

ISSN 0536 – 1036

DOI:10.17238/issn0536-1036

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Основан в 1833 г.

1/355

2017

Уважаемые читатели, авторы, рецензенты, члены редакционной коллегии!

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

К сведению авторов

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

Основные требования, предъявляемые к статьям:

научная новизна; актуальность задачи, решаемой данным исследованием; корректность постановки эксперимента и полученных результатов; возможность воспроизведения экспериментальных данных; ясность и логичность изложения; правильное оформление рукописи. Текст представляется на бумажном и электронном носителях на русском или английском языке. Объем статьи не должен превышать 8–12 страниц (обзорная статья 16–18 страниц) формата А4, включая таблицы, схемы, рисунки и список литературы. Электронный вариант статьи выполняется в текстовом редакторе Microsoft Word, шрифт 14 Times New Roman, межстрочный интервал – множитель 1.2, поля – 2 см. Иллюстрации представляются в форматах Tiff или Jpg, графики в Excel с разрешением не менее 300 dpi. Формулы набираются в Word for Windows. Нумеруются только те формулы, на которые делаются ссылки в тексте. Порядковый номер ставится в круглых скобках справа от формулы. В имени файла указываются фамилия и инициалы автора. Все страницы рукописи имеют сплошную нумерацию. Порядковые номера страниц проставляются посередине верхнего поля страницы арабскими цифрами. Материал статьи должен быть ясно изложен и содержать: код УДК; название статьи; фамилия и инициалы автора(ов); ученая степень/звание автора(ов); название организации, в которой выполнена работа (с полным почтовым адресом); адрес электронной почты; аннотация; ключевые слова; текст статьи (введение, методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, заключение); список литературы; метаданные на английском языке в том же порядке, как и в варианте на русском языке. **Аннотация включает:** предмет, цель работы; метод или методологию проведения работы; результаты; область применения результатов; выводы. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте аннотации. Объем аннотации от 250 до 500 слов.

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

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

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

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
eLIBRARY.RU

издательский дом
 **ЛАНЬ®**
www.e.lanbook.com
электронно-библиотечная система

НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
cahy

CYBERLENINKA

EBSCO

J-Gate

 **AGRIS**

 **ULRICHSWEB™**
GLOBAL SERIALS DIRECTORY



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

 **CASSI™**
A CAS SOLUTION

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Научный рецензируемый журнал

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

1/355

2017

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

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

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

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

BULLETIN
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Lesnoy Zhurnal

(Forestry journal)

Scientific peer-reviewed journal

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

1/355

2017

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

EDITORIAL STAFF:

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL STAFF:

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>П.Г. Мельник, Ю.Б. Глазунов, М.Д. Мерзленко.</i> Рост и производительность архангельского климатипа сосны обыкновенной в условиях Подмосквья.....	9
<i>А.С. Новосёлов, Н.А. Дружинин.</i> Сезонная динамика смолопродуктивности осушаемых сосновых древостоев.....	21
<i>Х.М. Хетагуров.</i> Возобновительный потенциал клена Траутфеттера в горных лесах Республики Северная Осетия–Алания.....	30
<i>Т.В. Каштелян.</i> Формирование системы воспроизводства лесных ресурсов Беларуси.....	40
<i>И.Т. Кищенко.</i> Влияние климатических факторов на сезонный рост деревьев лиственных лесобразующих видов в таежной зоне.....	51
<i>В.М. Ивонин, И.В. Воскобойникова.</i> Рекреационная нагрузка и механическая эрозия на горных склонах в лесах Колхиды.....	64
<i>О.Н. Тюкавина, Д.Н. Клевцов, Н.А. Бабич.</i> Черты сходства динамики длины хвои по годам роста сосны обыкновенной в различных условиях произрастания...	73
<i>О.И. Антонов.</i> Повышение качественной продуктивности насаждений – задача интенсивного лесного хозяйства.....	86
<i>А.С. Ильинцев, С.В. Третьяков, Р.А. Еришов, И.В. Федотов.</i> Влияние добровольно-выборочных рубок на текущий прирост древесины в высоковозрастных ельниках.....	95
<i>С.А. Шавнин, В.А. Лебедев, В.А. Галако, В.Э. Власенко.</i> Комплексная оценка состояния лесных генетических резерватов Свердловской области с помощью методов дистанционного и наземного обследования.....	104

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>А.С. Торопов, А.Н. Заикин, В.М. Меркелов.</i> Особенности переработки древесины, загрязненной радионуклидами.....	119
<i>Д.Г. Мясницев, С.А. Путинцев.</i> Оптимизация расхода топлива роторного измельчителя растительных остатков.....	129
<i>С.В. Посыпанов.</i> Определение геометрических параметров плавающего транспортного пакета круглых лесоматериалов численным методом.....	141

*МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ*

- С.П. Агеев.* Нормирование электроэнергии, потребляемой лесопильными рамами 154
Ф.В. Черепенин, С.М. Сковпень, Д.А. Ульяничев. Цифровое моделирование при
обработке литейных моделей из древесины и древесных материалов на
станках токарной группы..... 166

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- Е.С. Тюрмина, И.С. Ильичев, А.Б. Радбиль, Л.Л. Семенычева, М.А. Лазарев,
Е.А. Маврина, А.А. Шалашова.* Очистка сульфатного скипидара-сырца от
серосодержащих соединений..... 177
*О.С. Бровко, И.А. Паламарчук, Н.В. Сысоева, Н.А. Вальчук, Т.А. Бойцова,
К.Г. Боголицын, В.К. Дубовый.* Фильтрующие материалы на основе
минеральных волокон с биополимерным слоем..... 186
-
-



CONTENTS

FORESTRY

<i>P.G. Mel'nik, Yu.B. Glazunov, M.D. Merzlenko.</i> The Growth and Productive Capacity of the Arkhangelsk Climatype of Scots Pine in the Moscow Region.....	9
<i>A.S. Novoselov, N.A. Druzhinin.</i> Seasonal Resin Productivity Dynamics of Drained Pine Stands.....	21
<i>Kh.M. Khetagurov.</i> Trautvetter's Maple Regeneration Potential in the Mountain Forests of the Republic of North Ossetia–Alania.....	30
<i>T.V. Kashtelyan.</i> Formation of the Forest Regeneration System of Belarus.....	40
<i>I.T. Kishchenko.</i> The Impact of Climatic Factors on the Seasonal Growth of Deciduous Trees of the Forest-Forming Species in the Taiga Zone.....	51
<i>V.M. Ivonin, I.V. Voskoboynikova.</i> Recreational Load and Mechanical Erosion on the Mountainsides in the Forests of Colchis.....	64
<i>O.N. Tyukavina, D.N. Klevtsov, N.A. Babich.</i> The Similarity of the Needle Length Dynamics on an Annual Basis of Scots Pine Growth in Different Conditions.....	73
<i>O.I. Antonov.</i> Qualitative Productivization of Forest Stands is the Goal of Intensive Forestry.....	86
<i>A.S. Il'intsev, S.V. Tret'yakov, R.A. Ershov, I.V. Fedotov.</i> The Effect of Voluntary-Selective Felling on the Basic Wood Increment in the Aged Spruce Forests.....	95
<i>S.A. Shavnin, V.A. Lebedev, V.A. Galako, V.E. Vlasenko</i> Integrated Assessment of Forest Genetic Reserves of the Sverdlovsk Region by the Methods of Remote and Ground Survey.....	104

WOOD EXPLOITATION

<i>A.S. Toropov, A.N. Zaikin, V.M. Merkelov.</i> Peculiarities of Processing of Wood Polluted by Radioactive Nuclides.....	119
<i>D.G. Myasishchev, S.A. Putintsev.</i> Fuel Optimization of a Rotary Chopper for Plant Residues.....	129
<i>S.V. Posypanov.</i> Numerical Determination of the Geometric Parameters of a Transport Floating Roundwood Bundle.....	141

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

<i>S.P. Ageev.</i> Rationing of Electricity Consumed by Saw Frames.....	154
<i>F.V. Cherepenin, S.M. Skovpen', D.A. Ul'yanichev.</i> Digital Simulation when Wood and Wood-Based Materials Casting Patterns Processing on the Turning Lathes	166

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>E.S. Tyurmina, I.S. Il'ichev, A.B. Radbil¹, L.L. Semenycheva, M.A. Lazarev, E.A. Mavrina, A.A. Shalashova.</i>	<i>The Raw Sulfate Turpentine Purification from Sulfur-Containing Compounds.....</i>	<i>177</i>
<i>O.S. Brovko, I.A. Palamarchuk, N.V. Sysoeva, N.A Val'chuk, T.A. Boytsova, K.G. Bogolitsyn, V.K. Dubovyy.</i>	<i>Filter Materials Based on Mineral Fibers with Biopolymer Layer.....</i>	<i>186</i>



УДК 630*232.12

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.9

РОСТ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АРХАНГЕЛЬСКОГО КЛИМАТИПА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ПОДМОСКОВЬЯ

П.Г. Мельник¹, канд. с.-х. наук, доц.

Ю.Б. Глазунов², канд. с.-х. наук, зав. лаб.

М.Д. Мерзленко², д-р с.-х. наук, проф.

¹Московский государственный университет леса, ул. 1-я Институтская, д. 1, г. Мытищи-5, Московская область, Россия, 141005; e-mail: melnik_petr@bk.ru

²Институт лесоведения РАН, ул. Советская, д. 21, п/о Успенское, Московская область, Россия, 143030; e-mail: glazunov@ilan.ras.ru

При изучении географической изменчивости основных лесообразующих пород не уделяется должного внимания аномальным особенностям роста у географически удаленных от объекта исследований климатипов. В нормативных документах, определяющих принципы лесовосстановления, безусловное предпочтение отдается местным или близлежащим популяциям. Исследования выполнены в 65-летних географических культурах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Серебряноборском опытном лесничестве Института лесоведения РАН, расположенном в центральной части Московской области. Несмотря на северное происхождение (расстояние от исследуемых географических культур составило более 700 км на север) насаждение, выращенное из семян Вельского лесхоза Архангельской области, превосходило по средней высоте подмосковный и владимирский климатипы, а также значительно опережало их по среднему диаметру. Распределение деревьев по диаметру в исследуемых древостоях близко к нормальному. При этом в архангельском климатипе заметно смещение в сторону преобладания крупных деревьев, тогда как во владимирском – отстающих в росте. Московская провинция занимает промежуточное положение. По зависимостям относительных высот от диаметров деревьев наиболее интенсивные конкурентные отношения характерны для владимирского климатипа. В первую очередь это отражает наибольшую густоту данного насаждения. В архангельском климатипе высокое значение отношения высоты дерева к его диаметру, соответствующее по величине таковому в подмосковном и владимирском климатипах, характерно для отстающих в росте деревьев, диаметр которых не превышает 22...24 см. Относительно низкая сохранность древостоя и невысокая интенсивность конкурентных отношений между деревьями в 65-летнем возрасте, преобладание в древостое лидирующих деревьев указывают на то, что естественное

Для цитирования: Мельник П.Г., Глазунов Ю.Б., Мерзленко М.Д. Рост и производительность архангельского климатипа сосны обыкновенной в условиях Подмосковья // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 9–20. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.9

изреживание в архангельском климатипе произошло раньше и было более интенсивным, чем в контрольных насаждениях местного происхождения. При этом большая высота деревьев при относительно большом диаметре обусловлены длительным периодом роста деревьев в более благоприятных условиях менее густого древостоя. Запас древостоя в архангельской провинции на момент проведения исследований не уступает таковому в насаждении подмосковного климатипа. Следовательно, оставшиеся после изреживания деревья адаптировались к климатическим условиям района исследований. По совокупности характеристик роста архангельского климатипа сосны из Вельского района Архангельской области сделан вывод о его пригодности для выращивания в условиях Подмосковья.

Ключевые слова: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), географические лесные культуры, климатип, провинция, рост и состояние насаждений.

Введение

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), произрастая в обширном евразийском ареале в процессе эволюции, оказалась географически дифференцированной по своим наследственным свойствам. Без учета географии древесных пород, их естественных ареалов, природной зональности лесов немислимо научное решение важнейших вопросов лесоведения и лесоводства. Географический подход необходим для правильного понимания сущего и должного в лесном хозяйстве [8]. Опыты с географическими культурами позволяют определить характер географического распределения популяций определенного вида в далеком прошлом, а так как не существует лучшего способа определения свойств культур различных географических происхождений, то опыты с ними являются важнейшим и часто единственным основанием для рекомендаций по использованию того или иного источника репродуктивного материала [15]. В настоящее время в связи с масштабным усыханием еловых лесов в европейской части России и Европе в целом необходим поиск перспективных климатипов других пород не только по показателю продуктивности, но и по качеству древесины. Сосна обыкновенная является наиболее перспективной и ценной породой для лесовосстановления в Центральной России, площади под которой за последние десятилетия в лесном фонде сильно сократились. Ценность и высокое качество древесины северной сосны доказал еще в начале 30-х гг. XX в. выдающийся русский лесовод академик И.С. Мелехов, исследования которого позволили установить различия между качественными показателями и географическим расположением [7].

Объекты и методика исследований

Исследования выполнены в географических посадках сосны, созданных в 1948 г. под руководством Л.Ф. Правдина в Серебряноборском опытном лесничестве Института леса АН СССР (в настоящее время – Институт лесоведения РАН), расположенного в центре Московской области, в районе с географическими координатами 55°44'40" с.ш. и 37°19'40" в.д. Тип условий местопроизрастания В₂ (свежая простая суболь).

Посадку производили 2-летними сеянцами по сплошь обработанной почве. Растения высаживали рядами с размещением посадочных мест $2,0 \times 1,5$ м, густота посадки – 3330 шт./га. Направление рядов – с запада на восток. Семена исследуемого климатипа были получены из Вельского лесхоза Архангельской области, расположенного в Южно-архангельском подрайоне (№ 6а) Верхнедвинского (№ 6) лесосеменного района [4]. Для сравнения (контроль) использовали две провениенции, относящиеся к Московскому подрайону (№ 176) Центрального (№ 17) лесосеменного района и происходящие из Московской (Павлово-Посадский лесхоз) и Владимирской областей. Согласно таксационному районированию В.В. Загреева [2], южная часть Архангельской области относится к району сосновых лесов умеренного роста, тогда как Московская и Владимирская области – к району сосновых лесов хорошего роста.

Инструментальную таксацию выполняли на пробных площадях в соответствии с ОСТ 56-69–83 [12]. В ходе переречетов у всех деревьев измеряли длину окружности ствола на высоте 1,3 м, по которой рассчитывали диаметр. Деревья при переречете подразделяли на классы Крафта. У 30...32 деревьев на каждом участке измеряли высоту, по полученным данным рассчитывали зависимость высоты (H) от диаметра (D) деревьев. Запасы древесины рассчитывали умножением средней высоты на сумму площадей сечения и на видовое число, определявшееся по формуле А. Кулешиса и Й. Кянставичуса [3].

Результаты исследования и их обсуждение

На момент последнего обследования этих посадок (2013 г.) их биологический возраст составлял 67 лет, календарный – 65 лет. По своему развитию культуры в этом возрасте находились на завершающем этапе фазы формирования стволов. Эта фаза характеризуется завершением отпада (особенно сильного в перегушенных насаждениях) и дальнейшим интенсивным накоплением стволового запаса. Ее завершение совпадает с ослаблением роста в высоту, сильным очищением ствола от сучьев. Завершение фазы формирования стволов совпадает с окончанием этапа рекапитуляции согласно значению жизненного потенциала по высоте [10]. Таксационные характеристики исследуемых провениенций заметно различались. Несмотря на северное происхождение (расстояние от исследуемых географических культур составило более 700 км на север) насаждение, выращенное из семян вельского климатипа, превосходило по средней высоте подмосковный и владимирский климатипы, значительно опережая их по среднему диаметру. В результате объем ствола среднего дерева был максимальным у архангельского климатипа и составлял $0,868 \text{ м}^3$ (табл. 1). При этом расчетное видовое число среднего дерева архангельской провениенции было несколько меньше, что косвенно указывает на возможность большего сбегства ствола. Однако четкой зависимости между коэффициентом формы ствола и соотношением высоты и диаметра дерева нет. По одному этому соотношению невозможно достоверно судить о полндревесности деревьев [2].

Таблица 1

Таксационная характеристика растущей части древостоев сопоставляемых провенциций в 65-летнем возрасте

Климатип	Средние					Верхняя высота, м	Класс бонитета	Число деревьев, шт./га	Сумма площадей сечений, м ² /га	Запас стволовой древесины, м ³ /га	Сохранность, %
	высота, м	диаметр, см	высота нижнего живого сучка, м	объем ствола, м ³	видовое число						
Архангельский	27,7	29,4	20,6	0,868	0,460	29,5	Ia	670	46,4	593	15,7
Подмосковный	26,1	25,7	18,1	0,631	0,465	27,9	Ia	938	48,7	592	23,5
Владимирский	27,2	24,8	19,8	0,613	0,466	30,0	Ia	1078	52,3	662	16,2

Архангельский климатип в распределении деревьев по диаметру демонстрирует (рис. 1) заметное смещение в сторону преобладания крупных деревьев, тогда как владимирский – отставание в росте. Московская провенциция занимает промежуточное положение.

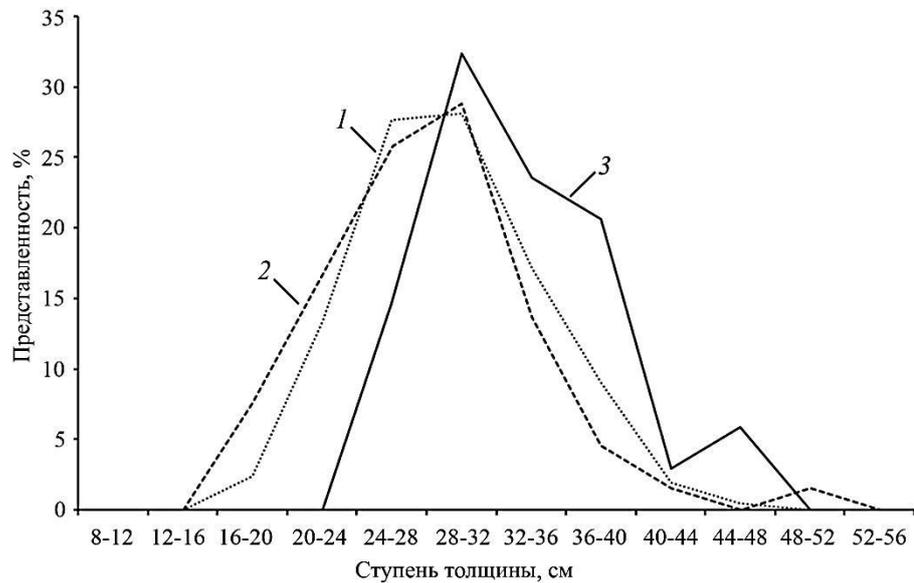


Рис. 1. Распределение деревьев подмосковного (1), владимирского (2) и архангельского (3) климатипов по ступеням толщины

Относительно небольшие положительные значения показателя асимметрии указывают на незначительное левостороннее смещение кривых распределения (табл. 2). При этом для всех трех выборок показатели асимметрии и эксцесса превышают собственную ошибку менее, чем в 3 раза, абсолютные значения эксцесса меньше 2, что позволяет сделать вывод о нормальности распределения. На это же указывает и критерий Шапиро–Уилка, фактические значения которого для каждой из выборок превышают табличные. Таким образом, исследуемые выборки имеют нормальное распределение и пригодны для сравнения.

При сравнении рядов диаметров архангельской и подмосковной провениенций критерий Стьюдента (t) равен 4,0, архангельской и владимирской – 4,1. Число степеней свободы (df) в первом случае равно 242, во втором – 98. Табличные значения t (при уровне значимости $p = 0,001$) равны соответственно 3,330 и 3,390, т. е. $t_{эмп} > t_{табл}$. Таким образом, на уровне значимости 0,001 архангельская провениенция достоверно отличается по диаметрам от подмосковной и владимирской.

Таблица 2

**Статистические показатели распределения растущей части
исследуемых провениенций по диаметрам**

Показатель	Значение показателя для провениенции		
	архангельской	подмосковной	владимирской
Диаметр, см:			
средний	29,4	25,7	24,8
минимальный	21,3	14,3	13,7
максимальный	41,4	40,7	44,9
Ошибка среднего диаметра	0,90	0,35	0,71
Стандартное отклонение	5,23	5,14	5,77
Коэффициент вариации	55,8	20,0	23,2
Асимметрия (A_D)	0,71	0,36	0,77
Ошибка асимметрии (m_A)	0,39	0,17	0,29
A_D/m_A	1,83	2,13	2,66
Эксцесс (E_D)	0,01	-0,15	1,47
Ошибка эксцесса (m_E)	0,71	0,33	0,56
E_D/m_E	0,01	-0,45	2,65
Критерий Шапиро–Уилка:			
фактический	0,94	0,99	0,96
табличный	0,06	0,07	0,05

В насаждении архангельского происхождения характер зависимости высот деревьев от их диаметров заметно отличается от контрольных. Кривая высот здесь более пологая, при этом деревья меньших диаметров имеют большие, чем у подмосковной и владимирской провениенций, высоты. Однако при больших диаметрах архангельский климатип уступает владимирскому, опережая при этом подмосковный. Графики высот подмосковного и владимирского климатипов практически идентичны по форме, хотя и различаются по абсолютной величине (рис. 2).

