. Морозов, который уже в начале своей научной деятельности (1901 г.) обратил внимание на применение в трудах северных лесничих и лесоустроителей нового «типологического» направления. В своей статье «К вопросу о типах насаждений» (1903 г.) он отмечал, что идея типов очень необходима для лесоводства, лесная типология должна раскрыть внутренние свойства насаждений, что в конечном результате должен быть составлен для России «план насаждений». Началом нового этапа в развитии лесной типологии считают 1904 г., когда Г.Ф. Морозов опубликовал в «Лесном журнале» статью «О типах насаждений и их значение в лесоводстве». В 1912 г. он издал классический труд «Учение о лесе», в котором изложил вопросы биологии лесных пород и насаждений, разработанное учение о типах лесных насаждений, обосновал теорию рубок и лесовозобновления, полезационного лесоразведения и ухода за лесом.

¹ Битрих А.А. Очерк лесов Усть-Сысольского уезда // Лесн. журн. 1908. Вып. 4-5. С. 441–464. Отдел. отт. СПб., 1908. 24 с.

² Битрих А.А., Гулюшкин Г.Г. К характеристике типов насаждений Помоздинского лесничества // Лесн. журн. 1910. Вып. 3. С. 233–309.

При проведении таксационных работ в вычегодских лесах А.А. Битрих и его коллеги основательно использовали лесотипологический подход. Приведем выдержку из его работы³: «Изучение больших массивов северных лесов, как показывает опыт, без предварительного выяснения тех естественно-исторических единиц-типов, которые наиболее свойственны исследуемому району... не позволяет таксатору входить в мелкие особенности таксационного выдела. Незнание типов насаждений, с их строго повторяющимися элементами, сбивает с толку даже опытного таксатора, сплошь и рядом теряющегося в необыкновенной пестроте лесных ландшафтов. Наоборот, исследователь, уловивший и усвоивший раз и навсегда естественно исторические части целого, способен и при крупном масштабе работ дать законченные, полные смысла и внутренней связи выводы. ...местное население, проводящее половину своей жизни в лесу, инстинктивно дошло до расчленения огромных лесных массивов на отдельные устойчивые и постоянные сообщества. Уже издавна зыряне, эти тонкие знатоки природы, научились разбираться в кажущейся пестроте родных лесов. Для них нет сомнения в том, какие места или какие почвы дают годный к постройке материал; зырянин никогда не ошибается в выборе участка, годного под «подсеку» или временное сельско-хозяйственное пользование. Различные сообщества, как результат взаимодействия целого ряда сил природы, получили от зырян своеобразные, но весьма понятные для них названия: яг, парма, егирь, оль, кесь, нюр и др. Эти понятия характеризуют не только состав соответствующих им насаждений, но и почву, и положение, и даже некоторые ойкологические (экологические – совр.) факторы этих сообществ». В этом отрывке автор одним из первых исследователей отмечает многовековое накопление и фиксацию знаний о лесе (типологии) местным населением, подтверждаемые отражением особенностей природной обстановки в лексиконе коренного населения.

Александр Александрович в 1911 г. проводит работы на территории Орловской дачи, которая «...занимает высокий водораздельный увал между Лузой – на севере и рекой Югом – на юге, с крутыми склонами в ту и в другую стороны»⁴. По результатам этих работ он делает доклад на XII Всероссийском съезде лесовладельцев и лесохозяев, проходившем в г. Архангельске в 1912 г. В этом докладе А.А. Битрих отмечает, что при обзоре типов лесов таксаторы пользуются таблицами барона А.А. Крюденера, одного из основателей лесотипологического метода⁵.

Исследования А.А. Битриха отражены и в современных учебных пособиях. Например, в курсе «Лесоведение» читаем: «...устройство лесов Орловской корабельной рощи возле В. Устюга, выполненное А.А. Битрихом (1913 г.), имело целью определить последствия смены выборочных рубок сплошными. А.А. Битрих выделил три основные почвенные разности и, соответственно, три типа сосновых и еловых лесов: бор, суборь, сурамень и рамень, ровнядь, лог. По таким типам он изучил процесс естественного лесовозобновления и сделал выводы для хозяйства. Из них главный: сплошные рубки допустимы

³ Битрих А.А. Очерк лесов Усть-Сысольского уезда. С. 444.

⁴ Битрих А.А. Орловская роща, ее устройство и судьба ее сплошных вырубков // Лесн. журн. 1913. Вып. 1-2. С. 72–139.

⁵ Мигунова Е.С. Создатели лесотипологической классификации А.А. Крюденер и Е.В. Алексеев // Лесн. хоз-во. 2009. № 2. С. 13–14.

только в чистых борах и суборах. Классификация Битриха появилась в результате некоторого предварительного изучения лесов и служила средством для последующего детального исследования с целью решения конкретной хозяйственной задачи. Классификация применена удачно и свою роль сыграла»⁶. С 1912 по 1915 г. А.А. Битрих, занимая должность ревизора лесоустройства, руководил работами таксационных партий по обустройству лесов лесничеств Кемского края (на площади 3 210 498 десятин). На основе этих работ он сделал доклад на заседании Архангельского общества изучения Русского Севера. В заключение выступления Битрих в очередной раз призвал общество бережно относиться к природе, предложил создавать природоохранные территории и даже организовывать в лесных краях санатории для трудящихся (а ведь это всего лишь 1915 г.): «Подобно Финляндии, и в Кемском крае, среди его вечнозеленых лесов, в насыщенном озоном воздухе могли бы возникнуть санатории, в которых страждущие граждане Российского государства так нуждаются. Беда наша заключается в неведении доступных нам ценностей, и одной из целей моего доклада было желание познакомить Вас, господа, с одним из уголков нашего обширного отечества, ожидающего пробуждения и восходящего солнца новой жизни»⁷.