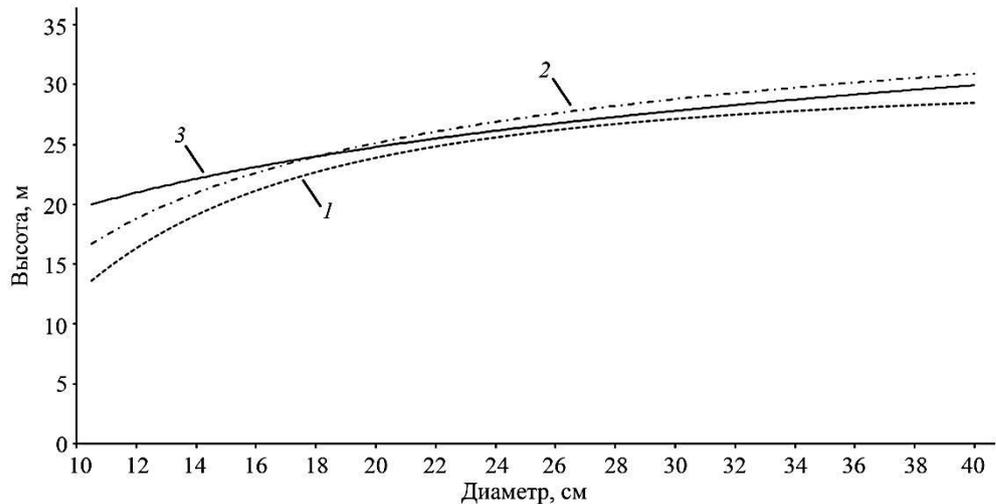


Рис. 2. Зависимость высоты от диаметров деревьев подмосковного (1), владимирского (2) и архангельского (3) климатипов

Такой показатель, как средняя высота, отражает текущее состояние. Для оценки перспективной динамики роста и производительности древостоев более применима верхняя высота, рассчитываемая для некоторой части наиболее крупных деревьев, поскольку в отпад поступают, прежде всего, отстающие в росте деревья. Для отражения биологического потенциала популяции оптимальным является исследование средней высоты 100 самых крупных деревьев на 1 га [14]. Рассчитанная таким образом верхняя высота деревьев у архангельского климатипа составила 29,5 м; у подмосковного – 27,9 м; у владимирского – 30,0 м. Таким образом, по мере увеличения возраста насаждений и отпада отстающих в росте деревьев разница средних высот архангельского и подмосковного климатипов будет не существенной. При этом различие средних высот архангельского и владимирского климатипов, вероятнее всего, будет увеличиваться.

Одним из комплексных показателей состояния (как отдельного дерева, так и насаждения в целом) является относительная высота (H/D – отношение высоты дерева к диаметру на высоте 1,3 м). Она является индикатором борьбы деревьев за жизненное пространство и, прежде всего, за такой важный экологический фактор, как свет [5]. Высокие значения относительной высоты соответствуют состоянию крайнего угнетения, за которым обычно наступает гибель дерева. В сосновых насаждениях относительная высота находится в диапазоне 90...115. Бóльшее значение относительной высоты указывает на ненормальное соотношение высоты и диаметра дерева. Визуально это воспринимается как вытягивание ствола в высоту, что особенно четко проявляется у отстающих в росте деревьев низших классов Крафта.

Анализ зависимости относительных высот от диаметров деревьев показал, что наиболее интенсивные конкурентные отношения характерны для владимирского климатипа (рис. 3). В первую очередь это отражает наибольшую густоту данного насаждения. В архангельском климатипе высокое значение H/D , соответствующее по величине таковому в подмосковном и владимирском климатипах, характерно для отстающих в росте деревьев, диаметр которых не превышает 22...24 см. Доля деревьев большого диаметра в архангельской провениенции приближается к владимирскому климатипу.

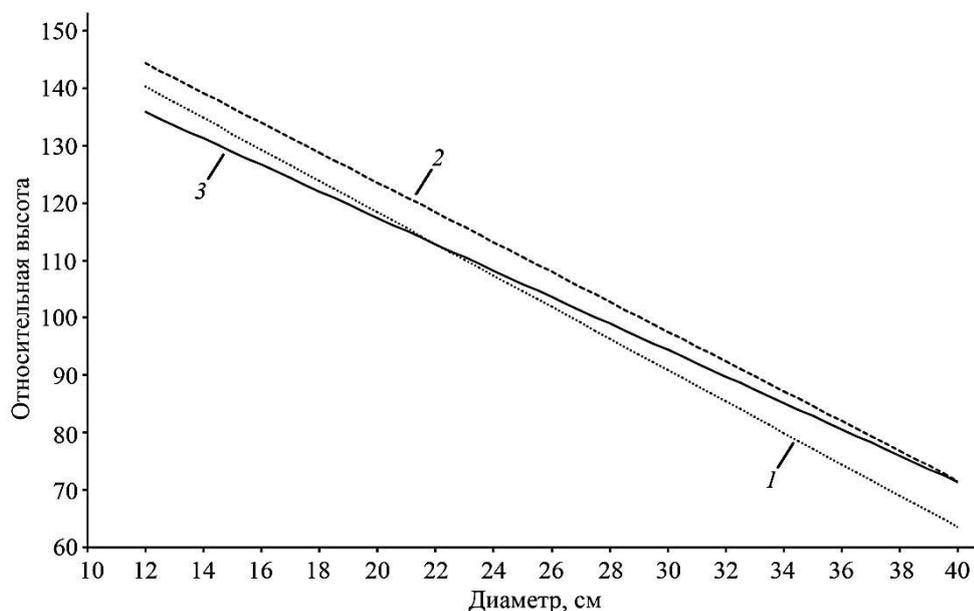


Рис. 3. Зависимость относительной высоты от диаметра деревьев подмосковного (1), владимирского (2) и архангельского (3) климатипов

Сравнительно невысокая интенсивность конкурентных отношений между деревьями в архангельском климатипе проявляется в их распределении по классам Крафта. В архангельской провениенции преобладают деревья II класса, в подмосковной – III и IV, во владимирской – IV и V классов (рис. 4).

По доле усохших деревьев архангельская провениенция занимает промежуточное положение (78 шт./га, запас – 24 м³/га), в подмосковной и владимирской провениенциях количество сухостоя составило соответственно 54 и 98 шт./га, его запас – 26 и 20 м³/га. При этом наименьшая сохранность древостоя по отношению к первоначально высаженному количеству деревьев была в архангельском климатипе (см. табл. 1).

Относительно низкая сохранность древостоя и невысокая интенсивность конкурентных отношений между деревьями в 65-летнем возрасте, а также

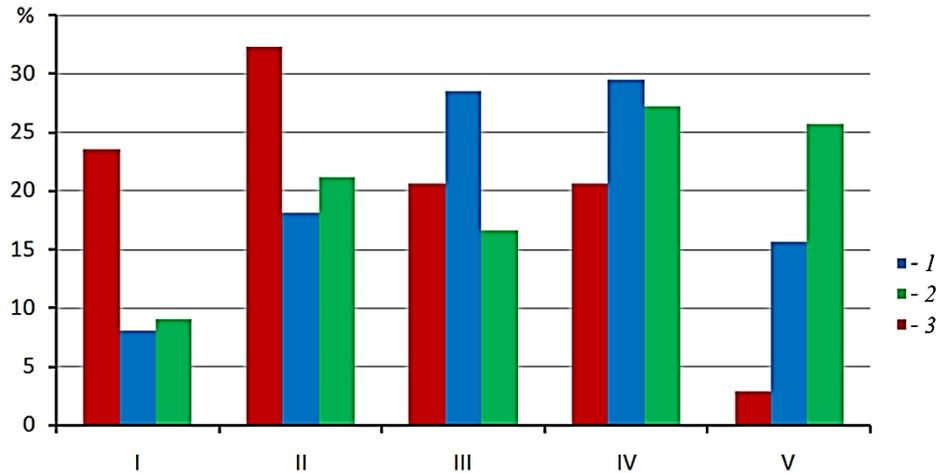


Рис. 4. Распределение по классам Крафта деревьев подмосковного (1), владимирского (2) и архангельского (3) климатипов

лидирующих деревьев указывают на то, что естественное изреживание в архангельском климатипе произошло раньше и было более интенсивным, чем в контрольных насаждениях местного происхождения. При этом большая высота деревьев при относительно большом диаметре, вероятнее всего, обусловлена длительным периодом роста деревьев в более благоприятных условиях менее густого древостоя. Запас растущей части древостоя в архангельской провинции на момент проведения исследований не уступает таковому в насаждении подмосковного климатипа (см. табл. 1). Следовательно, оставшиеся после естественного изреживания деревья адаптировались к климатическим условиям района исследований.

При изучении географической изменчивости основных лесобразующих пород на такие особенности роста у географически удаленных от объекта исследований климатипов не обращают должного внимания и часто в итоговых рекомендациях предпочтение отдается местным или близлежащим популяциям. Эта аномалия у архангельского климатипа объясняется наличием зоны повышенного конвективного теплового потока Земли в районе сбора семян сосны [1]. Там благоприятные условия роста естественных древостоев оказались закрепленными на генетическом уровне. Это предположение подтверждается и на объекте географических культур ели, созданных на Клинско-Дмитровской гряде в Московской области, где архангельский климатип из Вельского лесхоза входит в пятерку лучших и демонстрирует отличные результаты роста и производительности [9]. На других объектах географических культур сосны обыкновенной архангельский климатип продемонстрировал высокую устойчивость к корневой губке, в то время как местный экотип характеризовался средней устойчивостью к этому заболеванию [13]. Что касается качества

ствола, то в средней подзоне тайги наиболее ценную бессучковую древесину дает сосна, произрастающая в центральной и южной частях Архангельской области. В этих районах длина ствола, очищенного от сучьев, составляет более половины (54 %) его общей протяженности, превышая данный показатель для древостоев из северной подзоны на 49 % [6]. На объекте наших исследований архангельский климатип сосны также показал хорошую очищаемость ствола от сучьев. Подобная закономерность роста и продуктивности установлена на объекте географических культур сосны, созданных в Плесецком лесхозе Архангельской области, где климатип из средней подзоны тайги лидировал по всем таксационным характеристикам и опережал северотаежный [11].

Заключение

65-летний опыт выращивания географических культур сосны обыкновенной в Серебряноборском опытном лесничестве показал, что архангельский климатип вельского происхождения сосны обыкновенной значительно отличается по характеру роста в условиях Московской области по сравнению с местными провениенциями: он не уступает им по запасу стволовой древесины, но заметно отличается от них соотношением высот и диаметров деревьев. Естественное изреживание в архангельском климатипе вельского происхождения произошло раньше и было более интенсивным, чем в контрольных. Этим объясняется преобладание лидирующих деревьев в древостое, их большие высота и диаметр на момент проведения исследований, а также максимальный объем ствола среднего дерева. Хорошие таксационные характеристики, наряду с потенциально высоким качеством бессучковой древесины, ставят архангельский климатип вельского происхождения сосны обыкновенной в разряд перспективных для целевого лесовосстановления в условиях центра европейской части России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев В.В., Дровнина С.И., Левачёв А.В.* Влияние конвективного теплового потока Земли на условия роста лесных и сельскохозяйственных растений Архангельской области. Архангельск: Солти, 2007. 176 с.
2. *Загреев В.В.* Географические закономерности роста и продуктивности древостоев. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 240 с.
3. *Загреев В.В., Сухих В.И., Швиденко А.З., Гусев Н.Н., Мошкалев А.Г.* Общесоюзные нормативы для таксации лесов М.: Колос, 1992. 495 с.
4. Лесосеменное районирование основных лесобразующих пород в СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 368 с.
5. *Медведев Я.С.* К учению о влиянии света на развитие древесных стволов // Лесн. журн. 1884. Вып. 5 и 6. С. 326–373.
6. *Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корчагов С.А.* Качество древесины сосны в культурах. Архангельск: АГТУ, 2003. 110 с.
7. *Мелехов И.С.* О качестве северной сосны. Архангельск: Севгиз, 1932. 26 с.
8. *Мелехов И.С.* Лесоведение: учеб. для вузов. 2-е изд. М.: МГУЛ, 1999. 398 с.

9. Мельник П.Г., Воронин Ф.Н., Мерзленко М.Д. Географическая изменчивость экотипов ели в фазе чащи // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2013. № 6 (98). С. 148–153.

10. Мерзленко М.Д. Лесокультурное дело: учеб. пособие для студентов. М.: МГУЛ, 2009. 124 с.

11. Наквасина Е.Н., Бедрицкая Т.В., Гвоздохина О.А. Селекционная оценка климатипов сосны обыкновенной в географических культурах Архангельской области // Лесн. журн. 2001. № 3. С. 27–35. (Изв. высш. учеб. заведений).

12. ОСТ 56-69–83. Пробные площади лесоустойчивые. Методы закладки. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1983. 59 с.

13. Раптунович Е.С., Якимов Н.И. Устойчивость географических культур сосны обыкновенной к корневой губке // Проблемы лесной фитопатологии и микологии: тез. докл. 6-й Междунар. конф. М., 1997. С. 71–72.

14. Свалов Н.Н. Моделирование производительности и теория лесопользования. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 216 с.

15. Schultze U. Klimaänderung – neue Kriterien für Herkunftsempfehlungen. Beiträge zum Symp. “Klimaänderung in Österreich – Herausforderung an Forstgenetik und Waldbau”. Wien, 9 Nov., 1994. *FBVA-Berichte*, 1994. Bd. 81. Ss. 37–47.

Поступила 25.02.16

UDC 630*232.12

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.9

The Growth and Productive Capacity of the Arkhangelsk Climatype of Scots Pine in the Moscow Region

P.G. Mel'nik¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Yu.B. Glazunov², Candidate of Agricultural Sciences, Head of Laboratory

M.D. Merzlenko², Doctor of Agricultural Sciences, Professor

¹Moscow State Forest University, 1-ya Institutskaya ul., 1, Mytishchi-5, Moscow region, 141005, Russian Federation; e-mail: melnik_petr@bk.ru

²Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, Sovetskaya ul., 21, Uspenskoe, Moscow region, 143030, Russian Federation; e-mail: glazunov@ilan.ras.ru

In the study of the geographic variation of the main forest-forming species we do not pay enough attention to the anomalous features of growth of geographically remote climatypes from the object of research. The local or neighboring populations are in absolute preference in the regulations defining principles of forest regeneration. The studies are performed in the 65-year-old provenance trial plantations of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Serebryanoborsk experimental forestry of the Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences, located in the central part of the Moscow region. Despite the northern origin (the distance from the studied provenance trial plantations is more than 700 km to the north), the planting, grown from the seeds of the Velsk forestry, Arkhangelsk region,

For citation: Mel'nik P.G., Glazunov Yu.B., Merzlenko M.D. The Growth and Productive Capacity of the Arkhangelsk Climatype of Scots Pine in the Moscow Region. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1, pp. 9–20. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.9

surpasses the Moscow and Vladimir climatypes by the average height, and significantly is ahead of their average diameter. The distribution of trees according to a diameter in the test stands is close to normal. In the Arkhangelsk climatype a shift toward the predominance of large trees is noticeable, while in the Vladimir climatype it is toward stunted trees. A Moscow provenance occupies an intermediate position. The most intense competitive relations are characteristic for the Vladimir climatype according to the dependence of the relative heights of tree diameters. This primarily reflects the highest density of the plantings. In the Arkhangelsk climatype a high value of the ratio of the tree height to its diameter, corresponding in magnitude to that in the Moscow and Vladimir climatypes, is characteristic for stunted trees whose diameter is less than 22...24 cm. The relatively low safety of the stand and the low intensity of the competitive relations between the 65-year-old trees, the prevalence of leading trees in the stand indicate that the natural thinning in the Arkhangelsk climatype occurred earlier and was more intense than in the control stands of local origin. A large tree height with a relatively large diameter is based on the long period of growth in more favorable conditions of the less dense stand. The growing stock in the Arkhangelsk provenance at the time of the research is not behind the plantation of the Moscow region climatype. Consequently, trees, remaining after thinning, adapted to the climatic conditions of the study area. Based on the growth characteristics of the Arkhangelsk climatype of pine from the Velsk district, Arkhangelsk region, we have concluded of its suitability for cultivation in the Moscow region.

Keywords: Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), provenance trial, climatype, provenance, stand growth and condition.

REFERENCES

1. Belyaev V.V., Drovnina S.I., Levachev A.V. *Vliyaniye konvektivnogo teplovogo potoka Zemli na usloviya rosta lesnykh i sel'skokhozyaystvennykh rasteniy Arkhangel'skoy oblasti* [The Effect of Convective Heat Flow of the Earth on the Growth Conditions of Forest and Agricultural Plants in the Arkhangelsk Region]. Arkhangelsk, 2007. 176 p.
2. Zagreev V.V. *Geograficheskie zakonomernosti rosta i produktivnosti drevostoev* [Geographic Patterns of Growth and Productivity of Forest Stands]. Moscow, 1978. 240 p.
3. Zagreev V.V., Sukhikh V.I., Shvidenko A.Z., Gusev N.N., Moshkalev A.G. *Obshchesoyuznye normativy dlya taksatsii lesov* [All-Union Standards for the Forest Inventory]. Moscow, 1992. 495 p.
4. *Lesosemennoe rayonirovaniye osnovnykh lesobrazuyushchikh porod v SSSR* [Seed Zoning of the Basic Forest-Forming Species in the USSR]. Moscow, 1982. 368 p.
5. Medvedev Ya.S. K ucheniyu o vliyaniy sveta na razvitiye drevesnykh stvolov [On the Doctrine of the Influence of Light on the Development of Tree Stems]. *Lesnoy zhurnal*, 1884, no. 5-6, pp. 326–373.
6. Melekhov V.I., Babich N.A., Korchagov S.A. *Kachestvo drevesiny sosny v kul'turakh* [Quality of Pine Wood in Cultures]. Arkhangelsk, 2003. 110 p.
7. Melekhov I.S. *O kachestve severnoy sosny* [On the Quality of the Northern Pine]. Arkhangelsk, 1932. 26 p.
8. Melekhov I.S. *Lesovedeniye: uchebnyk dlya vuzov* [Silviculture]. Moscow, 1999. 398 p.

9. Mel'nik P.G., Voronin F.N., Merzlenko M.D. Geograficheskaya izmenchivost' ekotipov eli v faze chashchi [Geographic Variability of the Spruce Ecotypes in the Thicket Phase]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2013, no. 6(98), pp. 148–153.

10. Merzlenko M.D. *Lesokul'turnoe delo: ucheb. posobie dlya studentov* [Silvicultural Business]. Moscow, 2009. 124 p.

11. Nakvasina E.N., Bedritskaya T.V., Gvozdukhina O.A. Seleksionnaya otsenka klimatipov sosny obyknovnoy v geograficheskikh kul'turakh Arkhangel'skoy oblasti [Selection Estimation of Climates of Scots Pine in the Provenance Trial Plantations of the Arkhangelsk Region]. *Lesnoy zhurnal*, 2001, no. 3, pp. 27–35.

12. *OST 56-69–83. Probnye ploshchadi lesoustroitel'nye. Metody zakladki* [Industrial Standard 56-69–83. Sampling Areas of Forest Inventory. The Plantation Establishment Principles]. Moscow, 1983. 59 p.

13. Raptunovich E.S., Yakimov N.I. Ustoychivost' geograficheskikh kul'tur sosny obyknovnoy k kornevoy gubke [Stability of Provenance Trial Plantations of Scots Pine in Root Fungus]. *Problemy lesnoy fitopatologii i mikologii: tez. dokl. 6-y Mezhdunar. konf.* [Problems of Forest Phytopathology and Mycology: Proc. 6th Intern. Conf.]. Moscow, 1997, pp. 71–72.

14. Svalov N.N. *Modelirovanie proizvoditel'nosti i teoriya lesopol'zovaniya* [Simulation of Performance and the Forest Management Theory]. Moscow, 1979. 216 p.

15. Schultze U. Klimaänderung – neue Kriterien für Herkunftsempfehlungen. Beiträge zum Symp. “Klimaänderung in Österreich – Herausforderung an Forstgenetik und Waldbau”. Wien, 9 Nov., 1994. *FBVA-Berichte*, 1994. Bd. 81. Ss. 37–47.

Received on February 25, 2016

УДК 630*284.2:630*385.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.21

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СМОЛОПРОДУКТИВНОСТИ ОСУШАЕМЫХ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ

А.С. Новосёлов¹, канд. с.-х. наук, доц.

Н.А. Дружинин², д-р с.-х. наук, проф.

¹Вологодский государственный технический университет, ул. Ленина, д. 15,
г. Вологда, Россия, 160000; e-mail: tolyannow@mail.ru

²Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина,
ул. Панкратова, д. 9а, корп. 7, с. Молочное, г. Вологда, Россия, 160555;
e-mail: drujinin@mail.ru

В Сокольском районе Вологодской области по результатам исследований за 2009–2013 гг. проведена опытная подсочка закрытого типа в сосняках на территории гидролесомелиоративных стационаров. Опытные сосняки представлены древостоями, только претерпевшими трансформацию после осушения, а также после осушения и несплошной рубки (проходные рубки ухода); торфяная залежь – переходным типом заболачивания; сосняки принадлежат к осоково-сфагновой группе. В древесном ярусе доминирующей остается сосна. Долевое участие березы и ели до рубки не достигало 10 %. Основное внимание было уделено апробации экспресс-метода микроранений, который использовался для ускоренной подсочки закрытого типа. Предложена формула для перерасчета полученных результатов на существующую в России методику установления сосновой смолопродуктивности. В ходе работ были решены следующие задачи исследования: разработать и скорректировать экспресс-метод микроранений для оценки смолопродуктивности сосняков; выявить стабильно-значимый временной период в течение летнего интервала вегетации для осушаемого сосняка, когда смолопродуктивность будет самой максимальной; определить различия в выделении соснового терпентина на разных категориях объектов (приканальная и межканальная осушаемые лесополосы; осушение и осушение + несплошная рубка); установить минимальный временной период исследования смолопродуктивности для получения достоверных результатов. По результатам проведенных исследований установлено, что экспресс-метод микроранений за максимально короткий промежуток времени позволяет получать надежные данные о смолопродуктивности осушаемых сосняков, которая может служить в качестве общего показателя жизненного состояния деревьев сосны. Пятилетний период наблюдения за осушаемыми сосняками позволил сделать следующие выводы: в июне смолопродуктивность на 21 % выше, чем в среднем за весь летний период; в приканальной осушаемой области выход терпентина на 10 % интенсивнее, чем на межканальном пространстве; проходная рубка ухода влияет положительно – смолопродуктивность увеличивается на 42 % по сравнению с сосняком, претерпевшим только осушение. Трехлетние наблюдения за осушаемыми сосновыми древостоями могут дать наиболее надежные результаты при установлении их смолопродуктивности.

Ключевые слова: подсочка сосны, сосновая живица (терпентин), гидролесомелиорация, несплошная рубка, смолопродуктивность, сосновый древостой.

Для цитирования: Новосёлов А.С., Дружинин Н.А. Сезонная динамика смолопродуктивности осушаемых сосновых древостоев // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 21–29. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.21

Введение

Сосновый терпентин (живица, или смола) продолжает оставаться незаменимым натуральным компонентом во многих отраслях народного хозяйства (в химической промышленности, медицине, сельском хозяйстве и др.) [5, 10]. Актуальность выбранного направления исследований диктуется необходимостью выявить тот максимально короткий период времени, в течение которого можно было бы установить смолопродуктивность осушаемых сосняков. В настоящее время, когда массовая заготовка соснового терпентина в России практически отсутствует, следует обратить внимание и на другую сторону этого вопроса – изучение смолопродуктивности как надежного индикатора жизненного состояния сосновых деревьев в любой промежуток времени их естественной вегетации.

Если заготовка терпентина в нашей стране будет возобновлена, то подсочные работы будут наиболее востребованы на объектах гидротехнической мелиорации, где сохранены сосняки с породным участием сосны от 60 % по сырораствующему запасу. По последним данным инвентаризации осушаемых сосняков в Вологодской области вполне пригодными для подсочки считаются 23 970 га (с относительной полнотой 0,6 и средним таксационным диаметром сосновых деревьев 20 см и более).

Цель исследований – в течение 5-летнего срока проведения эксперимента на гидролесомелиоративном стационаре Сокольского района Вологодской области выявить смолопродуктивность осушаемых, а также осушаемых и пройденных несплошной рубкой древостоев.

Для этого были сформулированы следующие задачи:

разработать и скорректировать экспресс-метод микроранений (ЭММ) для оценки смолопродуктивности сосняков;

выявить стабильно-значимый временной период в течение летнего интервала вегетации, когда смолопродуктивность осушаемого сосняка будет максимальной;

определить различия в выделении соснового терпентина на разных категориях объектов (приканальная (ПК) и межканальная (МК) осушаемая лесополоса; осушение и осушение + несплошная рубка);

установить минимальный временной период исследования смолопродуктивности для получения достоверных результатов.

Объекты и методы исследований

Стационар «Разрыв» (Сокольский район Вологодской области) включает комплекс лесохозяйственных мероприятий с набором вариантов проходных, добровольно-выборочных и сплошных рубок в осоково-сфагновой группе осушаемых сосняков. Стационар был заложен работниками Вологодской региональной лаборатории Архангельского института леса и лесохимии (ныне Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства) с 1984 г. по 1987 г. при мощности торфяной залежи 0,3...1,4 м. Флористический состав живого напочвенного покрова после осушения достаточно трансформирован

Таблица 1

Таксационные показатели опытных объектов

ПП	Шифр типа леса, местоположение	Состав древостоя	Класс бонитета	Возраст, лет	Высота, см	Диаметр, см, на высоте 1,3 м	Густота, шт./га	Полнота		Запас*, м ³ /га	
								абсолютная, м ³ /га	относительная	сыро-растущий	сухой
2	С.чер.-зм. ос., МК	10С, ед. Б	III	116	23,7	22,5	760	38,8	1,2	421	16
3	С.чер.-зм. ос., ПК	10С+Е, ед. Б	III	120	23,7	23,8	727	34,2	0,9	354	4
8	С.бр.-зм. ос., МК	10С, ед. Е	IV	118	21,0	19,7	1375	40,3	1,1	377	7
9	С.бр.-зм. ос., ПК	10С, ед. Б	III	106	21,0	18,5	1281	33,7	0,9	338	33

*По осене.

и насчитывает около 40 видов растений и кустарничков (вейник, мятлик, кипрей, грушанка, щитовник, хвощ, брусника, черника и др.). Степень покрытия мохового покрова не превышает 50...60 %, снижаясь по мере уменьшения мощности торфяной залежи.

В древесном ярусе доминирующей остается сосна. Долевое участие березы и ели до рубки не достигает 10 %. В подросте располагается преимущественно ель с одиночными экземплярами сосны, в подлеске – можжевельник и рябина, в наибольшей степени распространена крушина. Пробные площади (ПП) были отграничены в осушаемых условиях (ПП 8 и 9) и в условиях лесосушения, и проведенных в конце 80-х гг. XX в. проходных рубок ухода (ПП 2 и 3). Таксационная характеристика ПП приведена в табл. 1.

В ходе полевых работ соблюдалась единая методика исследования. Таксационные параметры опытных сосняков определялись по общепризнанной в лесоводственной практике методике с использованием регионального справочника [4]. Порядок проведения оценки смолопродуктивности сосновых древостоев, с учетом рекомендаций А.А. Высоцкого [2] и Н.З. Ворончихина [1], сводился к следующему: отбор деревьев для опыта (не менее 30 экз. на одной ПП), подрумянивание небольшого участка ствола (удаление грубой корки) на высоте груди и установка поливинилхлоридной (ПВХ) трубки на 1...2 дн. Отбор деревьев включал в себя внешний осмотр на предмет явного ослабления их жизненного состояния. Подрумянивание проводилось для чистоты эксперимента (так как корка у молодых и уже спелых или перестойных деревьев имеет разную толщину), а также для удобства маркировки опытных деревьев на ПП.

При установке трубки ПВХ в высверленное отверстие (см. рисунок) диаметром 5 мм на первых 5 (7) мм его глубины внутрь загибаются древесные волокна («языки»), образующиеся при сверлении. Таким образом, первые годичные кольца при установке трубки неминуемо перекрываются, поэтому (и не только) глубина отверстия была увеличена до 15 мм.

Средняя длина трубки (при среднем диаметре деревьев от 20 см) составляла не менее 1 м. Трубки опутывали ствол с возвышением на 45° относительно горизонта. Их устанавливали на 1 сут в середине каждого летнего месяца с 2009 г. по 2013 г. Одновременно с установкой трубок транзисторным термометром для торфяных почв фиксировали температуры воздуха в этом месте и торфяной почвы на глубине 0, 10 и 20 см.



Рис. 1. Схема установки трубок ПВХ для оценки смолопродуктивности

Смолопродуктивность, согласно действующему по настоящее время ОСТ 13-80-79 [6], оценивали по выходу живицы с одного технологического реза (подновки) при ширине карры в 1 дм (карродециметрподновка (КДП)). Для этой цели нами была разработана формула перерасчета, а также поправки к ней во время апробации ЭММ.

Расчетный выход сосновой живицы с КДП – это комплексный показатель, с большой достоверностью указывающий не только на тенденции смолопродуктивности, но и характеризующий общую продуктивность древостоя:

$$\text{КДП}_{\text{расч}} = \left(L_{\text{потёка}} + \left(\frac{P}{100} L_{\text{потёка}} \right) \right) m_1 \left(\frac{d_{1,3} M}{T_{10} S} \right) Z_M, \quad (1)$$

где $L_{\text{потёка}}$ – среднеарифметическая длина потёка живицы (при установке на одно дерево трех трубок), см;

P – поправочный суточный коэффициент, $P = 14,22$ – если трубки устанавливались на 24 ч, $P = -1,69$ – на 48 ч;

m_1 – средняя масса живицы в трубке длиной 1 см, $m_1 = 0,07$ г;

$d_{1,3}$ – таксационный диаметр импактного дерева, см;

M – общий запас насаждения, м³/га;

- T_{10} – температура торфяной почвы на глубине 10 см в момент установки трубки, °С;
 S – среднестатистический сравнительный коэффициент, для осушаемых древостоев сосны $S = 1959,75$;
 Z_M – коэффициент запаса (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты запаса

Общий запас соснового древостоя, м ³ /га	Коэффициент запаса
151...200	10,00
201...250	8,30
251...300	6,65
301...350	5,00
351 и более	3,35

Расхождения между фактической массой живицы с КДП и ее средним расчетным выходом ($KДП_{расч}$) с применением дополнительного коэффициента запаса варьируют в пределах 10 %.

Результаты и обсуждения

В течение периода исследования на осушаемых лесных объектах регулирующая канальная сеть находилась в исправном рабочем состоянии, норма осушения (30 см до дневной поверхности) была достигнута. Колебания ниже этой отметки для смолопродуктивности сосны незначительны [3, 9].

Опираясь на полученные данные (табл. 3), нужно отметить, что 2012-2013 гг. для сосняков (в целом для исследованных объектов) были малопродуктивны. Смолопродуктивность колебалась на низкой отметке.

Отчетливо просматривается позитивное влияние на выделение живицы разреживания древостоя, которое было выполнено рубками ухода. Средняя смолопродуктивность в этих древостоях на 30 % выше, чем в только осушаемых сосняках. Практически во все годы проведения опытов подтверждается общепризнанное явление более интенсивного эффекта от мелиорации на ПК областях, где смолопродуктивность оценивалась средней категорией.

Не подтвердилось распространенное положение о том, что смолывыделение у сосны интенсивнее идет в августе [7, 8, 10]. В немногих случаях деревья выделили живицы в августе больше, чем в июле, были единичные случаи, когда в августе выход живицы был больше, чем в июне. Если рассматривать данные за 5 лет в целом, то выход живицы в июне оказался на 8 % больше во всех случаях. На объекте «осушение + рубка» в 2009-2010 гг. смолопродуктивность была установлена как высокая, бóльший выход зафиксирован в июле, что может свидетельствовать о менее сильном влиянии подпочвенного микроклимата, чем в только осушаемых сосновых древостоях.

Таблица 3

Средняя смолопродуктивность (г/КДП) сосняков на торфяных почвах после техногенного воздействия (с 2009 г. по 2013 г.)

Год наблюдений	Месяц наблюдений	Положение относительно мелиоративных каналов		Техногенное воздействие	
		МК	ПК	Только осушение	Осушение + проходная рубка ухода (1983 г.)
2009	Июнь	8,0±0,77	8,8±0,68	7,0±0,62	9,9±0,83
	Июль	8,4±0,72	8,4±0,86	6,5±0,66	10,3±0,92
	Август	6,7±1,25	7,4±0,76	6,2±0,72	7,9±1,29
2010	Июнь	5,5±0,71	6,5±0,80	5,7±0,76	6,4±0,76
	Июль	6,0±0,53	7,1±0,77	5,4±0,66	7,7±0,64
	Август	2,7±0,43	3,1±0,43	3,1±0,54	2,7±0,32
2011	Июнь	8,0±1,26	10,1±1,23	4,6±0,83	8,4±1,05
	Июль	3,6±0,47	9,6±1,28	3,6±0,54	4,9±0,57
	Август	2,5±0,32	6,1±0,74	2,4±0,36	3,2±0,33
2012	Июнь	5,3±0,62	5,3±0,67	5,2±0,74	5,4±0,55
	Июль	4,5±0,75	4,4±0,75	4,2±0,76	4,7±0,74
	Август	2,1±0,31	4,1±0,65	3,0±0,52	3,1±0,44
2013	Июнь	4,0±0,48	4,0±0,46	1,9±0,27	5,1±0,53
	Июль	4,6±0,53	4,1±0,44	2,0±0,30	5,7±0,52
	Август	4,2±0,57	3,9±0,52	2,4±0,36	4,5±0,55
В среднем за 5 лет	Июнь	6,2±0,77	6,9±0,77	4,9±0,64	7,0±0,74
	Июль	5,4±0,60	6,7±0,82	4,3±0,58	6,6±0,68
	Август	3,6±0,57	4,9±0,62	3,4±0,50	4,3±0,58
<i>Итого за сезон</i>		5,1±0,65	6,2±0,73	4,2±0,57	6,0±0,67

Примечание. Смолопродуктивность приведена с ошибкой определения; жирным шрифтом выделены максимумы по годам и в целом за 5 лет.

Обработав полученные результаты с использованием методов вариационной статистики, можно резюмировать положительное влияние проведенной в 1983 г. рубки ухода, так как в этих сосняках изменчивость признака значительно ниже (59,9 %), чем в только осушаемых сосновых древостоях (77,6 %). В приканальной части осушаемой лесополосы изменчивость в среднем выше (77,5 %), чем в межканальной (67,1 %), что может быть объяснено более выраженной вблизи каналов индивидуальной генетической внутривидовой изменчивостью сосен. Однако на объектах лесосушения она продолжает быть высокой. Эта же тенденция относится и к показателю «точность опыта». Этот критерий (за 5 лет) в редких случаях переходит 15-процентный барьер.

Таким образом, нужно отметить, что одного года наблюдений для установления категории смолопродуктивности будет не достаточно. Результаты будут во многих случаях занижены. В ходе исследования нами установлено, что при сопоставлении результата опытной подсочки за 1 год со средним значением за 5 лет расхождение составляло до 50 %. Усредненная смолопродуктивность за любые 2 года давала расхождение 25 %, за 3 – 12 %.

Выводы

Экспресс-метод микроранений за максимально короткий промежуток времени позволяет получать надежные результаты о смолопродуктивности осушаемых сосняков, которая может служить в качестве общего показателя жизненного состояния деревьев.

Результаты 5-летнего наблюдения за смолопродуктивностью осушаемых сосняков позволили сделать выводы о том, что в июне она на 21 % выше, чем в среднем за летний период. В приканальной осушаемой области выход терпентина на 10 % интенсивнее, чем на межканальной. Проходная рубка ухода повлияла положительно, что увеличило смолопродуктивность на 42 % по сравнению с только осушаемым сосняком.

Наблюдения за осушаемыми в течение 3 лет сосновыми древостоями могут дать наиболее надежные результаты на предмет установления их смолопродуктивности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворончихин Н.З., Корепанов А.А., Дружинин Н.А., Данилов М.А. Зависимость интенсивности смолывыделения сосны обыкновенной от уровня грунтовых вод // Гидролиз. и лесохим. пром-сть. 1981. № 3. С. 24–26.
2. Высоцкий А.А. Создание искусственных насаждений сосны обыкновенной повышенной смолопродуктивности: обзор. инф. М., 1983. 4 с.
3. Дружинин Н.А., Дружинин Ф.Н., Пестовский А.С., Новосёлов А.С. Прижизненное и побочное пользование осушаемых лесов Вологодской области / под общ. ред. А.С. Новосёлова. Вологда: ВГМХА, 2011. 192 с.
4. Лесотаксационный справочник для Северо-Востока европейской части СССР (нормативные материалы для Архангельской, Вологодской областей и Коми АССР). Архангельск, 1986. 358 с.
5. Новосёлов А.С. Влияние среднего диаметра ствола на смолопродуктивность сосновых древостоев на торфяных почвах после лесохозяйственных мероприятий // Лесн. журн. 2012. № 6(330). С. 37–43. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. ОСТ 13-80–79. Подсочка сосны. Термины и определения. Введ. 01.07.1980. М.: М-во лесн. и деревообаб. пром-сти СССР, 1979. 22 с.
7. Суханов В.И., Дружинин Н.А., Бобрецов П.Е. Влияние гидролесомелиорации на смолопродуктивность заболоченных сосновых насаждений // Материалы отчетной сессии по итогам НИР за 1977 г. Архангельск: АИЛиЛХ, 1984. С. 55–57.
8. Суханов В.И., Ярунов А.С., Петрик В.В., Федяев А.Л. Технологические и лесоводственные методы интенсификации подсочки сосновых насаждений. Архангельск: АИЛиЛХ, 1991. 32 с.
9. Федяев А.Л., Суханов В.И., Ярунов А.С., Петрик В.В. Эффективность подсочки осушенных сосняков Вологодской области // Повышение продуктивности лесов Европейского Севера. Архангельск, 1992. С. 191–198.
10. Фролов Ю.А. Лесоводственно-биологические и технологические основы подсочки сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). СПб.: СПбНИИЛХ, 2001. 448 с.

Поступила 30.09.15

UDC 630*284.2:630*385.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.21

Seasonal Resin Productivity Dynamics of Drained Pine Stands

A.S. Novoselov¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

N.A. Druzhinin², Doctor of Agricultural Sciences, Professor

¹Vologda State Technical University, ul. Lenina, 15, Vologda, 160000, Russian Federation; e-mail: tolyannow@mail.ru

²Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin, ul. Pankratova, 9a, bl. 7, Molochnoe, Vologda, 160555, Russian Federation; e-mail: drujinin@mail.ru

On the research results of 2009–2013 we conducted the closed experimental tapping in the pine forests in the forest hydromelioration stations of the Sokol district, Vologda region. The experimental pine forests were presented by the stands transformed after drainage and the pine stands after drainage and partial cutting (thinning); peat accumulation was presented by the transitional water-logging process; the pine forests belonged to the sedge-sphagnum group. Pine was dominant in a tree layer. The share of birch and spruce was less than 10 % before cutting. Our research was mainly dedicated to the approbation of the proximate method of micro wounding, used for closed rapid tapping. We offered the formula for the obtained results recalculation according to the Russian method of the resin productivity evaluation. The following research objectives were considered: to develop and adjust the proximate method of micro wounding for the resin productivity evaluation of pine stands; to define the stable and significant summer growth period of time for drained pine stands when the resin productivity is maximum; to identify the differences in pine resin exudation in different categories of objects (canalside and interchannel drained wood lines; drainage and drainage with thinning); to set the minimum research time period of the resin productivity to get the reliable results. The research results demonstrate that the proximate method of micro wounding for the shortest period of time allows us to get reliable data on the resin productivity of drained pine forests, which can serve as a general indicator of the living condition of pine trees. The 5-year observation period for drainable pine forests led to the following conclusions: the resin productivity in June is by 21 % higher than in average for the whole summer period; in the canalside drained area the turpentine yield is by 10 % more intense, than in the interchannel one; thinning affects positively as the resin productivity increases by 42 % comparing to the pine stand that was only drained. 3-year monitoring of drainable pine stands can give the most reliable results when establishing their resin productivity.

Keywords: tapping of pine, pine resin (turpentine), forest hydromelioration, partial cutting, resin productivity, pine forest stand.

For citation: Novoselov A.S., Druzhinin N.A. Seasonal Resin Productivity Dynamics of Drained Pine Stands. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1, pp. 21–29. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.21

REFERENCES

1. Voronchikhin N.Z., Korepanov A.A., Druzhinin N.A., Danilov M.A. Zavisimost' intensivnosti smolovydeleniya sosny obyknovennoy ot urovnya gruntovykh vod [Dependence of Resin Exudation Intensity of Scots Pine on the Groundwater Level]. *Gidroliznaya i lesokhimicheskaya promyshlennost'*, 1981, no. 3, pp. 24–26.
2. Vysotskiy A.A. *Sozдание iskusstvennykh nasazhdeniy sosny obyknovennoy povyshennoy smoloproduktivnosti* [Creating of Artificial Plantations of Scots Pine of Increased Resin Productivity]. Moscow, 1983. 4 p.
3. Druzhinin N.A., Druzhinin F.N., Pestovskiy A.S., Novoselov A.S. *Prizhiznennoe i pobochnoe pol'zovanie osushaemykh lesov Vologodskoy oblasti* [The Lifetime Use and Minor Forest Production of Drained Forests of the Vologda Region]. Ed. by A.S. Novoselov. Vologda, 2011. 192 p.
4. *Lesotaksatsionnyy spravochnik dlya Severo-Vostoka evropeyskoy chasti SSSR (normativnye materialy dlya Arkhangel'skoy, Vologodskoy oblastey i Komi ASSR)* [Forest Taxation Guide for the North-East of the European Part of the USSR (Standards for the Arkhangelsk and Vologda Regions and Komi ASSR)]. Arkhangelsk, 1986. 358 p.
5. Novoselov A.S. Vliyaniye srednego diametra stvola na smoloproduktivnost' sosnovykh drevostoev na torfyanykh pochvakh posle lesokhozyaystvennykh meropriyatiy [The Influence of the Average Diameter of a Stem on the Resin Productivity of Pine Stands in Peat Soils after the Forest Management Activities]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 6(330), pp. 37–43.
6. *OST 13-80–79. Podsochka sosny. Terminy i opredeleniya* [Industrial Standard 13-80–79. Tapping of Pine. Terms and Definitions]. Moscow, 1979. 22 p.
7. Sukhanov V.I., Druzhinin N.A., Bobretsov P.E. Vliyaniye gidrolesomelioratsii na smoloproduktivnost' zabolochennykh sosnovykh nasazhdeniy [The Influence of the Forest Hydromelioration on the Resin Productivity of the Waterlogged Pine Plantations]. *Materialy otchetnoy sessii po itogam NIR za 1977 g.* [Proc. Reporting Session on the Results of the Research and Development in 1977]. Arkhangelsk, 1984, pp. 55–57.
8. Sukhanov V.I., Yarusov A.S., Petrik V.V., Fedyaev A.L. *Tekhnologicheskie i lesovodstvennye metody intensivifikatsii podsochki sosnovykh nasazhdeniy* [Technological and Silvicultural Methods of Intensification of Tapping Pine Plantations]. Arkhangelsk, 1991. 32 p.
9. Fedyaev A.L., Sukhanov V.I., Yarusov A.S., Petrik V.V. Effektivnost' podsochki osushennykh sosnyakov Vologodskoy oblasti [Tapping Efficiency of Drained Pine Forests of the Vologda Region]. *Povysheniye produktivnosti lesov Evropeyskogo Severa* [Increasing the Forests Productivity of the European North]. Arkhangelsk, 1992, pp. 191–198.
10. Frolov Yu.A. *Lesovodstvenno-biologicheskie i tekhnologicheskie osnovy podsochki sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.)* [Silvicultural and Biological and Technological Bases of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Tapping]. Saint Petersburg, 2001. 448 p.

Received on September 30, 2015

УДК 630*2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.30

ВОЗОБНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КЛЕНА ТРАУТФЕТТЕРА В ГОРНЫХ ЛЕСАХ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ–АЛАНИЯ

Х.М. Хетагуров, канд. биол. наук, доц.