В 1915 г. А.А. Битрих публикует работу, посвященную характеристике охоты на Севере. О.Н. Болгова отмечает: «Принципиально новой теме в ряду материалов об Архангельской губернии была посвящена статья А. Битриха (1913 г.). Он затронул проблему охотничьего промысла в лесных угодьях. Для упорядочения охотничьего промысла, по его мнению, необходимо принятие местного закона об охоте, основанного на особенностях северной природы и связанного с экономическим и бытовым укладом жизни населения. А. Битрих предлагал ввести в губернии налог на ружья, обязать охотников приобретать билеты на право охоты, чтобы контролировать законность промысла, запретить ловлю дичи при помощи “слопцов, сильев, ловушек и плах, создавать заказники, в которых охота была бы запрещена”, а дичь “могла бы размножаться и укрываться от лютого и постоянного преследования”⁸. Работа А.А. Битриха написана чрезвычайно профессионально, ведь автор как никто другой знает жизнь леса, литературу, посвященную охоте на Севере, в частности он пользуется публикациями К. Попова, Л. Рума и др. С горечью А. Битрих констатирует: “Во всех этих охотах промышленники Севера проявляют огромное знание местности, большую энергию и выносливость: при всех этих положительных качествах, они, однако, варварски истребляют дичь, не считаясь с будущей судьбой своих угодий. В некоторых местах уничтожается не только приплод, но выбираются сплошь даже яйца из гнезд, и жертвою ненасытной алчности падает и сама птица, сидящая на них (на оз. Донты Керчемской волости Усть-Сысольского уезда, ежегодно выбирается до 800 штук утиных яиц)”. Автор указывает и на излишнее потребление в лесах Вычегды лосей и оленей: “В 1910 г. например в Сысольском лесничестве несколько

⁶ Сенов С.Н., Грязькин А.В. Лесоведение: учеб. пособие. СПб., 2006. 70 с.

⁷ Битрих А.А. О лесах Кемского края // Изв. АОИРС. 1915. № 4. Отдел. отт. Архангельск, 1916. 11 с.

⁸ Болгова О.Н. Материалы состояния лесного дела в Архангельской губернии на страницах «Лесного журнала» (1833–1918 гг.) // Лесн. журн. 2013. № 5. С. 21–28. (Изв. высш. учеб. заведений).

промышленников в течение 3-4 дней перебили 27 штук и тех и других, причем жертвами их удали были, конечно, и стельные самки»⁹.

О Битрихе писал Л.Ф. Ипатов в очерке «По следам загадочного Битриха», помещенном во 2-м выпуске сборника «Лесные знатели» (2004 г.). По его словам, Александр Александрович Битрих родился в Москве в 1871 г. Получил два высших образования: в Тарандской лесной академии в Германии (1894 г.) и в Императорском лесном институте в Санкт-Петербурге (1904 г.). Свою трудовую деятельность он начал младшим таксатором под руководством проф. М.К. Турского, был на практике у самого К.Ф. Тюрмера – известного лесоведа-практика, преподавал в Лесной школе в Полоцке. С 1907 по 1912 г. работал в Вологодском лесоустройстве, с 1912 по 1918 г. – ревизором лесоустройства в Архангельске. К 1915 г. имел чин коллежского советника (соответствует военному званию полковника) и следующие награды: Анны 3-й степени, Станислава 2-й и 3-й степени¹⁰.

Потом А.А. Битрих руководил лесоустройством в Петроградской губернии, был на преподавательской работе в должности профессора в Тимирязевской академии и Иваново-Вознесенском политехническом институте.

В 1923 г. А.А. Битрих совместно с В.Ф. Болдыревым и Г.М. Турским одними из первых лесоводов при изучении лесов Подмосковья применили аэровизуальные наблюдения. Фактически этим положено начало развитию лесной авиации. В 1926 г. выходит работа А.А. Битриха по исследованию охотничьего промысла на Европейском Севере¹¹.

Мы не располагаем воспоминаниями Александра Александровича и не знаем, к какой научной школе он причислял себя, но в его работах прослеживается школа В.В. Докучаева. К этой школе относил свою деятельность основоположник учения о лесе Г.Ф. Морозов, работами которого постоянно пользовался А.А. Битрих. В частности Г.Ф. Морозов в письме к Н.А. Димо отмечал: «Посильному усвоению основ докучаевской школы я обязан прежде всего ученикам Докучаева, во вторых – работам в докучаевской экспедиции Лесного департамента, где все было проникнуто цельностью настроения этой школы... Докучаевское почвоведение страшно много дает натуралисту, и без знакомства с ним, мне кажется, почти немислимо работать в области ботанической географии. Я горжусь принадлежностью к этой школе и признаю правильным, когда меня называют докучаевцем¹²». С Докучаевым работал и непосредственный учитель А.А. Битриха проф. М.К. Турский, который в связи с засухой 1891 г. и неурожаем принимал участие в экспедициях под руководством В.В. Докучаева на юг России. Комплексное отношение А.А. Битриха при характеристике лесов к различным компонентам геосистем (рельеф, почва, растительность, климат), попытки рассматривать лес с позиций исторического развития позволяют его тоже назвать докучаевцем. Важное место в его работах имеет и эколого-географическая направленность, стремление не

⁹ Болгова О.Н. Материалы состояния лесного дела в Архангельской губернии...

¹⁰ Трубин Д. 100 лет Архангельскому лесоустройству // Лесн. регион. 2014. 20 янв.