Горский государственный аграрный университет, ул. Кирова, д. 37, г. Владикавказ,
Республика Северная Осетия–Алания, Россия, 362040; e-mail: zaz81@inbox.ru

Клен Траутфеттера (клен высокогорный – *Acer Trautvetteri* Medv.) является лесообразующей породой в лесном фонде Северной Осетии. Произрастая в горах на высоте от 1100 до 2500 м над уровнем моря, он образует простые по строению древостои. На верхней границе своего распространения клен Траутфеттера формирует, как правило, чистые кленовики, на нижней – всегда смешанные. Объекты исследования – чистые и смешанные кленовики в нескольких урочищах Республики Северная Осетия–Алания. Объекты расположены в различных условиях горного рельефа и на разной высоте над уровнем моря. Целью настоящего исследования является оценка возобновительного потенциала высокогорных кленовников и успешности естественного возобновления клена Траутфеттера в различных условиях ареала распространения. Условно полоса произрастания кленовников нами разделена на три пояса: верхний – 1601 м над уровнем моря и более; средний – 1251... 1600 м над уровнем моря; нижний – 1250 м над уровнем моря и менее. Установлено, что возобновительный потенциал высокогорных кленовников реализуется путем как семенного, так и вегетативного размножения. Под пологом древостоя преобладает подрост порослевого происхождения. Подрост семенного происхождения встречается на открытых местах, на минерализованных участках. Численность такого подраста редко превышает 600 экз./га. Хотя подрост порослевого происхождения и преобладает, его отпад в несколько раз больше, чем у подраста семенного происхождения. Несмотря на большой запас семян (25,8...58,4 тыс. шт./га), естественное возобновление клена семенами под пологом материнского древостоя сильно затруднено из-за мощного травяного покрова, плотного слоя листового опада, массового повреждения семян энтомофауной и болезнями. Освещенность на поверхности почвы составляет 0,2...0,3 % от освещенности на открытом месте.

Ключевые слова: высокогорные кленовики, клен Траутфеттера, естественное возобновление, подрост, подлесок, травостой.

Введение

Способность к самовозобновлению проявляется у всех лесообразующих пород, однако далеко не все они обладают способностью к вегетативному

Для цитирования: Хетагуров Х.М. Возобновительный потенциал клена Траутфеттера в горных лесах Республики Северная Осетия–Алания // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 30–39. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.30

возобновлению [14]. Вегетативное возобновление возможно по нескольким вариантам. Один из вариантов самовозобновления клена – корневые отпрыски, которые формируются преимущественно из спящих, или покоящихся (превентивных) почек [1, 16]. Другой вариант вегетативного возобновления – поросль от пня, такая поросль появляется как из спящих (превентивных) почек, так и из придаточных (адвентивных) почек, которые образуются из камбия. Третий вариант вегетативного самовозобновления клена Траутфеттера – отводки. На крутых склонах чаще всего происходит укоренение ветвей.

Клен Траутфеттера – один из самых холодостойких видов кавказской дендрофлоры [6, 9, 11, 17]. Произрастая на высоте до 2500 м над уровнем моря (у. м.), он сохраняет способность к семенному возобновлению, причем его семена обладают уникальной способностью прорасти при температуре воздуха ниже 0 °С и даже на снегу (урочище Цей, 1900 м над у. м.; 11 мая 2004 г.) [10]. Это отмечает и А.А. Качалов [5, с. 147].

Объект и методика исследований

Объект исследования – высокогорные кленовики Северной Осетии. Опытные участки (пробные площади – ПП) расположены в различных условиях горного рельефа и на разной высоте (1100...1900 м над у. м.) (табл. 1).

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев на объектах исследования

Показатель	Значение показателя по урочищам		
	ПП 1 (Кобань, 1100 м над у. м.)	ПП 2 (Фетхуз, 1700 м над у. м.)	ПП 3* (Цей, 1900 м над у. м.)
Состав древостоя	6Кл2Олс1В1Яс	10Кл	8Кл1Олс1Р ед.С,Б
Абсолютная полнота, м ² /га	15,5	12,1	12,0
Сомкнутость крон, %	76	90	89
Средняя освещенность в 13.00, тыс. лк	1,2	1,6	1,5
Средний диаметр, см	26,0	24,0	14,3
Средняя высота, м	12,3	11,0	10,3
Количество стволов клена, экз./га	132	295	580
Запас, м ³ /га	103	68	70
Тип леса	Кленовник разнотравный	Кленовник щитовниковый	Кленовник ясенниковый
Тип лесорастительных условий	D ₂₋₃	D ₂	C ₂

*ПП 3 состоит из трех секций, в табл. 1 дана характеристика наиболее представительной секции; сведения по другим представлены далее, в табл. 2.

Определение таксационных показателей древостоев, изучение особенностей структуры фитоценозов осуществлялось на опытных объектах с длительным сроком наблюдений (с 2002 г.). В целом таксация древостоев проводилась по общепринятым методикам с учетом рекомендаций зарубежных исследователей [12–15]. После сплошного перечета по элементам леса и измерения высот запас древостоя определен по соответствующей таблице для твердолиственных пород. Состав яруса рассчитан по соотношению площадей сечений отдельных пород на высоте груди. Тип леса установлен по В.Н. Сукачеву [8], тип лесорастительных условий – по классификации П.С. Погребняка [7].

Сомкнутость полога определяли с помощью крономера КБ-2 (не менее 100 измерений на каждом объекте). Режим освещенности под пологом древостоев и на открытом месте оценивали с использованием современного люксметра ТКА-Люкс. Для выявления связи между освещенностью и сомкнутостью крон замеры проводили в одних и тех же точках.

Для измерения температуры воздуха и температуры почвы использовали электронный термометр ТЕ-113. Измерение температуры и освещенности синхронизировали.

При изучении подроста, подлеска и живого напочвенного покрова закладывали круговые учетные площадки по 10 м² в количестве не менее 30 шт., размещенных равномерно на ПП площади в соответствии с методикой А.В. Грязькина [2, 3].

Результаты и обсуждение

В зависимости от условий цветение клена Траутфеттера может происходить до появления листьев (нижний пояс распространения кленовников), может совпадать с началом распускания листьев (средний пояс), возможно и после распускания листьев (верхний пояс). По выделенным поясам различаются не только сроки цветения, но и обилие цветения, доля цветущих деревьев от их общего количества.

За длительный период наблюдений (с 2002 г.) средний балл плодоношения кленовников по шкале В.Г. Каппера чаще всего составлял 1-2. Только в годы обильного семеношения, которые в условиях Северного Кавказа повторяются через 6...9 лет, этот показатель поднимался до 4, в 2009 г. он составил 5 баллов в нескольких урочищах Северной Осетии. Однако даже в случае обильного урожая семена образуются не на всех деревьях. Деревья, расположенные на опушках, в прогалинах и «окнах», цветут и плодоносят чаще тех, которые произрастают в сомкнутых, высокополнотных древостоях. Доля плодоносящих деревьев зависит также от густоты и относительной полноты древостоя: чем меньше его полнота и густота, тем выше доля деревьев с семенами. Это отмечено в годы как с обычным, так и с обильным урожаем семян. Количество плодоносящих деревьев в древостое связано с сомкнутостью древесного полога. Эту тенденцию подтверждают данные табл. 2.

Таблица 2

**Доля деревьев с семенами в зависимости
от таксационных характеристик древостоя в урочище Цей (2013 г.)**

Показатель	Значение показателя на высоте, м над у. м.		
	1900	1960	1980
Состав древостоя	8Кл1Олс1Ред.Б	8Кл1Олс1Р ед.Б,С,Ива	7Кл1С1Б 1Олс ед.Р
Относительная полнота	0,7	0,7	0,6
Сомкнутость полога, %	89	83	78
Численность деревьев, экз./га	580	618	410
Доля деревьев с семенами, %	3,2	5,1	9,4

В «клонах», на верхней границе распространения кленовников, ситуация с плодоношением иная. Даже в годы самого слабого урожая в каждом клоне имеется хотя бы одно дерево с семенами, в годы обильного урожая семена образуются на большей части деревьев в клоне.

Семена созревают к концу августа–началу сентября. Сроки опадения семян растянуты. Одни семена попадают на почву до начала листопада, поэтому оказываются погребенными под опадом из листьев и травы и быстро теряют всхожесть, выпревают, повреждаются грибными заболеваниями и энтомофауной. Другие семена опадают вместе с листьями, третьи (самые легкие) могут держаться на деревьях до декабря и даже до весны.

Доля поврежденных семян зависит от погодных условий вегетационного периода, возраста плодоносящих деревьев, таксационных характеристик древостоев, лесорастительных условий, особенностей рельефа и множества других факторов. Результаты эксперимента по определению полевой (грунтовой) всхожести семян (урожай 2013 г.), проведенного синхронно в трех урочищах (Комарта, Уилса и Цей), свидетельствуют о том, что условия произрастания (УП) оказывают существенное влияние на показатели качества семян клена Траутфеттера (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние условий произрастания на всхожесть семян клена Траутфеттера
(посев 10-11 октября 2013 г.)**

Показатель	Значение показателя по урочищам для УП					
	Комарта	Уилса	Цей	Комарта	Уилса	Цей
	с подстилкой			без подстилки		
Общее количество семян на учетных площадках, шт.	180	180	180	180	180	180
Всходы, шт.	19	0	48	53	62	102
Отпад, %	89,4	100,0	73,3	70,5	65,6	43,3

Эксперименты по определению грунтовой всхожести семян показали, что за снежный период (начало опыта – октябрь, окончание – май) жизнеспособность семян в естественных условиях может снижаться до 0 % (урочище Уилса, вариант с лесной подстилкой и опадом). При этом на учетных площадках с удаленным верхним горизонтом почвы (опад и лесная подстилка удалены полностью) количество проросших семян составило 30...65 %. Примечательно то, что всхожесть семян в условиях верхнего пояса произрастания клена Траутфеттера (урочище Цей, высота примерно 1950 м над у. м.) оказалась заметно выше, чем в других условиях (высота 1100...1600 м над у. м.).

Установлено, что лабораторная всхожесть семян клена существенно выше грунтовой. Семена из урочища Комарта имели всхожесть 50,0 % (из 150 высеянных семян (три повторности по 50 шт.) проросли 75 шт.); семена из урочища Уилса – 60,0 %, из урочища Цей – 67,3 %. При этом отдельные партии семян оказались на 100 % поражены кленовой плодовой жоржкой (*Laspeyresia inquinatana* Hübner). Поврежденные семена теряют всхожесть полностью.

Биометрические характеристики семян клена Траутфеттера зависят от многих факторов, в том числе и от высоты над уровнем моря (табл. 4).

Таблица 4

Изменчивость массы и размеров* семян в зависимости от высоты над уровнем моря

Показатель	Значение показателя по урочищам		
	Кобань (1100 м над у. м.)	Фетхуз (1700 м над у. м.)	Цей (1900 м над у. м.)
Масса 100 семян в воздушно-сухом состоянии, г:			
с крылатками	12,48±0,11	11,12±0,08	10,25±0,09
без крылаток	11,03±0,11	9,56±0,09	8,87±0,10
Средняя длина семени с крылаткой, мм	31,07±0,28	32,41±0,21	35,98±0,32

*Данные приведены с ошибкой определения.

Особенность семян клена высокогорного состоит в том, что самые тяжелые из них имеют крылатку минимального размера, легкие – самую длинную крылатку. Поэтому легкие семена уносятся ветром на большие расстояния, особенно зимой – по насту.

Количество семян на одной ветке клена имеет тенденцию к снижению с высотой над уровнем моря. Снижается также средняя масса одного семени и среднее количество ветвей с семенами. Однако количество плодоносящих деревьев клена с высотой возрастает, поэтому общий урожай семян в урочищах Кобань и Цей примерно одинаков (табл. 5).

Таблица 5

Урожайность семян на объектах исследования

Показатель	Значение показателя по урочищам		
	Кобань (1100 м над у. м.)	Фетхуз (1700 м над у. м.)	Цей (1900 м над у. м.)
Количество семян на модельной ветке, шт.	480	530	360
Масса 100 семян, г	12,48±0,11	11,12±0,08	10,25±0,09
Количество ветвей с семенами на дереве, шт.	9	8	6
Численность плодоносящих деревьев, шт./га	6	14	16
Урожай семян, кг/га	3,23	6,60	3,54

Количество семян в обычный по урожайности год колеблется от 25,8 тыс./га (Кобань, 1100 м над у. м.) до 59,4 тыс./га (Фетхуз, 1700 м над у. м.). При таком большом запасе семян численность подростка семенного происхождения редко превышает 600 экз./га.

В большинстве случаев освещенность на поверхности почвы составляет 0,2...0,3 % от освещенности на открытом месте, на высоте 1,3 м (над травостоем) она несколько больше – 1,2...1,6 тыс. лк (1,7...2,3 % от полной). В таких условиях всходы клена быстро отмирают.

На это накладывається влияние температурного режима. В большинстве случаев температура почвы в 2–2,5 раза ниже температуры воздуха, однако на минерализованных участках леса верхние горизонты почвы в период вегетации могут нагреваться до 35 °С и выше при температуре воздуха 18...22 °С. Если в весенне-летний период температура верхнего (5 см) слоя почвы на несколько градусов выше температуры ниже лежащего слоя, то осенью наоборот – на глубине 10 см температура почвы выше температуры поверхностного слоя. Это снижает долю доброкачественных семян клена, попавших на почву, так как высокая температура ускоряет выпревание семян, имеющих сочные семядоли.

Указанные причины приводят к тому, что независимо от условий произрастания молодое поколение клена высокогорного семенного происхождения представлено единичными экземплярами. Такая ситуация сопоставима с той, которая складывается под пологом высокополнотных древостоев таежной зоны [3, 4].

У верхней границы кленового леса, на открытых местах, подрост встречается в количестве 430...630 экз./га. По высоте преобладает крупный подрост (50...60 %), доля мелкого – 10...20 %. Возраст подростка 6...12 лет. В нижнем поясе распространения кленовников подростка семенного происхождения существенно меньше – не более 260 экз./га.

Встречаемость и численность подростка порослевого происхождения выше, чем семенного. Установлено, что в большинстве своем порослевой подрост формируется за счет корневых отпрысков, из превентивных почек. Укоренение ветвей встречается значительно реже, так как у клена Траутфеттера ствол,

как правило, со штамбом. Лишь по опушкам, на крутых склонах, встречается молодое поколение, сформировавшееся из укоренившихся ветвей тех деревьев, крона которых сильно опущена и достигает поверхности почвы.

Подрост вегетативного происхождения всегда произрастает небольшими группами, внутри которых все растения имеют разную высоту. Практически в каждом «гнезде» имеется подрост вегетативного происхождения, тогда как лишь 23 % одиночных деревьев имеют такую поросль. Отпад из числа порослевого подроста в несколько раз выше, чем из числа семенного.

Оценивая успешность естественного возобновления клена, можно констатировать, что клен способен к самовозобновлению. Однако численность подроста семенного происхождения редко превышает 600 экз./га (табл. 6).

Таблица 6

**Численность молодого поколения клена Траутфеттера
на объектах исследования**

Показатель	Значение показателя по урочищам		
	Кобань (1100 м над у. м.)	Фетхуз (1700 м над у. м.)	Цей (1900 м над у. м.)
Сомкнутость полога, %	76	90	89
Освещенность на высоте 1,3 м, лк	1208	998	1469
Численность подроста, экз./га	726	694	1354
В том числе:			
семенного	260	286	630
порослевого	466	408	724

Общая численность кленового молодняка увеличивается по мере продвижения вверх. Такую закономерность распределения подроста в связи с орографическим фактором можно объяснить уменьшением конкуренции со стороны древостоя и более высоким возобновительным потенциалом кленовников в верхнем поясе распространения.

Заключение

Доля клена в составе древостоев возрастает с увеличением высоты над уровнем моря. При этом увеличивается и численность кленового подроста как семенного, так и порослевого происхождения. Несмотря на запас семян в 30...60 тыс./га подрост семенного происхождения составляет всего 300...600 экз./га.

Встречаемость и численность подроста порослевого происхождения выше, чем семенного. При этом подрост вегетативного происхождения всегда произрастает небольшими группами, внутри которых все растения имеют разную высоту. Отпад из числа порослевого подроста в несколько раз выше, чем из числа семенного.

Оценивая успешность естественного возобновления клена, следует отметить, что возобновительный потенциал клена Траутфеттера высокий, числен-

ность молодого поколения составляет около 1 тыс. экз./га. Требуются меры содействия естественному возобновлению. В первую очередь это относится к древостоям нижнего и среднего поясов распространения кленовников, где численность подроста семенного и порослевого происхождений составляет около 700 экз./га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вацадзе Г. Вегетативное размножение клена высокогорного и граба кавказского в условиях Лагодехского госзаповедника // Заповедники Грузии. Т. 1. Тбилиси, 1969. С. 19–36.
2. Грязькин А.В. Влияние метода на точность и достоверность результатов исследования // Изв. СПбЛТА. 1999. С. 12–18.
3. Грязькин А.В. Возобновительный потенциал таежных лесов (на примере ельников Северо-Запада России). СПб.: СПбЛТА, 2001. 188 с.
4. Грязькин А.В. Рациональная хозяйственная деятельность как способ реализации возобновительного потенциала лесных экосистем // Лесн. журн. 2007. № 5. С. 36–44. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Качалов А.А. Деревья и кустарники. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 408 с.
6. Медведев Я.С. Кавказский подальпийский клен (*Acer Trautvetteri*) // Изв. Кавказского общ-ва любителей естествознания и Альпийского клуба. 1880. Кн. 2. С. 9–11.
7. Погребняк П.С. Основы лесной типологии. К.: АН УССР, 1955. 452 с.
8. Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Наука, 1961. 144 с.
9. Хетагуров Х.М. Особенности структуры и проблемы воспроизводства высокогорных кленовников Северной Осетии–Алании: дис. ... канд. биол. наук. СПб, 2006. 186 с.
10. Хетагуров Х.М., Грязькин А.В. Высокогорные кленовники Северной Осетии. СПб.: Наука, 2013. 106 с.
11. Хетагуров Х.М., Николаев И.А., Базаев А.Б. Клен Траутфеттера в РСО–Алания // Изв. Горского гос. аграрного ун-та. 2014. Т. 51, № 2. С. 284–289.
12. Bílek L., Remeš J., Zahradník D. Natural Regeneration of Senescent Even-Aged Beech (*Fagus sylvatica* L.) Stands Under the Conditions of Central Bohemia. *J. of Forest Science*, 2009, vol. 55, no. 4, pp. 145–155.
13. Forman R.T.T., Gordon M. *Landscape Ecology*. New York, 1986. 640 p.
14. Harvey B.D., Bergeron Y. Site Patterns of Natural Regeneration Following Clear-Cutting in Northwestern Quebec. *Can. J. For. Res.*, 1989, vol. 19(11), pp. 1458–1469.
15. Puckett S.T.A., Cadenasso M.L. Landscape Ecology: Spatial Heterogeneity in Ecological Systems. *Science*, 1995, no. 269(5222), pp. 331–334.
16. Scholz E. Blütenmorphologische und biologische Untersuchungen bei *Acer platanoides* L. und *Acer pseudoplatanus* L. *Der Zuchter*, 1960. Bd. 30. Ss. 11–16.
17. Wolf E. *Acer Trautvetteri* Medw. – Kaukasischer Hochgebirgsahorn. *Gartenflora*, 1981. Bd. 40. Ss. 263–266.

Поступила 08.04.16

UDC 630*2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.30

Trautvetter's Maple Regeneration Potential in the Mountain Forests of the Republic of North Ossetia–Alania

Kh.M. Khetagurov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Gorsky State Agrarian University, ul. Kirova, 37, Vladikavkaz, 362040, Republic of North Ossetia–Alania, Russian Federation; e-mail: zaz81@inbox.ru

Trautvetter's maple or high-mountain maple (*Acer Trautvetteri* Medv.) is a forest-forming species in the forests of North Ossetia. Growing in the mountains at a height of 1100...2500 meters above sea level, it forms the simple structured stands. As a rule, Trautvetter's maple forms pure maple forests at the upper boundary of its distribution and mixed maple forests at the bottom. The objects of research are pure and mixed maple forests in some natural boundaries of the Republic of North Ossetia–Alania. They are located in various conditions of mountainous relief and at different height above sea level. The goal of research is an assessment of regeneration potential of high-mountain maple forests and the success of natural regeneration of Trautvetter's maple in different conditions of the distribution area. Conventionally, we divided the site strip of maple forests into three zones: the upper zone – 1601 m above sea level and more; the medium belt – 1251...1600 m above sea level; the lower zone – 1250 m above sea level and less. Regeneration potential of the high-mountain maple forests is implemented both by seed and vegetative propagation. Under the canopy of the stand the undergrowth of vegetative origin is dominated. The young growth of seed origin is found in exposed places, in mineralized areas. The number of such undergrowth is rarely more than 600 trees per Ha. Although the undergrowth of vegetative origin predominates, its mortality is some times greater than that of seed origin. Despite a large supply of seeds (25.8...58.4 thousand pcs./Ha), the natural regeneration of maple by seeds under the canopy of the parent stand is very difficult due to the strong grass cover, the dense leaf litter layer, mass seed damage by entomofauna and diseases. The ground shade density is 0.2...0.3 % of the shade density in the exposed place.

Keywords: high-mountain maple forest, Trautvetter's maple, natural regeneration, undergrowth, understory, plant stand.

REFERENCES

1. Vatsadze G. Vegetativnoe razmnzozhenie klena vysokogornogo i graba kavkazskogo v usloviyakh Lagodekhskego goszapovednika [Vegetative Reproduction of High-Mountain Maple and Caucasian Hornbeam in the Lagodekhi State Natural Reserve]. *Zapovedniki Gruzii*, 1969, vol. 1, pp. 19–36.

2. Gryazkin A.V. Vliyanie metoda na tochnost' i dostovernost' rezul'tatov issledovaniya [The Impact of the Method on the Accuracy and Reliability of the Results of Research]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehniceskoy akademii (Izvestia SPbLTA)*, 1999, pp. 12–18.

For citation: Khetagurov Kh.M. Trautvetter's Maple Regeneration Potential in the Mountain Forests of the Republic of North Ossetia–Alania. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1, pp. 30–39. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.30

3. Gryaz'kin A.V. *Vozobnovitel'nyy potentsial taezhnykh lesov (na primere el'nikov Severo-Zapada Rossii)* [Regeneration Potential of the Boreal Forests (the Case of Spruce Forests of the North-West of Russia)]. Saint Petersburg, 2001. 188 p.
4. Gryaz'kin A.V. Ratsional'naya khozyaystvennaya deyatelnost' kak sposob realizatsii vozobnovitel'nogo potentsiala lesnykh ekosistem [Rational Economic Activity as the Way of Regeneration of Forest Ecosystems Potential]. *Lesnoy zhurnal*, 2007, no. 5, pp. 36–44.
5. Kachalov A.A. *Derev'ya i kustarniki* [Trees and Shrubs]. Moscow, 1970. 408 p.
6. Medvedev Ya.S. Kavkazskiy podal'piyskiy klen (*Acer Trautvetteri*) [Caucasian Alpine Maple (*Acer Trautvetteri*)]. *Izvestiya Kavkazskogo obshchestva lyubiteley estestvoznaniya i Al'piyskogo kluba*, 1880, vol. 2, pp. 9–11.
7. Pogrebnyak P.S. *Osnovy lesnoy tipologii* [Fundamentals of Forest Typology]. Kiev, 1955. 452 p.
8. Sukachev V.N., Zonn S.V. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Guidelines for the Forest Types Study]. Moscow, 1961. 144 p.
9. Khetagurov Kh.M. *Osobennosti struktury i problemy vosproizvodstva vysokogornyykh klenovnikov Severnoy Osetii–Alanii*: dis. ... kand. biol. nauk [Features of the Structure and Problems of Regeneration of High-Mountain Maple Forests in North Ossetia–Alania: Cand. Biol. Sci. Diss.]. Saint Petersburg, 2006. 186 p.
10. Khetagurov Kh.M., Gryaz'kin A.V. *Vysokogornyye klenovniki Severnoy Osetii* [High-Mountain Maple Forests of North Ossetia]. Saint Petersburg, 2013. 106 p.
11. Khetagurov Kh.M., Nikolaev I.A., Bazaev A.B. Klen Trautvettera v RSO–Alaniya [Trautvetter's Maple in the Republic of North Ossetia–Alania]. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of Gorsky State Agrarian University], 2014, vol. 51, no. 2, pp. 284–289.
12. Bilek L., Remeš J., Zahradník D. Natural Regeneration of Senescent Even-Aged Beech (*Fagus sylvatica* L.) Stands Under the Conditions of Central Bohemia. *J. of Forest Science*, 2009, vol. 55, no. 4, pp. 145–155.
13. Forman R.T.T., Gordon M. *Landscape Ecology*. New York, 1986. 640 p.
14. Harvey B.D., Bergeron Y. Site Patterns of Natural Regeneration Following Clear-Cutting in Northwestern Quebec. *Can. J. For. Res.*, 1989, vol. 19(11), pp. 1458–1469.
15. Puckett S.T.A., Cadenasso M.L. Landscape Ecology: Spatial Heterogeneity in Ecological Systems. *Science*, 1995, no. 269(5222), pp. 331–334.
16. Scholz E. Blütenmorphologische und biologische Untersuchungen bei *Acer platanooides* L. und *Acer pseudoplatanus* L. *Der Zuchter*, 1960. Bd. 30. Ss. 11–16.
17. Wolf E. *Acer Trautvetteri* Medw. – Kaukasischer Hochgebirgsahorn. *Gartenflora*, 1981. Bd. 40. Ss. 263–266.

Received on April 08, 2016

УДК 630*8:338.5:336.647.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.40

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ

Т.В. Каштелян, канд. экон. наук, доц.

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

В статье рассматриваются экономические аспекты формирования системы воспроизводства лесных ресурсов Республики Беларусь, анализируются факторы, обуславливающие структурирование экономического интереса процесса лесопользования, подходы к организации финансов. В связи с повышающимися потребностями в средствах экономического возмещения затрат экологического назначения интерпретируются каналы реализации древесного сырья и источники получения добавленной стоимости. Отмечается, что экономический интерес носит конкретно-исторический характер и зависит от взаимосвязей субъектов в экономической системе. В результате формирования рыночной среды может обеспечиваться рост эффективности (для лесного комплекса в частности), так как появляется возможность реализации принципа соответствия производства той или иной продукции в тот или иной период времени общественным потребностям и мотивации прогрессивных изменений. Для лесного комплекса Беларуси обосновывается потребность применения категории «общий экономический оборот». В целях структуризации экономического интереса предлагается разработка целостного финансово-экономического механизма (использования баланса экономического оборота в частности), что диктуется и переходом лесхозов в 2015 г. на продажу древесины в заготовленном виде. Выдвигаются основные задачи по ориентации субъектов лесного хозяйства на получение положительного «сальдо» денежного потока – снижение налоговой нагрузки, изменение системы бюджетного финансирования. Выявляются основные направления институциональных преобразований, которые будут способствовать формированию эффективной системы воспроизводства лесных ресурсов – внедрение контроллинга, создание центра по отслеживанию цен и др.

Ключевые слова: лесные ресурсы, воспроизводство, налогово-бюджетные отношения, общий экономический оборот, финансово-экономический механизм, древесное сырье, денежный поток, налоговая нагрузка, финансирование, институциональные преобразования, контроллинг.

Введение

Одно из главных богатств Республики Беларусь – лесные ресурсы. По оценкам Статистической службы Европейского союза (Eurostat) и Продовольственной и сельскохозяйственной организации (FAO) Беларусь занимает неплохие позиции по обеспеченности лесосырьевыми ресурсами на душу

Для цитирования: Каштелян Т.В. Формирование системы воспроизводства лесных ресурсов Беларуси // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 40–50. (Изв. высш учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.40

населения (0,90 га), опережая при этом Польшу (0,24 га) и Германию (0,14 га) [5]. Как показывает опыт, в лесном комплексе Республики существует целый ряд насущных вопросов, например таких, как необходимость развития глубины переработки сырья, соответствие качества древесины существующим технологическим процессам ее обработки и др. Исходным пунктом к определению «системы воспроизводства лесных ресурсов» является концепция Н.И. Кожухова, основанная на том, что она представляет собой подсистему в системе более высокого уровня – единой общегосударственной, связанной с природопользованием [4].

Важное направление отечественных и зарубежных исследований в сфере экономики лесного комплекса – изучение финансовых аспектов воспроизводства лесных ресурсов. В разное время им занимались такие известные ученые, как П.В. Васильев, Н.И. Кожухов, Н.А. Моисеев, М.А. Лобовиков, А.П. Петров, А.В. Неверов, К.А. Евсеенко и др. Понятие «воспроизводство» применительно к природным ресурсам – это процесс приращения запасов, который включает лесовосстановительные работы, лесоразведение, охрану лесов и другие мероприятия. В аспекте рассмотрения воспроизводства лесных ресурсов как одной из экономических категорий можно отметить, что в Беларуси эта функция обусловлена, с одной стороны, финансами государственного бюджета, с другой (в производственно-организационном отношении) – проблемами оптимизации процесса с точки зрения улучшения породно-возрастной структуры. Являясь совокупностью указанных опорных точек, экономический процесс воспроизводства лесных ресурсов базируется на создании чистого дохода материальной сферы производства.

Основная часть

Формирование системы воспроизводства лесных ресурсов играет ключевую роль как на отраслевом уровне (для лесного комплекса), так и на общенациональном. Для лесфондодержателей Беларуси в условиях «тройного» дефицита финансовых средств [6] финансирование лесохозяйственных мероприятий, осуществляемое на сметно-бюджетной основе, – один из «камней преткновения», который требует эколого-экономического обоснования. Как отметил К.А. Евсеенко [3], процесс воспроизводства лесных ресурсов имеет две стадии: лесохозяйственное производство и потребление. Важной проблемой на уровне государства является рост влияния отрасли на экономику страны. При этом лесное хозяйство должно совмещать «две стороны деятельности, одна из которых руководствуется удовлетворением потребности в ресурсах и услугах леса, другая – не просто охраной природы, но и ее улучшением, повышением качества жизни в окружающей среде развивающегося общества» [7, с. 1].

Формирование системы воспроизводства лесных ресурсов предполагает установление источников средств экономического возмещения затрат. По некоторым оценкам [2], платежи, являющиеся стоимостным выражением потерь, связанных с эксплуатацией природной среды, не превышают 5 % суммы образующегося экологического ущерба, поэтому происходит накопление износа. Главным исходным элементом вовлечения экологических факторов в хозяйственный механизм и процесс принятия решений должен стать механизм

структуризации экономического интереса в соответствии с постоянным процессом согласования (балансирования) отношений в системе «природно-ресурсная среда и ее воспроизводство».

Экономический интерес носит конкретно-исторический характер. Применительно к лесному комплексу Беларуси соединение стадий лесохозяйственного производства и потребления сырья стало возможным благодаря государственным мерам по совершенствованию работы лесного хозяйства. Однако в поиске источников «генерирования» добавленной стоимости вопрос состоит в том, каковы будут расходы и цены на сырье и конечную продукцию. Они определяются рынком. Рыночные условия хозяйствования призваны обеспечивать рост эффективности, поскольку позволяют правильно оценивать соответствие производства тех или иных товаров в тот или иной период времени общественным потребностям, в соответствии с последними мотивируется прогрессивное изменение производства.

Лесопользование в Беларуси осуществляется по принципу непрерывности, неистощительности и относительного постоянства. Среднегодовые заготовки древесины составляют 11...12 млн м³/год, из них в порядке ведения рубок главного пользования (в спелых древостоях) – 4,3...4,5 млн м³ (40 %), рубок ухода за лесом и санитарных рубок (в молодняках, средневозрастных и приспевающих насаждениях) – 5,4 млн м³. Ежегодный прирост запасов – 31,4 млн м³. В соответствии с Лесным кодексом Республики Беларусь государственный контроль за состоянием, использованием, охраной, защитой государственного лесного фонда и воспроизводством лесов осуществляется Министерством лесного хозяйства, Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды и их территориальными органами, а также иными государственными органами в соответствии с нормативными правовыми актами.

Динамика окупаемости экономического процесса лесопользования в рамках организаций Министерства лесного хозяйства Беларуси за последнее десятилетие свидетельствует об увеличении доли собственных средств в финансировании (табл. 1).

Анализ практики хозяйствования показывает, что субъекты стали больше ориентированы на производственную деятельность, «коммерциализацию» которой подтверждают показатели самофинансирования. Получение доходов за древесину в заготовленном виде (мобилизация собственных средств) от рубок ухода и прочих рубок происходит в увеличивающихся объемах. Если в структуре общих поступлений средств от лесохозяйственной деятельности в 2012 г. последние занимали 44,2 %, то в 2013 г. – 55,2 %. Такая динамика наводит на мысль о том, что рубки ухода превращаются в рубки «дохода» [1], т. е. под видом указанных рубок может скрываться главное пользование. Вопросы качественного их проведения должны быть заложены в качестве мотивирующих инструментов в системе оплаты труда лесоводов.

Таблица 1

**Динамика экономических показателей Минлесхоза Республики Беларусь
в 2007–2013 гг. (в сопоставимых ценах на 01.01.07 г.)**

Показатели	Значение показателей по годам		
	2007	2012	2013
Расходы на ведение лесного хозяйства, млрд р.	316,8	628,3	889,7
Доходы от ведения лесного хозяйства, млрд р.	196,1	374,9	529,9
В том числе:			
плата за лес на корню	–	195,5	226,5
мобилизация собственных средств	–	168,9	308,1
Доля бюджетных ассигнований в расходах на ведение лесного хозяйства, %	40,2	34,8	34,0
Прибыль от реализации продукции, млрд р.	125,9	78,5	102,7
Рентабельность продукции, %	39,1	12,9	13,0
Инвестиции в основной капитал, млрд р.	65,5	213,2	225,2

Сегодня наиболее распространенной и дискутируемой среди специалистов лесного хозяйства проблемой является совмещение в рамках Минлесхоза функций контроля и хозяйствования. Проблема воспроизводства лесных ресурсов в финансовом аспекте рассматривается в системе существующих преобразований субъектов лесного хозяйства, которые связаны с ориентацией на законченный сырьевой производственно-торговый цикл и направлены на повышение самостоятельности и самокупаемости. Можно констатировать, что целостный механизм управления доходностью лесного хозяйства формируется при помощи бюджетных средств. Составляется две сметы – по лесохозяйственным расходам и по бюджетным ассигнованиям в целом. Перед государством в современных условиях стоит задача создания действенного инструментария для регулирования производства, предусматривающего минимизацию выделения централизованных средств на развитие субъектов природопользования, и лесопользования в частности. При этом нужно понимать, что целесообразно уменьшить налоговую нагрузку субъектов сырьевого комплекса, которая является чрезмерной (ставки: НДС – 20,0 %, налога на прибыль – 24,0 %, сбора на развитие территорий – 3,0 %).

Официально проводимая бюджетная политика обязана строиться на заинтересованности в получении высокой прибыли, в частности от такого вида экономической деятельности, как лесопользование. В современных условиях лесхозы выступают не только поставщиками ресурсов, но формируют положительный финансовый поток посредством развития деятельности в сфере деревообработки и др. Указанные направления сопровождаются получением прибыли, хотя и не всегда высокой. Так как плата за лес на корню теперь встроена в единую систему финансовых потоков лесхозов, то наглядно виден эффект актуализации экономического интереса лесхозов в получении ресурсных платежей (через систему аукционов, биржевые торги), хотя заготовка

и переработка древесного сырья остаются важными факторами экономического роста.

В структурном аспекте рассмотрения объемные показатели главного пользования за 2012-2013 гг. в целом по Беларуси демонстрировали существенные сдвиги. По каналам движения ресурса в 2012 г. больший удельный вес (61,8 %) поставлялся через биржу, в 2013 г. ситуация кардинально поменялась. Следует отметить, что указанная выше самокупаемость лесхозов достигалась за счет концентрации сырья: в 2013 г. в ведении юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, находилось 52,5 % (в 2014 г. – более 67,0 %) от всех объемов лесозаготовок по республике, для сравнения в 2012 г. – 38,6 % (табл. 2). При этом, как и Белорусским промышленно-торговым концерном (БПТК) «Беллесбумпром», чуть более 80,0 % сырья приобреталось по таксовой стоимости.

Таблица 2

Структура заготовок древесного сырья (%) по главному пользованию в разрезе источников и организаций Беларуси в 2012-2013 гг.

Каналы реализации, организации	2012 г.				2013 г.			
	По общему объему		По деловой древесине		По общему объему		По деловой древесине	
	Всего	По хвойным породам	Всего	По хвойным породам	Всего	По хвойным породам	Всего	По хвойным породам
Всего реализация по Беларуси	100	100	100	100	100	100	100	100
В том числе:								
по таксовой стоимости	38,2	49,7	38,6	48,9	72,1	72,7	71,6	38,2
по ценам биржевых сделок	61,8	50,3	61,4	51,1	27,9	27,3	28,4	61,8
Всего по организациям Беларуси	100	100	100	100	100	100	100	100
В том числе:								
юридическими лицами, ведущими лесное хозяйство	38,6	42,7	39,2	41,9	52,5	53,6	52,5	38,6
БПТК	28,2	26,0	28,2	26,4	23,6	22,2	23,3	22,4
организациями, осуществляющими строительство жилых домов	8,0	13,2	8,8	13,6	7,6	9,8	7,8	24,3
прочими лесопользователями	25,2	18,1	23,8	18,1	16,3	14,4	16,4	14,7

Проблемы повышения эффективности влияния ценообразования на системы производства и воспроизводства лесосырьевых ресурсов осложняются неразработанностью частных балансов экономических оборотов субъектов лесного хозяйства и отсутствием сведения их в один общий. Результаты текущей лесохозяйственной деятельности финансируются государством на уровне расчетно-плановых трудовых затрат (возмещаются расходы на заработную плату в части производства лесохозяйственных работ), а не цен, сформированных на основе принятых в белорусской концепции ценообразования моделях, включающих нормативную себестоимость производства и прибыль, достаточную для платежей в бюджет. Существуют взаимные переброски финансовых средств с хозрасчетной деятельности на бюджетную и наоборот. Зарубежный опыт выделения дотаций не используется.

Практическая необходимость реализации единого государственного подхода к формированию эффективной системы воспроизводства лесных ресурсов предполагает разработку механизмов развития организационных условий, в которых предоставляются рамки преимущественно свободного ценообразования и оптимального налогообложения. Для осуществления последней функции регулирования в целях поддержания экологического равновесия целесообразно переориентировать финансовый поток государственной помощи на покрытие не производственных расходов, а расходов, связанных с функционированием организаций в целом (или продажами продукции, как это предполагает экономический оборот в зарубежных странах). Тогда для руководителей и управленцев государственных субъектов (лесхозов) будут созданы условия, максимально приближенные к условиям деятельности коммерческих организаций. По сути в системе взаимоотношений «лесо- и, в частности, древеснопопользования» появится «среда нанятых государственных менеджеров», которые всю предпринимательскую деятельность (включая производственную лесохозяйственную) должны будут строить на эффективности продаж ресурсов в любом виде, продукции подсобных, перерабатывающих производств. Процесс лесопользования должен стать максимально безотходным и эффективным.

Результативность лесхозов отличается многоцелевым характером. Как справедливо отмечают белорусские отраслевые ученые [1, 8], она связана со способностью отрасли удовлетворять разнообразные потребности в ресурсах и полезностях леса (последние могут по мере развития общества переходить в разряд ресурсов). На наш взгляд, прямые затраты лесохозяйственной деятельности, например на лесовосстановительные и другие работы, целесообразно компенсировать за счет попенной платы, не пытаясь учесть косвенные (управленческие) затраты и издержки на вспомогательные операции. Суть платы за лес на корню как доходной части поступлений от деятельности лесхозов состоит в возмещении указанных затрат. Основная проблема здесь – учесть затраты на лесоустроительное проектирование. Если включать затраты в тот год, когда оно сделано, себестоимость получится завышенной. Эти расходы надо равномерно распределять по годам.

Для актуализации экономических интересов в лесном комплексе важно проводить анализ «затраты–выгоды». Необходимо учитывать, что нахождение соотношений между выгодами и затратами формирует основу эффективности бизнес-процессов. Используя методы преимущественно централизованного планирования, целесообразно не только группировать затраты по направлениям деятельности, но и обобщать их в системе единого экономического механизма управления доходностью предприятия. Финансовые факторы при этом требуют не просто особого внимания, но и своевременных грамотных управленческих решений, направленных на постепенное улучшение породно-возрастной структуры лесов.

В Беларуси для формирования эффективной системы воспроизводства лесных ресурсов необходимо разработать целостный финансово-экономический механизм, в котором будет рационально структурирован экономический интерес, что диктуется переходом лесхозов с 2015 г. на продажу древесины в заготовленном виде. В связи с предполагаемой продуктовой ориентацией деятельности предприятий лесного хозяйства (переходом последних в разряд снабжающих лесоматериалами) доходы от реализации товаров, работ, услуг становятся основой обеспечения воспроизводства лесных ресурсов. Важнейшим аспектом экономического развития является соответствие процессов создания стоимости (продукции от всех видов рубок, деревообработки, общественных услуг и др.) образованным самостоятельно во внутренней среде и бюджетированным государством доходам. Модель развития субъектов лесного хозяйства должна основываться главным образом на условиях самофинансирования: формирование «Центров прибыли» по направлениям лесохозяйственной, лесозаготовительной и других видов деятельности, которые должны включать «Центры издержек воспроизводства лесных ресурсов».

Субъекты лесного хозяйства существенно различаются по наличию ресурсов, социально-экономическому развитию. Источники рентосогласующих прибылей (абсолютной и дифференциальной ренты) в лесхозах – это запас на 1 га, удаленность, породно-возрастной состав насаждений, деловые связи с потребителями сырья и др. Те субъекты, которые находятся на территориях, где природно-географические параметры лесных участков лучше и уровень организации (в частности механизации) работ и управления производством выше, чем на усредненном (среднеотраслевом, или «эталонном») участке, должны получать финансовые средства, достаточные для эффективного развития [9]. Субъекты, которые имеют в указанных параметрах условия хуже усредненных, целесообразно финансировать с помощью бюджетных средств с использованием принципа компенсации отклонений от эталона. Применение такого подхода должно подразумевать формирование рентоориентированного поведения субъектов через освоение инновационных технологий заготовки и переработки древесного сырья, роста количества (видов) и конкурентоспособности продукции, работ, услуг.

На наш взгляд, в дополнение к предложениям по управлению затратами, изложенным в [9], стоит практиковать внедрение отдельных элементов системы контроллинга. Воспроизводство лесных ресурсов – функциональная сфера деятельности лесхозов, которая должна быть гармонично включена в систему стоимостной оценки всех происходящих процессов (в первую очередь заготовки древесного сырья). Методическая обоснованность управленческих решений по зарабатыванию средств на указанные цели означает отслеживание объемных, стоимостных показателей, обеспечивающих доходность субъектов хозяйствования, а также переменных и постоянных затрат [10].

Система планирования, выступая в качестве одного из важных инструментов контроллинга, должна способствовать формированию адекватных природно-географическим условиям экономических механизмов функционирования отдельных лесхозов, включая обеспечение надлежащего формирования и использования фондов воспроизводства лесных ресурсов. Структуру последних целесообразно формировать: в части денежных средств фондов, включаемых в затраты (в соответствии с определяемыми переменными материальными и трудовыми затратами на эталонный участок); в части денежных средств фондов, формируемых за счет прибыли (в соответствии с определяемыми постоянными затратами лесохозяйственного производства); в части денежных средств, формируемых за счет бюджета (в соответствии с расчетами по отклонениям от эталона). Взятый в Беларуси курс на минимизацию помощи из бюджета заставит хозяйства, оказавшиеся в худших природных условиях, корректировать экономическое поведение в сторону развития деловой активности. По мере функционирования в условиях общего экономического оборота обоюдной заботой нанятых государственных менеджеров, или директоров, отраслевых и региональных управленцев, станет бюджетное финансирование сугубо для достижения социально-экологических целей общества на особо охраняемых территориях и др.

Выделение эталонного участка, на наш взгляд, целесообразно базировать исходя из состава и продуктивности лесных ресурсов и учета затрат по процессам заготовки и вывозки сырья. Одним из важнейших критериев, характеризующих ресурсный потенциал лесов, является распределение запасов древесины по породам. В Беларуси основными лесобразующими породами являются сосна (50,2 %), береза (23,2 %), ель (9,2 %), ольха черная (8,5 %), дуб (3,4 %), осина (2,1 %), прочие породы (3,4 %). Предприятие «Белгослес» ежегодно проводит оценку имеющегося и ожидаемого запаса древесины. Среднеотраслевая отдача древесины с 1 га покрытой лесом площади может быть рассчитана на основании данных указанной организации. Объем перевозок лесопродукции (имеется в виду только древесина в заготовленном виде) в расчете на 1 га можно рассматривать в качестве показателя, характеризующего экономический потенциал субъектов. Предполагаем, что система воспроизводства лесных ресурсов должна разрабатываться исходя из прогнозов

лесоснабжения. Обосновав объемные и стоимостные показатели поставок ресурсов с учетом средних расстояний, можно выстраивать линию поведения по финансированию процессов приращения запасов.