¹¹ Битрих А.А. Охота и пушной промысел европейской части СССР. Л.: Комис. по изучению производит. сил СССР при Акад. наук (КиПС), 1926.

¹² Морозов Г. Гениальное дополнение к учению Дарвина. Письмо Г.Ф. Морозова Н.А. Димо // Природа. 1974. № 5. С. 68–69.

только рационально использовать лесные богатства, но заставить человека отвечать за будущее нашего зеленого золота.

Следы Битриха обнаруживаются на Дальнем Востоке, где он в конце 1920-х гг. также руководил лесоустroительным подразделением, вел научные исследования, публиковал статьи.

В списках жертв политических репрессий Книги Памяти Хабаровского края есть следующая запись:

«Битрих Александр Александрович

Родился в 1871 г., г. Ленинград; немец; инспектор лесоустройства ДВК.

Проживал: г. Хабаровск.

Арест: ЭКО ОГПУ ДВК 13 июля 1929 г.

Приговорен: ОСО при коллегии ОГПУ ДВК 3 января 1930 г., обв.: по ст. 58-6 УК РСФСР.

Приговор: к 5 годам ИТЛ. Реабилитирован 24 июня 1959 г. Определением Военного Трибунала ДВО дело прекращено за отсутствием состава преступления.

После освобождения жил (предположительно) в Казахстане. По воспоминаниям дочери, Т.А. Еремеевой, в 1941 г. он приезжал в Москву: ««Кажется, ехал он из Минеральных вод»»¹³.

Как сложно было жить немцам в советское (особенно в военное) время, видно на примере дочери А.А. Битрих, которая родилась в 1913 г. и которой пришлось взять фамилию в честь соседа по Архангельску Еремеева – исследователя Арктики.

По словам дочери А.А. Битриха, Татьяны Александровны Еремеевой-Битрих (артистки Малого театра, народной артистки СССР), отец помимо лесоустройства, главного дела своей жизни, еще и столярничал, рисовал, играл на валторне, хорошо пел, выступал в любительских спектаклях в пользу раненых. Также она рассказывала, что из Архангельска ей сообщали о передаче ученых трудов по лесоустройству ее отца, фотографий и документов в Москву, в Музей леса, что на Ордынке¹⁴.

В.И. Силин

Институт языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН

UDC 910.4(09)(470.1)

A.A. Bitrikh and Forestry of the European North

V.I. Silin

Institute of Language, Literature and History, Komi Science Centre, Ural Branch of RAS

¹³ Дойков Ю. Архангельские тени (По архивам ФСБ). Архангельск, 2008. Т. 1. (1908–1942). 450 с.

¹⁴ Мельницкая Л. Память о крае, который вырастил // Правда Севера. 2008. 2 авг.

Указатель статей, помещенных в «Лесном журнале» в 2018 г.

Мерзленко М.Д. Знаменательные даты в истории «Лесного журнала». №5-9.

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Angelstam P., Pedersen S., Manton M. Macroecological Research in Boreal Forest Reveals the Effects of Moose on Economically and Ecologically Important Tree Species. № 4-9.

Demidova N.A., Eriksson G. Genetic Variation in Growth Characters of *Hippophae rhamnoides* L. Grown in Controlled Conditions. № 5-26.

Богданов А.П., Третьяков С.В., Коптев С.В., Ильинцев А.С., Демиденко С.А. Товарная структура смешанных древостоев после проведения рубок ухода за лесом на стационарном объекте «Рубки ухода С.В. Алексеева 1951 г.». № 6-9.

Бабинов Б.В. Гидрологическая роль болот и водное питание рек. № 5-38.

Бабинов Н.А., Хамитов Р.С. Рост сеянцев сосны кедровой сибирской в потомстве деревьев разных половых типов. № 1-29.

Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Есичев А.О. Оценка физиологического состояния представителей рода лиственница (*Larix* Mill.) в условиях Нижегородской области. № 1-9.

Бессчетнов В.П., Кентбаев Е.Ж. Опыт зеленого черенкования облепихи крушиновидной в условиях юго-востока Казахстана. № 4-56.

Геникова Н.В., Харитонов В.А. Последствие многолетнего внесения минеральных удобрений на видовой состав и структуру напочвенного покрова в культурах сосны на песчаных почвах. № 1-18.

Гусева Л.М. Распределение запасов древесных отходов из крон на территории лесного фонда Нижегородской области. № 4-79.

Давыдова Г.В., Ласкин И.В. Леса Иркутской области: есть ли баланс между выбытием и восстановлением? № 3-65.

Данилов Д.А., Беляева Н.В., Грязькин А.В. Особенности формирования

запаса и товарной структуры модальных хвойных древостоев сосны и ели к возрасту спелого насаждения. № 2-40.

Дебков Н.М. Влияние уссурийского полиграфа на онтогенетическую структуру пихтовых лесов Западной Сибири. № 5-116.

Добровольский А.А. Некоторые особенности нормативно-правовых документов, регламентирующих проектирование на лесных участках. № 4-40.

Дружинин Ф.Н., Макаров Ю.И., Корякина Д.М. Паспортизация как средство мониторинга ценных древесных и кустарниковых растений. № 5-94.

Есичев А.О. Корреляция признаков пигментного состава хвои представителей рода лиственница (*Larix* Mill.) в дендропарке Сергачского лесничества Нижегородской области. № 3-43.

Жигунов А.В., Бондаренко А.С. Возраст оценки генетических свойств деревьев ели европейской в испытательных культурах. № 5-65.