Заключение

Лесное хозяйство Беларуси – одна из отраслей, которая в современных условиях призвана эффективно восстанавливать и развивать эколого-ресурсный потенциал. В этой связи в качестве основы для формирования эффективной системы воспроизводства лесных ресурсов предложены организационно-экономические меры, направленные на эффективное использование финансовых условий, ориентированных на минимизацию бюджетной поддержки, через соединение в рамках лесхозов потребления сырья и лесохозяйственного производства, т. е. применение замкнутого производственно-торгового цикла и на этой основе общего экономического оборота; внедрение контроллинга как системы, позволяющей учитывать объемы, затраты и цены (при этом потребуется классифицировать трудовые затраты на переменные и постоянные), формирование подсистемы контроллинга персонала.

На практике для внедрения предлагаемых мероприятий потребуется провести анализ факторов, учет процессов осуществления лесохозяйственных мероприятий и лесопользования, планирование и нормирование затрат лесохозяйственного и лесозаготовительного производств. Вместе с тем необходимы научно-исследовательские работы и эксперименты в институциональном (создание центра по отслеживанию цен, как предложено профессором Н.А. Моисеевым [7]) и ресурсно-продуктовом аспектах.

Структуризация общего экономического интереса и частных интересов лесоводов в направлениях усиления экологических функций леса, систематизация хозяйственной деятельности по доходам и затратам с учетом внешнего окружения (включая финансовые потоки и оттоки бюджетных средств из лесхозов), на наш взгляд, позволит привести управляемость в соответствие с требованиями рыночной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Багинский В.Ф.* Многоцелевое лесопользование в Беларуси: состояние и перспективы // Актуальные вопросы стратегии развития лесного хозяйства Беларуси: материалы республ. науч.-практ. семинара, Ждановичи Минск. р-на, 10 апр. 2012 г. Минск: В.И.З.А. ГРУПП, 2012. С. 25–41.
2. *Выварец А.Д.* Экономика предприятия: учеб. для студентов вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. 543 с.
3. *Евсеев К.А.* Государственная система управления воспроизводством лесных ресурсов. Режим доступа: e-journal.spa.msu.ru/uploads/vestnik/2011/vipusk_27._ijun_2011_g./problemi_upravlenija_teorija_i_praktika/evseenko.pdf. Дата обращения: 15.04.2014.

4. Кожухов Н.И. Экономика воспроизводства лесных ресурсов. М: Лесн. пром-сть, 1988. 261 с.
5. Кто в лесу хозяин? // Беларускі час. 2015. 3 марта (№ 10). С. 3.
6. Лемешевский И.М. Пределы воздействия инструментов макрорегулирования на валовые показатели экономического роста // Тр. БГТУ. Экономика и управление. Минск: БГТУ, 2011. С. 6–10.
7. Моисеев Н.А. Проблемы лесной экономики в науке и практике. Режим доступа: <http://www.booksite.ru/forest/forest/factor/7.htm>. Дата обращения 05.02.2015.
8. Неверов А.В. Экономика природопользования: учеб. для вузов. Минск: БГТУ, 2008. 198 с.
9. Сычев М.Ф., Сулименков Р.Ю., Миронова З.С., Тукмачева А.И. Экономика воспроизводства лесов. Режим доступа: www.booksite.ru/fulltext/economvospr/text.pdf. Дата обращения: 15.04.2014.
10. Фольмут Х.Й. Инструменты контроллинга от А до Я / пер. с нем. М.Л. Лукашевича, Е.Н. Тихоненковой. М.: Финансы и статистика, 2001. 289 с.

Поступила 14.01.16

UDC 630*8:338.5:336.647.2
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.40

Formation of the Forest Regeneration System of Belarus

T.V. Kashtelyan, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

Belarusian State Technological University, Sverdlova ul., 13a, Minsk, 220006, Belarus;
e-mail: taisiya_kascht@mail.ru

The paper considers the economic aspects of the forest regeneration system formation of the Republic of Belarus, analyzes the factors causing the economic interest structuring in the forest management process, approaches to the financial management. Due to the rising need a means of economic compensation for environmental purposes the sales channels of wood raw material and sources of added value are interpreted. The economic interest has a concrete historical character and depends on the relationship of subjects in the economic system. As a result of the formation of the market environment the efficiency growth can be provided (for the timber complex in particular), since occurs the possibility to implement the compliance principle of production of a product in a given period of time to the social needs and motivation of progressive change. For the timber complex of Belarus the need of application of the category “total economic turnover” is justified. To structure the economic interest the author offers to develop a complete financial and economic mechanism (to use the economic turnover balance in particular), as the forestries start to sale converted wood in 2015. The main objectives for the orientation of forestry subjects to obtain a positive “balance” of cash flow are reducing the tax burden and changing the budget financing system.

For citation: Kashtelyan T.V. Formation of the Forest Regeneration System of Belarus. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1, pp. 40–50. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.40

The key directions of institutional reforms to contribute to the formation of an effective system of forest resources regeneration are the introduction of the controlling system, creation of a price following center.

Keywords: forest resources, regeneration, fiscal relations, total economic turnover, financial and economic mechanism, wood resources, cash flow, tax burden, financial package, institutional transformations, controlling.

REFERENCES

1. Baginskiy V.F. *Mnogotselevoe lesopol'zovanie v Belarusi: sostoyanie i perspektivy* [Multipurpose Forest Management in Belarus: State and Prospects]. *Aktual'nye voprosy strategii razvitiya lesnogo khozyaystva Belarusi: materialy respubl. nauch.-prakt. seminara, Zhdanovichy Minsk. r-na, 10 apr. 2012 g.* [Topical Issues of the Forest Development Strategy of Belarus: Proc. Repub. Sci.-Prac. Seminar, Zhdanovichy, Minsk Region, April 10, 2012]. Minsk, 2012, pp. 25–41.
2. Vyvarets A.D. *Ekonomika predpriyatiya: ucheb. dlya studentov vuzov* [Business Economics]. Moscow, 2007. 543 p.
3. Evseenko K.A. *Gosudarstvennaya sistema upravleniya vosproizvodstvom lesnykh resursov* [State Control System of Forest Resources Regeneration]. Available at: e-journal.spa.msu.ru/uploads/vestnik/2011/vipusk_27._ijun_2011_g./problemi_upravleniya_teorija_i_praktika/evseenko.pdf (accessed 15.04.2014).
4. Kozhukhov N.I. *Ekonomika vosproizvodstva lesnykh resursov* [Economics of Forest Resources Regeneration]. Moscow, 1988. 261 p.
5. Kto v lesu khozyain? [Who is the Owner of the Forest?]. *Belaruskij chas*, 2015, no. 10, p. 3.
6. Lemeshevskiy I.M. *Predely vozdeystviya instrumentov makroregulirovaniya na valovye pokazateli ekonomicheskogo rosta* [Macromanagement Exposure Limits to the Gross Data of the Economic Growth]. *Trudy BGTU. Ekonomika i upravlenie* [Proceedings of BSTU. Economics and Management], 2011, pp. 6–10.
7. Moiseev N.A. *Problemy lesnoy ekonomiki v nauke i praktike* [Problems of Forest Economy in Science and Practice]. Available at: <http://www.booksite.ru/forest/forest/factor/7.htm> (accessed 05.02.2015).
8. Neverov A. V. *Ekonomika prirodopol'zovaniya: ucheb. dlya vuzov* [Environmental Economics]. Minsk, 2008. 198 p.
9. Sychev M.F., Sulimenkov R.Yu., Mironova Z.S., Tukmacheva A.I. *Ekonomika vosproizvodstva lesov* [Economy of Reforestation]. Available at: www.booksite.ru/fulltext/economvospr/text.pdf (accessed 15.04.2014).
10. Vollmuth J.H. *Controlling-Instrumente von A – Z: Die wichtigsten Werkzeuge zur Unternehmenssteuerung*. Munchen, 2008. 478 s.

Received on January 14, 2016

УДК 582.475.2:581.522.68

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.51

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СЕЗОННЫЙ РОСТ ДЕРЕВЬЕВ ЛИСТВЕННЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ*

И.Т. Кищенко, д-р биол. наук, проф.

Петрозаводский государственный университет, просп. Ленина, д. 33,
г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910; e-mail: ivanki@karelia.ru

Биологическая продуктивность лиственных пород напрямую зависит от продолжительности роста всех органов дерева. В 2002–2006 гг. изучены продолжительность и интенсивность сезонного роста побегов, листьев и стволов березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), тополя дрожащего (*Populus tremula* L.) и ольхи серой (*Alnus incana* (L.) Moench) в Средней Карелии (подзона северной тайги). Исследования показали, что начало роста вегетативных органов у этих видов деревьев происходит в следующей последовательности. В конце мая начинается рост побегов у деревьев *Betula pubescens* и *Alnus incana*, в начале июня – у *Populus tremula*. У первых двух видов листья появляются через 4...5 сут после начала этой фенофазы, у деревьев тополя дрожащего – всего через 1 сут. У деревьев *Populus tremula* и *Alnus incana* формирование древесины ствола начинается в середине июня, у деревьев *Betula pubescens* – спустя 5 сут. Кульминация прироста побегов отмечается у деревьев *Alnus incana* и *Populus tremula* в конце июня, у *Betula pubescens* – в середине июля; листьев у деревьев *Alnus incana* – в самом начале июля, у других видов деревьев – спустя неделю; стволов у деревьев *Populus tremula* – в первой декаде июля, у других видов – через 4...7 сут. Рост побегов у деревьев *Alnus incana* прекращается в середине июля, у деревьев *Betula pubescens* и *Populus tremula* – через 5...9 сут; рост стволов – в конце августа, причем у деревьев *Alnus incana* раньше. Продолжительность формирования побегов у деревьев *Populus tremula*, *Alnus incana* и *Betula pubescens* составляет соответственно 43, 51 и 62 дн., листьев – 70, 79 и 78 сут, стволов – 66, 60 и 72 дн. Рост побегов у изученных видов деревьев начинается при одинаковом температурном режиме воздуха: 12,2...13,4 °С; листьев у деревьев *Alnus incana* и *Betula pubescens* – соответственно при 9,6 и 11,8 °С, у деревьев *Populus tremula* – при 15,0 °С; стволов у деревьев всех видов – при 14,5...15,7 °С. Максимальный прирост побегов у деревьев всех видов имеет место при температуре воздуха 18,3...19,2 °С; листьев – при 18,2...19,4 °С; стволов – при 18,0...19,0 °С. Рост вегетативных органов у этих видов заканчивается при одинаковом температурном режиме воздуха: побеги – 18,3...17,3 °С, листья – при 12,8...13,5 °С, стволы – при 13,3...14,3 °С. Из изученных видов наименее требовательной к температурному режиму воздуха является *Betula pubescens*, у которой все

*Работа выполнена при финансовой поддержке программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности.

Для цитирования: Кищенко И.Т. Влияние климатических факторов на сезонный рост деревьев лиственных лесобразующих видов в таежной зоне // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 51–63. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.51

фазы роста вегетативных органов протекают при самых низких значениях температуры и теплообеспеченности.

Ключевые слова: *Betula*, *Populus*, *Alnus*, побеги, листья, стволы, экологические факторы, рост.

Введение

Изучению сезонного роста и развития растений, в том числе древесных видов, уделяется большое внимание как в России, так и за рубежом. Познание этих важнейших биологических процессов имеет решающее значение в теории и практике выращивания растений. При этом объектами исследований служат в основном хвойные виды растений.

Многие исследователи считают, что без знания ритмики сезонных изменений невозможно раскрыть существенные стороны биологии и экологии аборигенных лесообразующих видов, а также жизни лесных биоценозов, образуемых ими [4, 5, 17, 21, 28, 30, 32].

Биологическая продуктивность и устойчивость древостоев в конечном итоге зависит от продолжительности и интенсивности роста всех органов дерева. При этом динамика формирования древостоем органического вещества определяется целым рядом экологических факторов. Поэтому выявление особенностей в реакциях различных меристем на изменение климатических и эдафических факторов в разных частях ареала того или иного вида лесообразователя представляет большой интерес в фундаментальных исследованиях.

Знание сезонной ритмики роста и развития лесных деревьев особенно важно для эффективной борьбы с энтомо- и фитовредителями [14], при аэрофотосъемке и аэротаксации лесов [13, 24]. Результаты этих исследований необходимы и для рационального проведения многих лесохозяйственных мероприятий (заготовка семян, посев и посадка древесных растений, внесение удобрений, проведение рубок ухода) [6, 16].

Анализ литературных источников позволил установить, что многие стороны формирования вегетативных органов у лиственных лесообразующих видов в сезонной динамике изучены слабо и нуждаются в дальнейшем уточнении. В частности, отсутствуют сведения об оптимальных значениях факторов среды, при которых рост деревьев происходит наиболее интенсивно; нет достаточной ясности в вопросе о ведущих факторах, определяющих рост деревьев во второй половине вегетационного периода; слабо изучены динамика и сроки реактивации камбия ствола у деревьев в связи с условиями местопроизрастания, возрастом и положением в пологом леса.

Работы, посвященные изучению влияния экологических факторов на рост лиственных лесообразующих видов крайне малочисленны [9, 11, 12, 20, 22].

В Карелии формации лиственных лесов представлены березняками, осинниками и ольшаниками. В связи с этим главной целью настоящей работы являлось определение особенностей роста березы пушистой (*Betula pubescens*)

Ehrn.), тополя дрожащего (*Populus tremula* (L.)) и ольхи серой (*Alnus incana* (L.) Moench)* под влиянием главнейших климатических факторов.

Объекты и методы исследований

Продолжительность и интенсивность сезонного роста побегов, листьев и стволов березы пушистой, тополя дрожащего и ольхи серой исследовали в 2004–2006 гг. в Средней Карелии (подзона северной тайги, Муезерский муниципальный район (63°50' N, 30°45' E)). Деревья березы пушистой произрастают в условиях березняка чернично-разнотравного (средний возраст – 67 лет, средняя высота – 18 м, средний диаметр стволов – 16 см), деревья тополя дрожащего – в условиях осинника злаково-черничного (средний возраст деревьев – 41 год, средняя высота – 18 м, средний диаметр стволов – 14 см), деревья ольхи серой – в условиях сероольшаника злаково-разнотравного (средний возраст деревьев – 60 лет, средняя высота – 12 м, средний диаметр стволов – 18 см).

Закладку пробных площадей и геоботаническое описание лесных фитоценозов проводили по общепринятым методикам [18, 19]. На каждой из трех пробных площадей выбирали по 10 учетных деревьев исследуемого вида (II–III классов роста и развития по Крафту).

За ростом побегов (без их срезания) наблюдали, используя методику А.А. Молчанова и В.В. Смирнова [15]. Площадь листьев (в основании молодых ауксибластов) оценивали с момента распускания вегетативных почек до полного прекращения роста через каждые 3 дн. Для этого листовые пластинки оконтуривали карандашом на белой бумаге, после чего площадь оконтуренных участков (т. е. площадь листьев на определенную дату) измеряли планиметром. Длину стеблей у побегов второго порядка ветвления с юго-западной части кроны измеряли на высоте около 2 м от поверхности почвы с момента набухания вегетативных почек.

Методика [15] также предусматривает возможность исследования роста побегов и листового аппарата (с их срезанием) по массе. Однако в наших условиях точность определения этих показателей оказалась крайне низкой (более 10 %), что и обусловило отказ от этой процедуры.

Для изучения сезонного радиального прироста древесины ствола у каждого учетного дерева отбирали образцы древесины через каждые 5 сут после начала деятельности камбия по методике [15]. Начиная с западной стороны ствола, на высоте 1,3 м вырезали фрагмент тканей, включающий кору и древесину. Для этого на исследуемой части ствола при помощи струга снимали пробку, стараясь не повредить лежащие ниже ткани коры. Скальпелем делали два параллельных надреза длиной 1,5 см на расстоянии около 0,5 см друг от друга на глубину не менее двух годичных слоев. Затем участки коры между ними перерезали сверху и снизу двумя параллельными надрезами через 2 мм и вынимали кусочки коры. После этого стамеской с шириной лезвия 5 мм делали зарубки на этих местах на глубину, чуть меньшую, чем два первых параллельных надреза. При помощи стамески вынимали образец (15×5×5 мм), стараясь не отделять кору от древесины. Образцы тканей ствола отбирали

*Названия типов леса даны по классификации В.Н. Сукачева.

вдоль воображаемой спирали – снизу вверх и слева направо. Между углублениями от взятых участков древесины должны оставаться ненарушенные участки ствола шириной около 1 см. Препараты древесины готовили для просмотра при помощи микротомы GRANUM-202 [25]. Ширину слоя древесины текущего года измеряли в трех местах (начиная от камбиальной зоны до зоны поздней древесины прошлого года) с точностью до 1 мкм, используя микроскоп МБМ с микрометром МОВ.

Объем выборки по каждому периоду (по каждому виду) наблюдений составил по 25 побегов и листьев и по 10 образцов тканей ствола. Суточный прирост определяли как разницу в показателях между последующим и предшествующим наблюдениями, отнесенную к числу суток этого периода.

Метеорологические данные получены от Ребольской метеостанции (Петрозаводская гидрометеобсерватория).

При обработке экспериментального материала применяли статистические методы [3]. Математический анализ экспериментальных данных осуществляли в четыре этапа. Вначале проводили статистический анализ в целях определения среднего арифметического значения варьирующего признака, степени его варьирования и показателя точности. Затем, исходя из поставленных задач, оценивали достоверность различия однородных признаков. После этого, если распределение вариантов в вариационном ряду отвечало закону нормального распределения случайных величин, проводили корреляционный анализ. Результаты математических анализов оценивали по 5-процентному уровню значимости, используя для этого табличные значения соответствующего критерия достоверности. Из полученных элементарных статистик следует, что при определении среднеарифметического значения прироста побегов показатель точности опыта составляет 4...6 %, коэффициент вариации – 15...26 %, листьев – соответственно 3...5 и 11...22 %, ствола – 6...8 и 17...30 %.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты исследований показали, что раньше всего (24. V) рост побегов начинается у деревьев *Betula pubescens*, через неделю – у деревьев *Populus tremula*, у деревьев *Alnus incana* – только 4. VI. Температура воздуха и сумма положительных температур (далее теплообеспеченность) при этом почти не различаются, составляя соответственно 12,2...13,4 и 521...544 °С (табл. 1). В Архангельской области, по данным А.В. Тимофеевой [22], рост побегов *Alnus incana* начинается при среднесуточной температуре воздуха 14,4 °С.

В дальнейшем темпы роста побегов продолжают испытывать влияние температуры воздуха. Максимальный прирост побегов быстрее всего наступает у деревьев *Alnus incana* и *Populus tremula* (22–27. VI), у деревьев *Betula pubescens* – лишь 16. VII. Температура воздуха при этом почти не различается, составляя 8,3...9,5 °С. Однако теплообеспеченность для деревьев первых двух видов во время этой фазы составляет всего 994...1030 °С, для последнего вида – 1354 °С. Суточный прирост побегов в это время наибольших значений достигает у деревьев *Betula pubescens* и *Populus tremula* (11,4 и 12,0 мм), тогда как у деревьев *Alnus incana* – всего 3,2 мм (табл. 2). По данным [1] в Архангельской области максимальный суточный прирост побегов *Alnus incana* – 3,0 мм.

Таблица 1

Температурный режим воздуха в период роста вегетативных органов у деревьев (среднеарифметические показатели за 3 года)

Вид	Начало роста			Кульминация прироста			Окончание роста		
	Дата	Средне-суточная температура воздуха	Сумма положительных температур	Дата	Средне-суточная температура воздуха	Сумма положительных температур	Дата	Средне-суточная температура воздуха	Сумма положительных температур
<i>Betula pubescens</i>	24. V	12,2	521	16 VII	19,2	1354	21 VII	18,3	1579
	4. VI	13,4	544	27 VI	18,3	1038	25 VII	19,0	1645
	31. V	12,5	525	22 VI	19,5	994	16 VII	18,7	1471
<i>Populus tremula</i>	28. V	11,8	472	9 VII	18,4	1563	25 VIII	13,1	2243
	9. VI	15,0	628	8 VII	19,4	1533	18 VIII	13,5	2197
	1. VI	9,6	559	2 VII	18,2	1234	19 VIII	12,8	2139
<i>Alnus incana</i>	15. VI	14,5	798	12 VII	18,0	1362	27 VIII	13,3	2110
	19. VI	15,7	925	8 VII	19,0	1408	26 VIII	14,2	2139
	20. VI	15,7	922	18 VII	18,9	1520	20 VIII	14,3	2113

55

Таблица 2

Некоторые характеристики прироста вегетативных органов у деревьев (среднеарифметические показатели за 3 года)

Вид	Прирост						Продолжительность роста, сут	
	максимальный суточный		Стволы, мкм		годичный		Побеги	Стволы
	Побеги, мм	Листья, мм ²	Стволы, мкм	Побеги, мм	Листья, см ²	Стволы, мм		
<i>Betula pubescens</i>	11,4±0,6	4,2±0,2	80,0±7,0	97,2±4,5	39,5±1,4	2,4±0,1	62	78
<i>Populus tremula</i>	12,0±0,7	1,7±0,1	50,0±2,3	98,9±5,4	61,0±2,1	6,3±0,3	43	70
<i>Alnus incana</i>	3,2±1,5	0,9±0,4	4,05±2,0	11,5±0,5	51,0±0,2	6,4±0,4	51	79

В это время между интенсивностью роста побегов и температурой воздуха отмечается прямолинейная зависимость средней силы (коэффициент корреляции $r = +0,57...+0,66$) (табл. 3). Заметное влияние температуры воздуха на рост побегов лиственных деревьев в лесостепной и таежной зонах установлено ранее [8, 10, 12, 20, 22].

Таблица 3

Коэффициент корреляции между интенсивностью роста вегетативных органов у деревьев и факторами среды (среднеарифметические показатели за 3 года)

Вид	Среднесуточная температура воздуха	Влажность воздуха	Атмосферные осадки	Суммарная солнечная радиация
<i>Побеги</i>				
<i>Betula pubescens</i>	0,57	0,27	0,44	0,23
<i>Populus tremula</i>	0,66	0,32	0,36	0,15
<i>Alnus incana</i>	0,66	0,61	0,44	0,29
<i>Листья</i>				
<i>Betula pubescens</i>	0,45	-0,19	-0,27	0,12
<i>Populus tremula</i>	0,59	-0,45	-0,28	0,18
<i>Alnus incana</i>	0,50	-0,32	-0,29	0,14
<i>Стволы</i>				
<i>Betula pubescens</i>	0,29	-0,17	-0,18	0,18
<i>Populus tremula</i>	0,30	-0,11	-0,18	0,17
<i>Alnus incana</i>	0,34	-0,12	-0,12	0,29

Примечание. Коэффициент корреляции достоверен на 5 %-м уровне значимости, если его абс. значение превышает 0,30.

После кульминации прироста побегов зависимость между интенсивностью их роста и температурой воздуха уже не прослеживается.

Рост побегов у изученных видов прекращается во второй половине июля, причем у деревьев *Alnus incana* (16. VII) на 10 сут раньше, чем у деревьев *Populus tremula*. Температура воздуха и теплообеспеченность в это время также почти не различаются, составляя соответственно 18,3...19,0 и 1471...1645 °С.

Наибольшая продолжительность роста побегов характерна для деревьев *Betula pubescens* – 62 дн., наименьшая – для деревьев *Populus tremula* – 43 дн. (см. табл. 2). Годичный прирост этих видов достигает почти 10 см, у *Alnus incana* – в 10 раз меньше.

Как показали результаты исследований, время появления листьев у изученных видов существенно различается. Их рост раньше всех начинается у деревьев *Betula pubescens* (28. V) при температуре воздуха и теплообеспеченности соответственно 11,8 и 472 °С, у деревьев *Alnus incana* (1. VI) – соответственно при 9,6 и 559 °С. Отсюда можно сделать вывод, что температурный режим в период, предшествующий этой фенофазе, вместе с текущей температурой

определяют ее начало. У деревьев *Populus tremula* рост листьев начинается 9. VI при значительно больших значениях этих параметров – соответственно 15,0 и 559 °С (см. табл. 1).

Интенсивность роста листьев, как и побегов, также зависит от динамики среднесуточной температуры воздуха ($r = +0,45...+0,59$) (табл. 3). Наступление кульминации прироста листьев у изученных видов совпадает с повышенной температурой воздуха (до 18,2...9,4 °С) и теплообеспеченностью (1234...2563 °С). Влияние температуры воздуха на интенсивность роста листьев *Betula pubescens*, *Alnus incana* и *Populus tremula* в таежной и лесостепной зонах выявлено рядом авторов [7, 8, 10–12, 22]. Быстрее всего кульминация прироста листьев наступает у деревьев *Alnus incana* (2. VII), у других видов – 8-9. VII. В это время наибольшее значение суточного прироста листьев отмечено у деревьев *Betula pubescens* (4,2 мм²), у деревьев *Populus tremula* и *Alnus incana* он меньше соответственно в 2 и 4 раза (см. табл. 2).

Ранее всего рост листьев прекращается у деревьев *Alnus incana* и *Populus tremula* (18-19. VIII), у деревьев *Betula pubescens* – спустя неделю. Температура воздуха к этому времени существенно понижается (до 12,8...13,5 °С), теплообеспеченность повышается до 2139...2243 °С. Зависимость сроков прекращения роста листьев лесобразующих лиственных видов от температуры воздуха в средней таежной зоне отмечена и другими исследователями [7–10, 12, 22].

Наименьшая продолжительность роста листьев характерна для деревьев *Populus tremula* (70 сут), у других изучаемых видов она на 8...9 сут длиннее. Годичный прирост листьев также максимален у деревьев *Populus tremula* (61,0 см²), у других видов он на 10...20 см² меньше (табл. 2).

Рост древесины ствола у деревьев *Betula pubescens* начинается 15. VI, у двух других изученных видов – через 4...5 сут при близких значениях температуры (14,5...15,7 °С). Сумма положительных температур в момент начала данной фенофазы у деревьев *Betula pubescens* (798 °С) на 125 °С меньше, чем у двух других видов. Зависимость сроков начала образования древесины ствола от температуры воздуха в подзоне тайги установлена многими авторами как для хвойных [2, 23, 26, 27, 29, 31], так и для лиственных [7, 8, 10–12, 20, 22] видов деревьев.

Изменения в температурном режиме воздуха гораздо менее заметно сказываются на интенсивности деятельности камбия стволов, чем на приросте побегов и листьев ($r = +0,29...+0,34$) (табл. 3). Колебания температуры воздуха также отражаются на интенсивности роста древесины ствола как хвойных [2, 23, 26, 27, 29, 31], так и лиственных [7, 8, 10–12, 20, 22] видов деревьев.

Максимальный радиальный суточный прирост ствола у деревьев *Populus tremula* имеет место уже 8. VII, у *Populus tremula* и *Alnus incana* – соответственно через 4 и 10 сут. В это время температура воздуха достигает максимальных значений (18,0...19,0 °С), теплообеспеченность – 1362...1520 °С.

Деление камбиальных клеток ствола у деревьев *Alnus incana* прекращается 20. VIII, у других видов – на неделю позже. У изученных видов в момент прекращения роста древесины ствола температура воздуха и теплообеспеченность почти не различаются, составляя соответственно 13,3...14,3 и 2110...2139 °С.

Наименьшая продолжительность формирования древесины отмечена у деревьев *Alnus incana* (60 сут), у деревьев *Populus tremula* и *Betula pubescens* – соответственно на 1 и 2 нед. больше (см. табл. 2). Годичный радиальный прирост стволов у деревьев *Populus tremula* и *Alnus incana* (6,3...6,6 мкм) в 2,5 раза превышает этот показатель у деревьев *Betula pubescens*.

Выяснилось, что особенности роста вегетативных органов деревьев изученных видов определяются не только температурой воздуха, но также и другими факторами среды. Направление и сила этого влияния также зависят от биологии вида. Установлено, что на темпы роста побегов влажность воздуха и атмосферные осадки влияют положительно ($r = +0,27... +0,61$) (табл. 3). Между тем на динамику роста листьев и древесины ствола эти факторы оказывают слабое отрицательное влияние ($r = -0,11...-0,45$). Зависимость динамики прироста побегов и древесины стволов *Betula pubescens*, *Populus tremula* и *Alnus incana* от влажности воздуха и суммы осадков за период роста установлена ранее А.А. Козьминым [12], И.Т. Кищенко и И.В. Вантенковой [8], М.В. Скомарковой и др. [20] и А.В. Тимофеевой [22].

Суммарная солнечная радиация слабо отражается ($r = +0,12- +0,29$) на интенсивности роста вегетативных органов изученных видов (табл. 3).

Заключение

Исследования, проведенные в средней подзоне тайги, показали, что начало роста вегетативных органов у лесообразующих лиственных видов деревьев обусловлено влиянием главнейших климатических факторов и происходит в одинаковой последовательности. Установлено, что раньше всех рост начинается и заканчивается у деревьев *Alnus incana* и *Betula pubescens*, что является признаком более высокой степени адаптации этих видов по сравнению с деревьями *Populus tremula*.

Рост побегов у изученных видов деревьев начинается при одинаковом температурном режиме воздуха – 12,2...13,4 °С; листьев у деревьев *Alnus incana* и *Betula pubescens* – соответственно при температуре 9,6 и 11,8 °С, у деревьев *Populus tremula* – при 15 °С; стволов у деревьев всех видов – при одинаковой температуре – 14,5...15,7 °С.

Рост вегетативных органов у изученных видов заканчивается при одинаковом температурном режиме воздуха: побеги – при 18,3...17,3 °С, листья – при 12,8...13,5 °С, стволы – при 13,3...14,3 °С. Установлено, что интенсивность роста вегетативных органов у деревьев изученных видов в основном определяется температурой воздуха, причем в период усиленного их роста. На темпы роста побегов слабое положительное, как и на темпы роста листьев, слабое отрицательное влияние оказывают атмосферные осадки и влажность воздуха. Интенсивность роста вегетативных органов деревьев изученных видов в незначительной мере определяется и динамикой суммарной солнечной радиации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабич Н.А. Интродуценты в зеленом строительстве северных городов. Архангельск: АГТУ, 2008. 144 с.
2. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазена В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1996. 244 с.
3. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.
4. Елагин И.Н. Сезонное развитие сосняков европейской части СССР и Сибири // Фенология. 1969. Вып. 1, № 3. С. 7–9.
5. Елагина В.А. Сезонный рост сибирских хвойных пород: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Омск, 1969. 27 с.
6. Иваненко Б.И. Фенология древесных и кустарниковых пород. М.: Наука, 1962. 183 с.
7. Кищенко И.Т., Вантенкова И.В. Влияние погодных условий на сезонный рост осины в Северной Карелии // Лесоведение. 2014. № 6. С. 11–16.
8. Кищенко И.Т., Вантенкова И.В. Влияние экологических факторов на сезонный рост деревьев *Alnus incana* Moench. в Северной Карелии // Экология. 2013. № 4. С. 263–267.
9. Кищенко И.Т., Вантенкова И.В. Динамика сезонного роста *Betula pubescens* (*Betulaceae*) разного возраста в Северной Карелии // Растит. ресурсы. 2010. Т. 52, вып. 3. С. 27–32.
10. Кищенко И.Т., Вантенкова И.В. Сезонный рост березы пушистой в Северной Карелии // Лесоведение. 2011. № 4. С. 48–52.
11. Кищенко И.Т., Потапова М.Н. Сезонный рост побегов представителей *Betula* (*Betulaceae*) в условиях интродукции // Ученые записки ПетрГУ. 2012. Т. 2, № 8. (129). С. 7–10.
12. Козьмин А.А. Сезонная динамика роста березы повислой разного географического происхождения // Лесоведение. 2002. № 5. С. 78–80.
13. Мажугин И.Н. Сезонное фенологическое состояние насаждений лесного массива и его роль для аэросъемки лесов и дешифрирования аэроснимков // Сб. науч.-исслед. работ по лесн. хоз-ву. Л.: Наука, 1969. Вып. № 2. С. 324–326.
14. Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес. М.; Л.: Гослестехиздат, 1948. 124 с.
15. Молчанов А.А., Смирнов В.В. Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука, 1967. 95 с.
16. Некрасова Т.П. Влияние температуры воздуха на формирование пыльцы хвойных древесных пород // Лесоведение. 1970. № 6. С. 37–43.
17. Острошенко В.В. Сезонный рост ели аянской // Лесн. хоз-во. 1982. № 4. С. 52–55.
18. Полевая геоботаника. М.: АН СССР, 1964. Т. 3. 530 с.
19. Программа и методы биогеоценологических исследований. М.: АН СССР, 1974. 404 с.
20. Скомаркова М.В., Ваганов Е.А., Вирт К., Кирдянов А.В. Климатическая обусловленность радиального прироста хвойных и лиственных пород в подзоне средней тайги Центральной Сибири // География и природные ресурсы. 2009. № 2. С. 80–85.
21. Сукачев В.Н. Стационарное изучение растительности. Землеведение // Бюлл. Моск. общ-ва испытателей природы. Новая сер. 1950. Т. III (XLIII). С. 219–225.

22. Тимофеева А.В. Изучение сезонного роста ольхи серой (*Alnus incana* (L.) Moench) в Архангельской области // Лесохоз-инф. 2015. № 4. С. 17–22.
23. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
24. Харин Н.Г. Сроки аэрофотосъемки лесов в различных районах СССР // Организация лесн. хоз-ва и инвентаризация лесов. М.: Наука, 1963. С. 43–50.
25. Яценко-Хмелевский А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины. М.: Наука, 1954. 338 с.
26. D'Arrigo R.D., Jacoby G.C., Free R.M. Tree-Ring Width and Maximum Latewood Density at the North American Tree Line: Parameters of Climatic Change. *Canad. J. For. Res.*, 1992, vol. 22, pp. 1290–1296.
27. Briffa K.R., Jones P.D. Basic Chronology Statistics and Assessment. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Ed. by E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. Boston, 1990, pp. 137–152.
28. Borowski M., Dziekonski H. Rozklad przyrostu grubosci wzdluz stral sosen w zalezności od stanowiska socjalnego drzew. *Sylvan*, 1974, vol. 118, no. 11, pp. 8–15.
29. Dietrichson J. Proveniensproblemat belyst ved studies av vekstrytme og klima. *Meddelelser fra det Norske skogforsvesen*, 1964, bd. 19, no. 5, pp. 23–32.
30. Fiedler F., Wenk G. Der jahreszeitliche Ablauf des Dickenzuwachses von Fichten und Kiefern und seine Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren. *Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden*, 1973. Bd. 22. Nu. 3. Ss. 531–535.
31. Kozłowski T.T. Growth Characteristics of Forest Trees. *J. Forest.*, 1963, vol. 61, no. 9, pp. 655–662.
32. Leikola M. The Influence of Environmental Factors on the Diameter Growth of Forest Trees: Axonometric Study. *Acta For. Fen.*, 1969, vol. 92, pp. 1–144.
33. Mikola P. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa [On Variations in Tree Growth and Their Significance to Growth Studies]. *Comm. Inst. For. Fenn.*, 1950, no. 38(5), pp. 1–131.

Поступила 30.09.15

UDC 582.475.2:581.522.68

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.51

The Impact of Climatic Factors on the Seasonal Growth of Deciduous Trees of the Forest-Forming Species in the Taiga Zone

I.T. Kishchenko, Doctor of Biological Sciences, Professor

Petrozavodsk State University, Lenina pr., 33, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185640, Russian Federation; e-mail: ivanki@karelia.ru

The biological productivity of hardwood depends on the growth duration of all tree organs. The duration and intensity of the seasonal growth of shoots, leaves and stems of white birch

For citation: Kishchenko I.T. The Impact of Climatic Factors on the Seasonal Growth of Deciduous Trees of the Forest-Forming Species in the Taiga Zone. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1, pp. 51–63. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.51

(*Betula pubescens* Ehrh.), *Populus tremula* L. and grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) were investigated in 2002–2006 in the Middle of Karelia (the northern taiga subzone). The growth of vegetative organs of the studied trees species occurs in the following sequence. The shoots of *Betula pubescens* and *Alnus incana* start to grow in late May, of *Populus tremula* – in early June. We observed new leaves of the first two types in 4–5 days after the beginning of this phenophase; of *Populus tremula* – in 1 day. *Populus tremula* and *Alnus incana* started to form stem wood in mid-June, *Betula pubescens* – in 5 days. The culmination of the *Alnus incana* and *Populus tremula* shoots growth was marked in late June, of *Betula pubescens* – in mid-July; of leaves of *Alnus incana* – in early July, of trees of other species – a week later; stems of *Populus tremula* – in early July, and of other species – in 4...7 days. The growth of shoots in *Alnus incana* trees stops in mid-July, in *Betula pubescens* and *Populus tremula* trees – in 5...9 days; the stem growth – in late August, firstly in *Alnus incana* trees. The shoots formation period of *Populus tremula*, *Alnus incana* and *Betula pubescens* trees is 43, 51 and 62 days, respectively; the leaves formation period is 70, 79 and 78 days; the stem formation period is – 66, 60 and 72 days. The shoot growth in the studied species of trees begins at the same air temperature: 12.2...13.4 °C; the leaves growth of *Alnus incana* and *Betula pubescens* trees – at 9.6 and 11.8 °C, respectively, and of *Populus tremula* trees – at 15 °C. The stems of all species start to grow at 14.5...15.7 °C. The maximum growth of tree shoots of all species takes place at an air temperature of 18.3...19.2 °C; of leaves – at 18.2...19.4 °C; of stems – at 18.0...19.0 °C. The growth of vegetative organs of the studied species stops at the same air temperature conditions: shoots – at 18.3... 17.3 °C, leaves – at 12.8...13.5 °C, stems – at 13.3...14.3 °C. *Betula pubescens* is the least demanding tree to the air temperature regime among the studied species; all phases of growth of vegetative organs occur at the lowest temperatures and heat supply.

Keywords: *Betula*, *Populus*, *Alnus*, shoot, leave, stem, environmental factor, growth.

REFERENCES

1. Babich N.A. *Introdutsenty v zelenom stroitel'stve severnykh gorodov* [Exotic Species in Green Building in the Northern Cities]. Arkhangelsk, 2008. 144 p.
2. Vaganov E.A., Shiyatov S.G., Mazepa V.S. *Dendroklimaticheskie issledovaniya v Uralo-Sibirskoy Subarktike* [Dendroclimatic Studies in the Ural-Siberian Subarctic]. Novosibirsk, 1996. 244 p.
3. Zaytsev G.N. *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* [Mathematical Statistics in Experimental Botany]. Moscow, 1984. 424 p.
4. Elagin I.N. Sezonnoe razvitiye sosnyakov evropeyskoy chasti SSSR i Sibiri [Seasonal Development of Pine Forests of the European Part of the USSR and Siberia]. *Fenologiya*, 1969, vol. 1, no. 3, pp. 7–9.
5. Elagina V.A. *Sezonnyy rost sibirskikh khvoynykh porod: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Seasonal Growth of Siberian Conifers: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Omsk, 1969. 27 p.
6. Ivanenko B.I. *Fenologiya drevesnykh i kustarnikovykh porod* [Phenology of Trees and Shrubs]. Moscow, 1962. 183 p.
7. Kishchenko I.T., Vantenkova I.V. Vliyanie pogodnykh usloviy na sezonnyy rost osiny v Severnoy Karelii [Influence of Weather Conditions on the Seasonal Growth of Aspen in North Karelia]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2014, no. 6, pp. 11–16.
8. Kishchenko I.T., Vantenkova I.V. Vliyanie ekologicheskikh faktorov na sezonnyy rost dere'vev *Alnus incana* Moench. v Severnoy Karelii [The Effect of Environmental

Factors on the Seasonal Growth of Trees of *Alnus incana* Moench in North Karelia]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2013, no. 4, pp. 263–267.

9. Kishchenko I.T., Vantenkova I.V. Dinamika sezonnogo rosta *Betula pubescens* (*Betulaceae*) raznogo vozrasta v Severnoy Karelii [The Dynamics of the Seasonal Growth of *Betula pubescens* (*Betulaceae*) of All Ages in North Karelia]. *Rastitel'nye resursy*, 2010, vol. 52, no. 3, pp. 27–32.

10. Kishchenko I.T., Vantenkova I.V. Sezonnny rost berezy pushistoy v Severnoy Karelii [Seasonal Growth of White Birch in North Karelia]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2011, no. 4, pp. 48–52.

11. Kishchenko I.T., Potapova M.N. Sezonnny rost pobegov predstaviteley *Betula* (*Betulaceae*) v usloviyakh introduktsii [Seasonal Growth of Shoots of the Representatives of *Betula* (*Betulaceae*) in the Introduction Conditions]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Petrozavodsk State University], 2012, vol. 2, no. 8(129), pp. 7–10.

12. Koz'min A.A. Sezonnaya dinamika rosta berezy povisloy raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya [Seasonal Growth Dynamics of European White Birch of Different Geographical Origin]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2002, no. 5, pp. 78–80.

13. Mazhugin I.N. Sezonnnoe fenologicheskoe sostoyanie nasazhdeniy lesnogo mas-siva i ego rol' dlya aeros"emki lesov i deshifirovaniya aerosnimkov [Seasonal Phenological State of the Forestland Plants and Its Role for the Aerial Survey of Forests and Aerial Photo-interpretation]. *Sb. nauch.-issled. rabot po lesn. khoz-vu* [Coll. Sci. and Research Works on Forest Management]. Leningrad, 1969, no. 2, pp. 324–326.

14. Melekhov I.S. *Vliyanie pozharov na les* [The Influence of Fires on the Forest]. Moscow; Leningrad, 1948. 124 p.

15. Molchanov A.A., Smirnov V.V. *Metodika izucheniya prirosta drevesnykh ras-teniy* [The Studying Technique of Woody Plants Growth]. Moscow, 1967. 95 p.

16. Nekrasova T.P. Vliyanie temperatury vozdukha na formirovanie pyl'tsy khvoynykh drevesnykh porod [The Air Temperature Effect on the Pollen Formation of Coniferous Trees]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1970, no. 6, pp. 37–43.

17. Ostroshenko V.V. Sezonnny rost eli ayanskoy [Seasonal Growth of Ajan Spruce]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1982, no. 4, pp. 52–55.

18. *Polevaya geobotanika* [Field Geobotany]. Moscow, 1964, vol. 3. 530 p.

19. *Programma i metody biogeotsenologicheskikh issledovaniy* [The Program and Methods of Biogeocoenological Research]. Moscow, 1974. 404 p.

20. Skomarkova M.V., Vaganov E.A., Virt K., Kirryanov A.V. Klimaticheskaya obuslovlennost' radial'nogo prirosta khvoynykh i listvennykh porod v podzone sredney taygi Tsentral'noy Sibiri [Climatic Conditionality of Radial Increment of Coniferous and Broad-leaved Species in the Middle Taiga Subzone of Central Siberia]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], 2009, no. 2, pp. 80–85.

21. Sukachev V.N. Statsionarnoe izuchenie rastitel'nosti. Zemlevedenie [Stationary Study of Vegetation. Physical Geography]. *Byullyuten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Novaya Seriya* [Bulletin of Moscow Society of Naturalists. New Series], 1950, vol. III(XLIII), pp. 219–225.

22. Timofeeva A.V. Izuchenie sezonnogo rosta ol'khi seroy (*Alnus incana* (L.) Moench) v Arkhangel'skoy oblasti [The Study of the Seasonal Growth of Grey Alder (*Alnus incana* (L.) Moench) in the Arkhangelsk Region]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], 2015, no. 4, pp. 17–22.