Зарубина Л.В., Коновалов В.Н. Динамика накопления пластидных пигментов у подростка ели при онтогенезе березняка черничного. № 3-54.

Иванов В.П., Марченко С.И., Глазун И.Н., Нартов Д.И. Оценка влияния морфометрических параметров шишек на качество семенного материала сосны обыкновенной. № 4-19.

Иванчина Л.А., Залесов С.В. Влияние усыхания на таксационные показатели разновозрастных еловых древостоев. № 6-48.

Карпечко А.Ю. Влияние несплошной рубки на тонкие корни и микоризные окончания ели обыкновенной. № 2-23.

Кентбаева Б.А. Пылеулавливающая способность листовых пластинок боярышника. № 3-20.

Клевцов Д.Н., Тюкавина О.Н., Адаи Д.М. Биоэнергетический потенциал надземной фитомассы культур сосны обыкновенной таежной зоны. № 4-49.

Ковалев А.П., Шешуков М.А., Позднякова В.В. Метод восстановления кедровых лесов на Дальнем Востоке. № 3-77.

- Ковязин В.Ф., До К.Х., Чан Х.Х., До Х.Х.** Определение категорий лесных угодий в природном заповеднике «Кимхи» Республики Вьетнам с применением ГИС-технологий. № 6-39.
- Кулькова А.В.** Корреляция показателей корнеобразования и пострепродуктивного развития черенков ели европейской (*Picea abies* (L.) Н. Karst.). № 3-28.
- Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П.** Многопараметрический анализ в оценке видоспецифичности представителей рода ель (*Picea*). № 6-23.
- Лебедев В.М., Лебедев Е.В.** Функционирование листового аппарата, корневой системы и биологической продуктивности лиственницы сибирской на уровне организма в онтогенезе (на примере лиственничников Архангельской области). № 3-9.
- Лепехин А.А., Чеканьшкин А.С.** Рост и жизнеспособность дуба черешчатого в изреженных рубками ухода насаждениях. № 6-70.
- Логунов Д.В.** Сезонная динамика основных пигментов в хвое некоторых представителей рода лиственница (*Larix* Mill.) в условиях Нижегородской области. № 3-37.
- Макаров В.П., Зима Ю.В., Малых О.Ф., Банщикова Е.А.** Опыт, состояние и перспективы создания культур *Pinus sylvestris* L. в степных борах Восточного Забайкалья. № 2-9.
- Мамбетов Б.Т., Келгенбаев Н.С., Майсупова Б.Д., Досманбетов Д.А., Дукенов Ж.С.** К методике оценки естественного возобновления ели Шренка в условиях горных лесов Северного Тянь-Шаня. № 4-63.
- Манов А.В., Кутявин И.Н.** Горизонтальная структура древостоев и подростов северотаежных коренных ельников чернично-сфагновых в Приуралье. № 6-78.
- Мариничев Е.А.** Результаты рубок ухода на осушаемых землях Вологодской области. № 4-70.
- Матвеева А.С., Беляева Н.В., Данилов Д.А.** Возрастная структура подростов ели разных фенологических форм в зависимости от состава и строения древостоя. № 1-47.
- Мерзленко М.Д., Глазунов Ю.Б., Львов Ю.Г., Перевалова Е.А.** Динамика роста сосны в старовозрастных древостоях сложного бора. № 4-31.
- Мухин А.К.** Многолетняя динамика зеленомошных сосняков в зоне косвенного влияния водохранилища. № 1-37.
- Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А., Чупров А.В., Беляев В.В.** Реакция роста сосны обыкновенной на климатические изменения в широтном градиенте. № 5-82.
- Осипенко А.Е., Залесов С.В.** Производительность искусственных сосняков в ленточных борах Алтайского края. № 2-33.
- Пастухова Н.О., Горкин А.И., Лебедева О.П.** Сравнительный анализ смолопродуктивности сосны в разных лесорастительных условиях. №2-49.
- Семенютина А.В., Соломенцева А.С.** Рост и фенологическое развитие интродуцированных видов шиповников (*Rosa* L.) в условиях Волгоградской области. № 5-105.
- Сурсо М.В.** Адаптация мужской репродуктивной сферы можжевельника обыкновенного к климату. № 6-57.
- Тепляков В.К., Шалаев В.С.** «Лесной журнал» и Международный союз лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). № 5-13.
- Тунякин В.Д., Вавин В.С., Рыбалкина Н.В.** Новое о лесообразовательном процессе в лесных полосах Каменной Степи. № 6-89.
- Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Болотов И.Н., Филиппов Б.Ю., Адаи Д.М.** Биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной северотаежного лесного района. № 6-101.
- Хамитов Р.С., Андропова М.А., Антонов А.М.** Изменчивость сосны кедровой сибирской по урожайности шишек в условиях интродукции. № 3-84.
- Цандекова О.Л., Ножников А.Е.** Особенности видового состава мохообразных на территории природного комплекса «Рудничный бор». № 6-109.
- Царев А.П.** Многообразие использования древесины тополей. № 5-48.

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

Абузов А.В., Рябухин П.Б. Исследование процесса колебаний грузовой подвески лесотранспортной аэростатно-канатной системы. № 3-103.

Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Чирков Е.В., Поставничий С.А., Могутов Р.В. Теоретические основы и методы математического моделирования лесовозных автомобильных дорог. № 6-117.

Макарова Ю.А., Мануковский А.Ю. Исследование воздействия паводковых вод на разрушение откосов земляного полотна. № 2-70.

Морозов В.С. Особенности расчета поперечного изгиба оснований зимних автомобильных дорог на заболоченных грунтах. № 6-128.