23. Shiyatov S.G. *Dendrokronologiya verkhney granitsy lesa na Urale* [Dendrochronology of the Upper Forest Border in the Urals]. Moscow, 1986. 136 p.
24. Kharin N.G. Sroki aerofotos"emki lesov v razlichnykh rayonakh SSSR [Dates of Aerial Survey of Forests in Various Parts of the USSR]. *Organizatsiya lesnogo khozyaystva i inventarizatsiya lesov* [Forest Management and Forest Inventory]. Moscow, 1963, pp. 43–50.
25. Yatsenko-Khmelevskiy A.A. *Osnovy i metody anatomicheskogo issledovaniya drevesiny* [Fundamentals and Methods of Anatomical Study of Wood]. Moscow, 1954. 338 p.
26. D'Arrigo R.D., Jacoby G.C., Free R.M. Tree-Ring Width and Maximum Latewood Density at the North American Tree Line: Parameters of Climatic Change. *Canad. J. For. Res.*, 1992, vol. 22, pp. 1290–1296.
27. Briffa K.R., Jones P.D. Basic Chronology Statistics and Assessment. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Ed. by E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. Boston, 1990, pp. 137–152.
28. Borowski M., Dziekonski H. Rozklad przyrostu grubosci wzdłuż stral sosen w zaleznosci od stanowiska socjalnego drzew. *Sylwan*, 1974, vol. 118, no. 11, pp. 8–15.
29. Dietrichson J. Proveniensproblemat belyst ved studies av vekstrytme og klima. *Meddeletser fra det Norske skogsforssvesen*, 1964, bd. 19, no. 5, pp. 23–32.
30. Fiedler F., Wenk G. Der jahreszeitliche Ablauf des Dickenzuwachses von Fichten und Kiefern und seine Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren. *Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden*, 1973. Bd. 22. Nu. 3. Ss. 531–535.
31. Kozlowski T.T. Growth Characteristics of Forest Trees. *J. Forest.*, 1963, vol. 61, no. 9, pp. 655–662.
32. Leikola M. The Influence of Environmental Factors on the Diameter Growth of Forest Trees: Axonometric Study. *Acta For. Fenn.*, 1969, vol. 92, pp. 1–144.
33. Mikola P. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa [On Variations in Tree Growth and Their Significance to Growth Studies]. *Comm. Inst. For. Fenn.*, 1950, no. 38(5), pp. 1–131.

Received on September 30, 2015

УДК 631.459.001.2:630*116.2/9
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.64

РЕКРЕАЦИОННАЯ НАГРУЗКА И МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭРОЗИЯ НА ГОРНЫХ СКЛОНАХ В ЛЕСАХ КОЛХИДЫ

В.М. Ивонин, д-р с.-х. наук, проф.

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

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, ул. Пушкинская, д. 111, г. Новочеркасск, Россия, 346428; e-mail: ivoninforest@ya.ru

Цель исследования – изучение влияния рекреации на процессы механической эрозии для получения данных о допустимом уровне рекреационной нагрузки в лесах Колхиды. Методы исследований: моделирование рекреационных нагрузок; определение массы почвы, фрагментов лесной подстилки и травы, перемещенной по склону при движении туристов. В отсутствие рекреационных нагрузок на склонах ущелий в лесах Колхиды сухая масса лесной подстилки и травы в среднем не превышает 4,0 т/га. С увеличением рекреационной нагрузки подстилка и трава постепенно разрушаются и вместе с почвой перемещаются к подошве склона. Механическую эрозию почв под воздействием ног туристов подразделяют на следующие этапы: первый (рекреационная нагрузка ≤ 1 чел./га) – частичное разрушение лесной подстилки и травяного покрова с перемещением их фрагментов по склону; второй (1...9 чел./га), повторяя первый, включает полное разрушение и передвижение вниз по склону фрагментов подстилки и травы вместе с почвой; третий (> 9 чел./га), повторяя второй этап, включает передвижение почвы без фрагментов лесной подстилки и трав. Установлены средние рекреационные нагрузки, при которых не бывает механической эрозии: крутизна склонов до 10° – рекреационная нагрузка меньше, чем 5,1 чел./га; крутизна 15° – 3,4 чел./га; крутизна 20° – 1,6 чел./га. Если крутизна склонов больше или равна 25° , механическая эрозия проявляется для всех уровней рекреационной нагрузки.

Ключевые слова: Колхида, лес, туризм, рекреационная нагрузка, механическая эрозия.

Введение

Под механической эрозией понимают систематический сдвиг почвы вниз по склону в результате работы сельскохозяйственных машин. Скорость механической эрозии находится в прямой зависимости от количества обработок почвы, характеристик рельефа местности и не зависит от метеорологических условий [6, 7].

Для цитирования: Ивонин В.М., Воскобойникова И.В. Рекреационная нагрузка и механическая эрозия на горных склонах в лесах Колхиды // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 64–72. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.64

Подобное воздействие на почву оказывают туристы, передвигающиеся вниз или вверх по склонам в горных лесах. Подобные проблемы в тропических лесах различных регионов Коста-Рики рассматриваются в монографии [8].

При этом под ногами туристов происходит не только передвижение почвы, но и лесной подстилки с фрагментами живого напочвенного покрова [1, 4]. Эти явления так же можно отнести к механической эрозии, если рассматривать ее как результат силового воздействия рекреационных нагрузок на поверхность склона.

В лесах Западного Кавказа механическая эрозия почвы особенно сильно проявляется при рекреации в колхидских лиановых лесах, расположенных в ущельях горных речек и ручьев с крутыми склонами и высокой влажностью почв [2].

Основной ярус этих лесов представляет самшит колхидский (*Buxus colchica* Rojark) – СМ. Второй ярус образуют вековые деревья дуба скального (*Quercus petraea* L. ex. Liebl.) – ДС, или дуба иберийского (*Q. iberica* Stev.), граба кавказского (*Carpinus caucasica* Crossh.) – Г, каштана посевного (*Castanea sativa* Mill.), бука восточного (*Fagus orientalis* Lipsky) и др. Подлесок этих лесов составляют вечнозеленые кустарники: падуб колхидский (*Ilex colchica* Rojark), лавровишня лекарственная (*Laurocerasus officinalis* M. Roem) и др. В нижнем вечнозеленом ярусе подлеска встречается иглица колхидская (*Ruscus colchicus* P.F.Yeo) – ИГК. Внеярусную растительность представляют плющ колхидский (*Hedera colchica* C. Koch), ломонос виноградолистный (*Clematis vitalba* L.) и др. лианы.

Подрост самшита заселяет даже полки отвесных скал, с которых свисают папоротники и стебли плюща. Все это, при наличии живописных водопадов, порогов на речках и ручьях, привлекает туристов, под ногами которых возникает механическая эрозия почв на склонах ущелий.

Объекты и методика исследований

Механическую эрозию почв в колхидских лесах исследовали в 2005 – 2015 гг. на территории «33 водопада» – популярного рекреационного объекта Сочинского национального парка, расположенного в каньоне урочища Джегош (Головинское участковое лесничество, квартал 39, выдел 4). В каньоне ручья оборудована закольцованная тропа в виде деревянных трапов, мостиков, смотровых площадок возле отвесных откосов. Посетители, проходя по деревянным трапам, не оказывают существенного воздействия на окружающие ландшафты. Выше этого обустроенного участка находится грунтовая тропа, расположенная среди колхидского леса (табл. 1).

Методика исследований заключалась в следующем. На учетных площадках (размер 1,43×0,7 м) моделировали варианты рекреационных плотностей. Рекреационная плотность (по ОСТ 56-100-95) – это единовременное количество посетителей на единице лесной площади за период измерения. Определяется посредством давления на почву при равномерном шагании человека среднего веса со скоростью 3,0...3,5 км/ч (60 шагов/мин) на единице площади (1 м²).

Таблица 1

Таксационная характеристика колхидского леса на опытном участке

Состав	Возраст, лет	Средние		Класс бонитета	Полнота	Запас, м ³ /га
		высота, м	диаметр, см			
1 ярус – 10 СМ	120	6	7	III	0,3	40
2 ярус:						
5ДС	140	24	62		0,6	360
4Г		18	30			
1КЛП*		15	22			
Подрост**						
Подлесок***						

*КЛП – клен полевой.

**СМ до 6 тыс. шт./га: средний (высота 0,5...1,0 м) и мелкий ($\leq 0,5$ м).

***ИГК (редкий); ЖНП: окопник крупноцветковый, листовник сколопендровый, тайник овальный, трахистемон восточный и др.

Время шагания рассчитывали для сезона рекреации (120 дн.) и продолжительности нагрузки 1200 ч (варианты рекреационных плотностей от 1 до 11 чел./га имитировали при «шаговых» нагрузках от 7 до 80 мин в двукратной повторности) [5]. На площадках после каждого варианта рекреационной плотности учитывали воздушно-сухую массу оставшейся лесной подстилки (ЛП) и живого напочвенного покрова (ЖНП), выражая ее в тоннах на 1 га. На каждом варианте площадки, по ее нижнему краю (на листе пергаментной бумаги), учитывали общую массу передвинутую (под шаговой нагрузкой) почвы (П), фрагментов ЛП и ЖНП. Передвинутую массу в лабораторных условиях доводили до воздушно-сухого состояния и взвешивали по фракциям: ЛП + ЖНП, П.

Полученные данные обрабатывали с помощью компьютерных программ Statistic7.0 и Microsoft Office Excel.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика процессов механической эрозии

№ варианта	Рекреационная плотность, чел./га	Крутизна склона, град	Масса ЛП + ЖНП на склоне, т/га		Обобщенная масса $M_{об} = ЛП + ЖНП + П$, передвинутая к подошве склона т/га	В том числе	
			На поверхности	Засыпана почвой		ЛП + ЖНП	П
1	0,01	24	3,97	0	0	0	0
2	1	26	1,02	2,95	0	0	0
3	3	31	0,20	1,77	14,00	2,00	12,00
4	5	26	0	1,07	17,00	2,90	14,10
5	7	34	0	0,50	24,00	3,47	20,53
6	9	30	0	0	26,00	3,97	22,03
7	11	21	0	0	23,00	3,97	19,03

На склонах каньона (в районе исследований) в качестве контрольного был выбран вариант 1 с минимальной рекреационной плотностью $Rd = 0,01$ чел./га, где воздушно-сухая масса ЖНП составила 0,77 т/га, в том числе, т/га: окопник крупноцветковый (*Symphytum grandiflorum* DC.) – 0,12; трахистемон восточный (*Trachystemon orientalis* L.) – 0,33; плющ колхидский – 0,08; листовник сколопендровый (*Asplenium scolopendrium* (L.) Newman) – 0,14; тайник овальный (*Listera ovata* (L.) R.Br.) – 0,05; тамус обыкновенный (*Dioscorea communis* (L.) Caddick) – 0,01; другие виды – 0,04.

При $Rd = 1$ чел./га (вариант 2) на поверхности площадки общая масса ЖНП уменьшилась до 0,12 т/га (окопник – 0,01; трахистемон – 0,05; плющ – 0,04; листовник – 0,02 т/га). Большая часть ЛП и ЖНП (2,95 т/га) была втоптана в почву и замазана грязью. При этом на площадке были образованы бугорки, вытянутые поперек падения склона. За пределы площадки почва и фрагменты ЛП и ЖНП не были передвинуты.

При $Rd = 3$ чел./га (вариант 3) на поверхности площадки напочвенный покров практически отсутствовал (подстилка – 0,20 т/га). Фрагменты ЛП и ЖНП (1,77 т/га) были покрыты грязью и сдвинуты в террасовидные «оплывины». За пределы площадки под шаговой нагрузкой была перемещена обобщенная масса $M_{об} = ЛП + ЖНП + П$, равная 14,00 т/га, в том числе П – 12,00 т/га.

При $Rd = 5$ чел./га (вариант 4) поверхность площадки была вытоптана с образованием террасовидных оплывин, в которых были захоронены фрагменты напочвенного покрова. За пределы площадки было перемещено 17,00 т/га почвы и фрагментов ЛП и ЖНП, в том числе П – 14,10 т/га. Следовательно, на площадке осталось (втоптанно в почву и замазано грязью) 1,07 т/га фрагментов ЛП и ЖНП.

При $Rd = 7$ чел./га (вариант 5) поверхность площадки была вытоптана, замазано обувью туристов 0,50 т/га фрагментов ЛП и ЖНП. За пределы площадки было перемещено 24,00 т/га почвы и фрагментов ЛП и ЖНП ($M_{об}$), в том числе П – 20,53 т/га.

При $Rd = 9$ чел./га (вариант 6) на поверхности площадки были оттоптаны два корня самшита, что свидетельствует о значительной массе почвы, перемещенной за пределы площадки под шаговой нагрузкой. Общая перемещенная за предел площадки масса почвы и фрагментов ЛП и ЖНП составила 26,00 т/га. При этом на площадке не осталось фрагментов лесной подстилки и живого напочвенного покрова.

При $Rd = 11$ чел./га (вариант 7) поверхность площадки была равномерно вытоптана. В верхней части площадки обнажился корень самшита. Общая перемещенная за пределы площадки под шаговой нагрузкой масса почвы и фрагментов ЛП и ЖНП составила 23,00 т/га.

Проведенные нами исследования показали, что при возрастании рекреационных нагрузок непрерывный процесс механической эрозии можно разделить на три этапа. На первом этапе (при $Rd \leq 1$ чел./га) происходит частичное разрушение и передвижение вниз по склону фрагментов ЛП и ЖНП; на втором

этапе ($Rd = 1 \dots 9$ чел./га) дополнительно включается процесс полного разрушения и передвижения по склону фрагментов ЛП и ЖНП вместе с П; третий этап (при $Rd > 9$ чел./га) включает также процессы механического передвижения П уже без фрагментов ЛП и ЖНП.

На первом и втором этапах связь воздушно-сухой массы ЛП и ЖНП на поверхности склона (m , т/га) с рекреационной плотностью (Rd , чел./га) имеет следующий вид:

$$m = -0,593 \ln(Rd) + 1,135 \quad \text{при } r^2 = 0,981. \quad (1)$$

Имеем аналогичное уравнение связи массы ЛП и ЖНП, передвинутой под шагами туристов к подошве склона (m^* , т/га) с плотностью Rd :

$$m^* = -0,0398 Rd^2 + 0,828 Rd - 0,305 \quad \text{при } r^2 = 0,980. \quad (2)$$

Графическое решение уравнений (1) и (2) приведено на рис. 1.

Анализ рис. 1 (ряд 1) показывает, что при отсутствии рекреационных нагрузок в колхидских лесах на поверхности склонов ущелий воздушно-сухая масса ЛП + ЖНП не превышает 4,0 т/га. При возрастании рекреационных нагрузок эта масса, постепенно разрушаясь, передвигается к подошве склона и при $Rd \sim 7$ чел./га полностью деградирует под ногами туристов.

При этом часть фрагментов лесной подстилки и живого напочвенного покрова могут оставаться на склоне, втопанные в почву и засыпанные почвой (ряд 2).

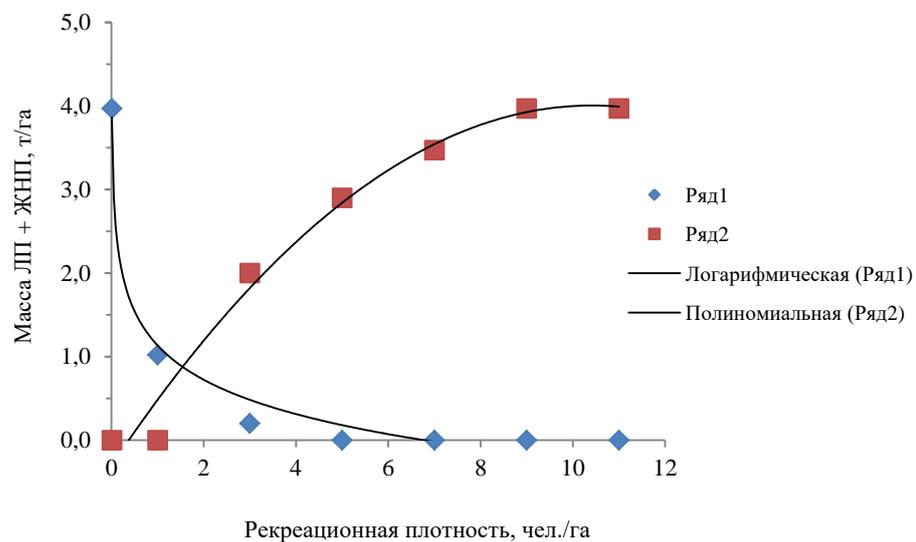


Рис. 1. Связь рекреационной плотности с воздушно-сухой массой ЛП+ЖНП, находящейся на поверхности склона (ряд 1) и передвинутой к его подошве (ряд 2)

Такие фрагменты под шагами туристов полностью передвигаются к подошве склона только при $Rd > 9$ чел./га. Следует отметить, что при $Rd = 7...9$ чел./га на поверхности склона масса ЛП + ЖНП полностью отсутствует, но часть этой массы остается в пределах склона, засыпанная или заманная почвой.

Вместе с фрагментами ЛП и ЖНП под шаговой нагрузкой за пределы площадки передвигается и почва (ЛП + ЖНП + П). Такая суммарная масса составляет обобщенную механическую эрозию, на передвижение которой под шагами туристов существенное влияние оказывает крутизна склона [2]. С увеличением рекреационных нагрузок доля почвы в обобщенной массе механической эрозии изменяется в пределах 0,83...0,85, т. е. остается примерно на одном уровне.

Передвинутая к подошве склона суммарная масса механической эрозии размывается при очередных паводковых разливах ручья.

По результатам исследований получено уравнение множественной связи обобщенной механической эрозии ($M_{об}$, т/га), рекреационной плотности (Rd , чел./га) и крутизны склонов (α , град):

$$M_{об} = 2,447Rd + 0,845\alpha - 20,898 \quad \text{при } R = 0,958. \quad (3)$$

Графическое решение уравнения (3) приведено на рис. 2, который показывает, что на склонах крутизной до 10° (склоны первой группы крутизны) Rd менее 5,1 чел./га не вызывает опасности механической эрозии; на склонах 15° – 3,4 чел./га; на склонах 20° – 1,6 чел./га. При крутизне склонов $\geq 25^\circ$ любые рекреационные нагрузки вызывают механическую эрозию ЛП + ЖНП + П.

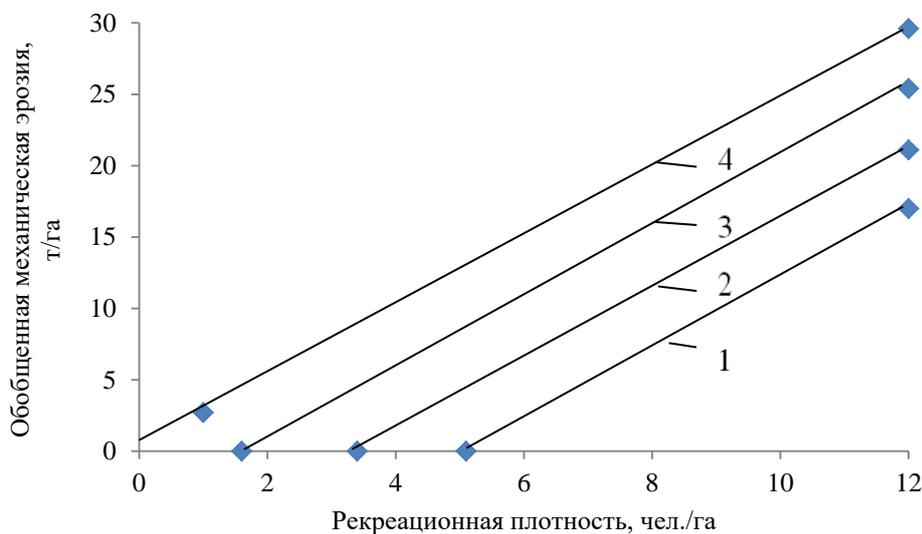


Рис. 2. Связь обобщенной механической эрозии с рекреационной плотностью и крутизной склона (углом α): 1 – $\alpha = 10^\circ$; 2 – 15° ; 3 – 20° ; 4 – 25°

Определенные нами допустимые рекреационные плотности включены в Рекомендации по осуществлению рекреационной деятельности [3].

Заключение

Процесс разрушения и передвижения почвы, лесной подстилки и живого напочвенного покрова (механическая эрозия) по мере возрастания рекреационных нагрузок на склонах можно разделить на три этапа: первый этап (рекреационная нагрузка ≤ 1 чел./га) – частичное разрушение ЛП и ЖНП с перемещением их фрагментов вниз по склону; второй этап (рекреационная нагрузка от 1 до 9 чел./га), повторяя первый, включает полное разрушение ЛП и ЖНП и передвижение их фрагментов вниз по склону вместе с почвой; третий этап (рекреационная нагрузка > 9 чел./га), повторяя второй, включает передвижение только почвы.

Анализ моделей парных связей показал, что с возрастанием рекреационных нагрузок до 7 чел./га масса ЛП и ЖНП, постепенно разрушаясь, передвигается к подошве склона. При рекреационной плотности от 7 до 9 чел./га на поверхности склона масса ЛП + ЖНП уже полностью отсутствует, но часть ее остается на склоне, захороненная почвой.

Анализ полученной множественной связи позволил рекомендовать допустимые рекреационные плотности, которые не вызывают механической эрозии почвы: склоны первой группы крутизны ($\leq 10^\circ$) – средняя рекреационная плотность $< 5,1$ чел./га; склоны крутизной 15° – $3,4$ чел./га; склоны крутизной 20° – $1,6$ чел./га. При крутизне склонов $\geq 25^\circ$ любые рекреационные нагрузки должны быть исключены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ивонин В.М., Воскобойникова И.В.* Влияние туризма на процессы эрозии почв в лесах низкогорий Северо-Западного Кавказа // Науч. журн. Российского НИИ проблем мелиорации. 2014. № 4(16). С. 87–104. Режим доступа: http://www.rosniipmsm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec299-field6.pdf
2. *Ивонин В.М., Воскобойникова И.В.* Экологическое обоснование рекреационной нагрузки в колхидских лиановых лесах // Лесоведение. 2008. № 4. С. 50–56.
3. *Ивонин В.М., Воскобойникова И.В., Пеньковский Н.Д., Багдасарян А.А.* Рекомендации по осуществлению рекреационной деятельности в лесах Западного Кавказа. Новочеркасск: Лик, 2015. 42 с.
4. *Ивонин В.М., Воскобойникова И.В., Пеньковский Н.Д., Багдасарян А.А.* Эрозия почв при осуществлении рекреационной деятельности в лесах Северо-Западного Кавказа: моногр. Ростов н/Д.: Фонд науки и образования, 2015. 202 с.
5. *Ивонин В.М., Пеньковский Н.Д.* Лесомелиорация ландшафтов. Научные исследования: учеб. пособие. Ростов н/Д.: СКНЦ ВШ, 2003. 151 с.
6. *Макарова М.С., Зацаринный В.А.* Перемещение пласта почвы при вспашке склоновых полей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 8. С. 16–18.

7. Рахимов З.С. Механическая эрозия почвы на склонах