Мясищев Д.Г. Потенциал малой механизации в лесохозяйственных технологических процессах. № 1-70.

Мясищев Д.Г., Яхяев Д.Б., Морозов В.С. Оценка процесса измельчения напочвенного покрова струной. № 5-126.

Орловский С.Н. Технология подкормевого полива саженцев лесных культур по защитным полосам. № 3-92.

Орловский С.Н. Измельчение малоценной древесины при рубках ухода. № 5-135.

Перфильев П.Н. Исследование оптимальных методов сплотки круглых лесоматериалов. № 2-77.

Теринов Н.Н., Герц Э.Ф., Мехренцев А.В. Применение природосберегающих технологий на проходных рубках в Уральском учебном опытном лесхозе УГЛТУ. № 4-87.

Умаров М.М., Скрыпников А.В., Ломакин Д.В., Микова Е.Ю. Расчет плановых элементов криволинейной трассы, подобранной на стереомодели местности. № 4-97.

Умаров М.М., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Микова Е.Ю. Применение цифровых моделей местности для трассирования лесных автомобильных дорог. № 2-58.

Шапиро В.Я., Григорьева О.И., Григорьев И.В., Григорьев М.Ф. Теоретическое исследование процесса разрушения

массива грунта сферическими ножами при использовании комбинированных конструкций грунтометов для тушения лесных пожаров. № 1-61.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

Алексеев А.Е., Кристьянис М.В. Исходные технологические требования системы позиционирования суппорта обрезающего станка от линейного асинхронного двигателя. № 6-149.

Баланцева Н.Б., Мелехов В.И., Калинин О.А. Совершенствование метода расчета процесса конвективной сушки пиломатериалов. № 4-132.

Глухих В.Н., Охлопкова А.Ю. Определение изгибающего момента и прогиба в сечениях пиломатериалов лиственницы даурской от действия начальных напряжений. № 1-89.

Гороховский А.Г., Шишкина Е.Е., Старова Е.В., Миков А.А. Анализ процессов сушки древесины существенно неизотермическими режимами. № 2-88.

Зарипов Ш.Г. Режимы сушки лиственничных пиломатериалов в сушильных камерах периодического действия. № 5-151.

Зарипов Ш.Г. Систематизация факторов, влияющих на образование трещин в лиственничных пиломатериалах при сушке. № 3-127.

Карельский А.В., Журавлева Т.П., Филиппов В.В., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Технология усиления клееных деревянных конструкций металлическими зубчатыми пластинами. № 1-80.

Куницкая О.А., Бурмистрова С.С., Хитров Е.Г., Минаев А.Н. Математическое моделирование процесса пропитки древесины в пьезопериодическом поле. № 5-168.

Лозовецкий В.В., Шадрин А.А., Катков С.А. Моделирование движения древесностружечных материалов в цилиндрических бункерах. № 2-97.

Микрюкова Е.В., Торопов А.С., Пекменов В.М. Исследование объемного выхода пиломатериалов при распиловке бруса параллельно образующей. № 3-117.

Немировский Ю.В., Болтаев А.И. Особенности деформирования и разрушения гибридных брусьев из древесины. № 4-118.

Прокофьев Г.Ф. Совершенствование конструкции ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими. №1-99.

Рукомойников К.П., Царев Е.М., Анисимов С.Е., Черемушкина О.Н. Совершенствование конструкции лесопильного станка для продольной распиловки лесоматериалов. № 5-161.

Фергин В.Р. Развитие теории раскря пиловочного сырья. № 4-107.

Циулин Е.Ю., Шмидт А.Б. Численное моделирование модуля упругости *LVL* с различным сочетанием взаимно перпендикулярных слоев шпона. № 6-138.

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Архилин М.А., Богданович Н.И., Ефремова С.В. Синтез магнитовосприимчивых адсорбентов на основе гидролизованного лигнина с использованием оксида железа(III). № 4-150.

Гораздова В.В., Дернова Е.В., Дулькин Д.А., Окулова Е.О. Влияние фибрилляции и укорочения волокон при размоле на характеристики прочности, деформативности и трещиностойкости целлюлозных материалов. № 2-109.

Захаров И.В., Захарова Н.Л., Канарский А.В., Романова А.Н., Казаков Я.В., Дулькин Д.А. Регулирование влагопрочности картона обработкой биомодифицированным глютенем. № 5-181.

Иванкин А.Н., Санаев В.Г., Горбачева Г.А., Агеев А.К., Кирюхин Д.П., Кичигина Г.А., Куц П.П. Модификация свойств природных целлюлозосодержащих композиционных материалов фторсополимерами и теломерами тетрафторэтилена. № 2-122.

Присмакова А.Е., Дягилева А.Б., Смирнова А.И. Реологические свойства сульфатного лигнина, модифицированного золь-гель методом. № 3-137.

Сафина А.В., Тимербаев Н.Ф., Зиятдинова Д.Ф., Арсланова Г.Р. Экстракция

ценных компонентов из лесосечных отходов. №1-109.

Третьяков С.И., Глуханов А.А. Оптимизация промывки сульфатного мыла кислой водой и оценка соответствия качества получаемого таллового масла требованиям стандартов. № 3-149.

Флюрик Е.А., Бондаренко Ж.В., Валовень Н.В. Получение настойки из ягод голубики высокорослой и исследование ее влияния на свойства косметической эмульсии. № 6-160.

Чу К.Н., Спицын А.А., Романенко К.А., Пономарев Д.А. Парогазовая активация древесного угля из бамбука. № 4-140.

Щербак Н.В., Дубовой Е.В., Лоренгель М.А., Смолин А.С. Моделирование композиции сепараторной бумаги из минерального и растительного сырья для повышения прочности и впитывающей способности. № 1-120.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

Аксенов А.С., Кузьмина Н.А. Бактериальные эндофиты тополя. № 4-161.

Коптев С.В., Скуднева О.В. О возможностях применения беспилотных летательных аппаратов в лесохозяйственной практике. № 1-130.

Михайлов К.Л., Файзулин Д.Х., Демина Н.А. Роль научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в лесном хозяйстве. № 2-133.

КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

Тепляков В.К., Шалаев В.С. ИЮФРО – 125 лет! № 1-139.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

Горбачева Г.А. Новая книга Питера Нимца и Вальтера Сондереггера «Holzphysik: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe» – фундаментальный труд в области наук о древесине. № 2-139.

ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

Моисеев Н.А. К 90-летию со дня рождения лесом призванного выдающегося писателя В.А. Чивилихина (1928–1984 гг.). № 4-167.

Силин В.И. А.А. Битрих и лесоводство Европейского Севера. № 6-172.

ЮБИЛЕИ

Мелехов В.И., Третьяков С.И., Макаревич Н.А., Кутакова Н.А., Каза-

ков Я.В. Профессору Богдановичу Николаю Ивановичу – 75 лет. № 1-143.

НЕКРОЛОГИ

Антонов А.М., Бабич Н.А., Гаевский Н.П., Пастухова Н.О., Травникова Г.И. Памяти Виталия Васильевича Петрика. № 2-142.

Ковязин В.Ф. Памяти Игоря Ивановича Минкевича. № 1-145.

Крышень А.М., Харитонов В.А., Мошников С.А. Памяти Александра Ивановича Соколова. № 2-144.

НЕКРОЛОГИ

**ПАМЯТИ ВЛАДИМИРА ВЛАДИМИРОВИЧА КОРОВИНА
(1938–2018 гг.)**



4 мая 2018 г. ушел из жизни выдающийся русский ученый, ведущий научный сотрудник лаборатории лесоводства и биологической продуктивности Института лесоведения РАН, доктор биологических наук, профессор Владимир Владимирович Коровин.

В.В. Коровин родился 2 сентября 1938 г. в Москве. В годы войны после долгих скитаний семья оказалась в г. Георгиевске Ставропольского края. Там он с серебряной медалью окончил среднюю школу и, не дождавшись выпускного

вечера, поступил в Харьковское высшее военно-инженерное авиационное училище, но карьера военного не сложилась... В 1957 г. поступил на факультет лесного хозяйства Московского лесотехнического института (МЛТИ). Выбор будущей специальности определился повышенным интересом к лесу, населяющей его живности, а главное – неумной страстью к охоте.

На первом курсе института самым увлекательным для него предметом оказалась анатомия растений. По совету доцента кафедры ботаники Г.В. Матвеевой он обратился к старшему преподавателю кафедры селекции и дендрологии А.Я. Любавской, которая в то время занималась анатомией карельской березы. Микроскоп оказался тем «магическим кристаллом», который раскрыл картины внутреннего строения аномальной древесины. С этого и началась научная работа студента В. Коровина. Каждое лето, досрочно сдав экзамены, с ружьем и фотоаппаратом он уезжал в Башкирию изучать образующую капы березу пушистую.

После защиты дипломной работы В.В. Коровин был направлен в Проектно-исследовательское бюро Леспроекта. Два года занимался изучением хода роста кедровников в Томской области и на Алтае, затем в Союзгипролесхозе участвовал в организации лесосеменных хозяйств на селекционной основе в Хакасии, Хабаровском крае, Горьковской области, Шиповом лесу.

В 1966 г. доцент А.Я. Любавская предложила В.В. Коровину вернуться на кафедру и серьезно заняться научной работой. В течение десяти лет (в этот срок входила и аспирантура) работал научным и старшим научным сотрудником НИСа на кафедре селекции и дендрологии МЛТИ. Будучи в аспирантуре факультативно доучивался на кафедре высших растений биологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ) по следующим предметам: анатомия высших растений, цитология рас-

тений, общая генетика. В этот период совместно с А.Я. Любавской основал при кафедре лабораторию и научную школу анатомических исследований для целей лесной селекции. Работая по хозяйственным темам, организовал небольшие по составу экспедиции в Закарпатье, на Северный Кавказ, в Узбекистан и Киргизию, на Дальний Восток, участвовал в научных командировках по европейской части России. Кандидатскую диссертацию «Изменчивость анатомических и морфологических признаков березы пушистой в связи с капообразованием в условиях Горной Башкирии» защищал в диссертационном совете биофака МГУ.

С 1975 г. В.В. Коровин работал старшим научным сотрудником, главным научным сотрудником, заведующим лабораторией лесоведения и лесоводства ВНИИ химизации лесного хозяйства (ВНИИХЛ), руководил научными исследованиями на стационарах института в Костромской и Новосибирской областях, Приморском крае. За научные разработки при выполнении спецзадания награжден орденом «Знак Почета» и юбилейной медалью «В память 850-летия Москвы».

Занимаясь в основном проблемами лесоведения во ВНИИХЛ, он не переставал интересоваться аномальным ростом стебля древесных растений. После защиты кандидатской диссертации В.В. Коровина заинтересовало, насколько случайны и независимы внешне совершенно разные аномалии в строении стволов и ветвей (капы, сувели, «ведьмины метлы», древесина карельской березы и кленов с текстурой «птичий глаз» и другие разрастания ткани на стеблях древесных растений) и есть ли что-то общее, связывающее эти проявления? Долгое время ответ не находился. Ответ возник неожиданно при сравнении двух внешне очень разных структурных аномалий, общая закономерность аномального роста оформилась моментально. Полученные выводы привели к написанию докторской диссертации в очень сжатые сроки (10 месяцев). В своей работе на основании собранного и проанализированного в лабораторных условиях полевого материала В.В. Коровин сформулировал общую закономерность аномального роста для неспецифических структурных отклонений от нормы, обосновал положение о том, что неспецифические структурные аномалии не только не являются результатом эволюционных преобразований, но в локальных участках тканей или органов древесных растений сводят на нет предшествующие морфогенетические приобретения и в своей организации подчиняются законам косной материи. Защита диссертации «Морфолого-анатомические изменения стебля растений при аномальном росте» снова проходила в диссертационном совете биофака МГУ.

Материалы его докторской диссертации легли в основу монографии «Структурные аномалии стебля древесных растений», написанную им в соавторстве с Л.Л. Новицкой и Г.А. Курносовым. Через год вышло второе, дополненное ее издание.

В 1990 г. в числе нескольких научных сотрудников ВНИИХЛ Коровин был командирован в г. Хошимин для работы в Советско-Вьетнамском научно-производственном центре. Командировка длилась полтора года.

В 1997 г. по приглашению заведующего кафедрой селекции, генетики и дендрологии Г.А. Курносова вернулся на кафедру для ведения новой дисциплины – курса биологии для студентов специальности «Лесоинженерное дело» лесного факультета. Подготовил и издал курс лекций по биологии и необходимые для учебного процесса методические пособия.

Несмотря на возраст, проф. Владимир Владимирович Коровин продолжал проводить исследования в полевых условиях. В 2005 г. по его инициативе и личном активном участии в Приморском крае работала экспедиция ученых Московского государственного университета леса (МГУЛ) по изучению качества, свойств, структуры древесины дальневосточных пород. Результатом работы экспедиции стала коллекция заготовок для анатомических исследований и образцов древесины древесных и кустарниковых видов растений Дальнего Востока, собранная для учебных целей.

В.В. Коровин создал и возглавил при кафедре селекции, генетики и дендрологии межфакультетскую анатомическую лабораторию, в работе которой принимали участие и другие научные организации. В 2006 г. совместно с заведующим кафедрой Г.А. Курносковым организовал межинститутский постоянно действующий научный семинар «Производственный процесс и структура деревьев, древесин и древостоев», материалы которого публиковались в виде депонированной коллективной монографии и специальных номеров журнала «Вестник МГУЛ – Лесной вестник». Совместно с главным научным сотрудником М.Г. Романовским, а затем и заведующим лабораторией лесоводства и биологической продуктивности Института лесоведения РАН Ю.Б. Глазуновым до последних дней своей жизни курировал деятельность этого семинара.

После реформирования МГУЛ В.В. Коровин избирался ученым советом Института лесоведения РАН на 5 лет ведущим научным сотрудником лаборатории лесоводства и биологической продуктивности. Он являлся членом Координационного совета по современным проблемам древесиноведения, научным консультантом и членом диссертационного ученого совета ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Россельхозакадемии.

Им опубликовано более 130 печатных работ, в том числе 2 монографии, 4 коллективные монографии, 4 учебника (в соавторстве), 10 учебно-методических пособий, статьи в научных журналах и сборниках. В.В. Коровин постоянно руководил научной работой аспирантов. Успешная защита четырех (в их числе из Ирана) аспирантов и одного докторанта – его заслуга.

Уход Владимира Владимировича стал невосполнимой потерей для его близких, коллег и учеников. Память о добром, мудром и отзывчивом человеке, талантливом ученом и учителе навсегда сохранится в наших сердцах, а его научное наследие останется с нами на многие десятилетия.

В.И. Мелехов¹, В.А. Брынцев², Ю.Б. Глазунов³, П.Г. Мельник²

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

³Институт лесоведения РАН

ПАМЯТИ СВЕТОЗАРА НИКОЛАЕВИЧА СЕННОВА (1926 – 2018 гг.)

17 мая 2018 г. ушел из жизни старейший сотрудник, крупный ученый в области рубок ухода за лесом Светозар Николаевич Сеннов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова.

23 февраля 1926 г. в Ленинграде родился мальчик, которого нарекли Светозаром. Его юность пришлась на годы военного лихолетья. В начале Великой Отечественной войны вместе с семьей он был эвакуирован в Йошкар-Олу, где после окончания средней школы был призван в Советскую армию и направлен на курсы артиллеристов при Ленинградской военно-воздушной инженерной академии. В 1944 г. сержант С.Н. Сеннов уже принял участие в боевых действиях в рядах 11-й стрелковой дивизии Ленинградского, а затем и 3-го Прибалтийского фронтов. Закончил войну офицером 12-й гвардейской стрелковой дивизии 1-го Белорусского фронта. Был дважды ранен и контужен. Родина высоко оценила его заслуги, наградив орденом Славы III степени, орденом Отечественной войны I степени и семью медалями. Победу он встретил 19-летним юношей в госпитале польского г. Седлицы, а после окончания войны был оставлен на 5 лет служить в группе советских войск в Германии.

Находясь в отпуске в 1948 г. в Ленинграде, Светозар Николаевич поступает на заочный факультет Лесотехнической академии (ЛТА), поскольку у него проявился интерес к лесным наукам. После демобилизации из армии в 1950 г. переводится на дневное отделение лесохозяйственного факультета, который с отличием заканчивает в 1954 г.

С этого времени его жизнь неразрывно связана с лесом. Он работал таксатором, а затем начальником партии в Третьей ленинградской аэрофотолесо-строительной экспедиции Ленинградского треста Всесоюзного объединения «Леспроект». Параллельно с работой на производстве он учился в заочной аспирантуре при Ленинградском научно-исследовательском институте лесного хозяйства, где уже через год ему предложили должность младшего научного сотрудника.

Светозар Николаевич успешно защитил кандидатскую и докторскую диссертации, прошел путь от младшего научного сотрудника до заведующего лабораторией лесоводства. Тематика его исследований была связана с теорией и практикой рубок ухода в таежных лесах. Им были продолжены опыты, заложенные профессором А.В. Давыдовым в 20-х гг. XX в. в Сиверском лесхозе Ленинградской области. Кроме того, он начал новые эксперименты на постоянных пробных площадях с рубками ухода. На богатом фактическом материале, полученном на этих постоянных пробных площадях, под научным руко-



водством С.Н. Сеннова защищены кандидатские и докторские диссертации. Исследования на данных уникальных лесных объектах продолжаются и в настоящее время его учениками.

В 1985 г. Светозара Николаевича приглашают в ЛТА на должность заведующего кафедрой лесоводства. С первых дней работы он активно приступает к совершенствованию учебно-методической работы и организации научных исследований по рубкам ухода. Человеколюбие и скромность, стремление помочь привлекали к нему коллег, вызывали их уважение. Снискала признательность его деятельность при решении важных лесохозяйственных проблем в качестве члена Проблемного совета Гослесхоза СССР по рубкам леса и его восстановлению, члена Научного совета по проблеме использования лесных ресурсов Государственного комитета по науке и технике, члена Северо-Западного отделения ВАСХНИЛ.

С 1995 г. как профессор кафедры лесоводства руководил важнейшими научными темами лесохозяйственного факультета: «Разработка на зонально-типологической основе интегрированных систем ведения лесного хозяйства, обеспечивающих устойчивость управления лесами», «Устойчивость лесных экосистем», «Совершенствование методов и технологий рубок ухода за лесом».

В научном багаже С.Н. Сеннова около 200 публикаций, среди них научные статьи, монографии, учебники и учебные пособия. Настольными книгами российских лесоводов являются такие его монографии, как «Рубки ухода за лесом», «Уход за лесом. Экологические основы», «Итоги 60-летних наблюдений за естественной динамикой леса» и др. По его учебникам и учебным пособиям учатся тысячи бакалавров, магистров и аспирантов направления «Лесное дело».

Всю свою жизнь Светозар Николаевич Сеннов полностью посвятил служению русскому лесу, уходу за ним, высшему лесному образованию и лесной науке. Его многочисленные ученики продолжают дело своего наставника в лесном хозяйстве и лесной науке Российской Федерации.

В.Ф. Ковязин, Е.Н. Кузнецов

Санкт-Петербургский лесотехнический университет им. С.М. Кирова

ПОЛЕЗНАЯ И АКТУАЛЬНАЯ МОНОГРАФИЯ

В 2018 г. вышла в свет монография заслуженного изобретателя РФ, доктора технических наук, профессора Г.Ф. Прокофьева «Создание высокотехнологичных лесопильных станков».

Перед лесопилением стоит задача перехода на интенсивный путь развития, который заключается в выработке пилопродукции высокого потребительского качества при минимальных расходах сырья, энергии, материалов и человеческих ресурсов. Для получения пиломатериалов из пиловочного сырья применяются лесопильные рамы, ленточнопильные и круглопильные станки. В качестве режущего инструмента в них используются тонкие стальные полосы (рамные пилы), ленты (ленточные пилы), диски (круглые пилы), имеющие малую жесткость и устойчивость.

Предложенный автором аналитический метод оценки точности пиления древесины на лесопильных станках позволяет разработать режимы пиления древесины с ограничением по точности размеров пиломатериалов; оценить эффективность мероприятий, направленных на повышение точности пиления древесины; определить направления модернизации существующих лесопильных станков и разработки станков нового типа. Одним из эффективных путей повышения точности пиления древесины является применение для пил направляющих, установленных над и под распиливаемым материалом. Для уменьшения трения пил о направляющие рекомендуется рабочие поверхности последних изготавливать в виде аэростатических опор. Для практического применения разработанного автором аналитического метода оценки точности пиления древесины выполнен значительный объем работ по расчету жесткости и устойчивости дереворежущих пил. Экспериментальные исследования аэростатических опор позволили автору разработать конструкции аэростатических направляющих для пил и обосновать их основные параметры.

Большое внимание в монографии уделено описанию конструкций и параметрам лесопильных станков нового типа, позволяющим снизить габаритные размеры и металлоемкость, повысить производительность, выход пиломатериалов и надежность работы пил. Показана целесообразность создания на основе новых лесопильных модулей гибких автоматизированных лесопильных линий, обеспечивающих получение пиломатериалов высокого потребительского качества при минимальной себестоимости.

Представленные в монографии материалы являются обобщением результатов многолетней научно-исследовательской деятельности автора. По многим вопросам, которые поднимает в своей работе автор, он занимает лидирующее положение не только в Российской Федерации, но и за ее пределами. Новизна и оригинальность технических решений, приведенных в монографии, подтверждаются большим количеством авторских свидетельств и патентов.

В связи с необходимостью интенсификации производства рассматриваемая работа актуальна и является хорошим инструментом при подготовке инженерных и научных специалистов.

Структура монографии оригинальна, материал изложен технически грамотно и методически хорошо проработан. Книга полезна для преподавателей вузов, творческих инженерно-технических работников и аспирантов.

В.И. Мелехов, В.И. Малыгин

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова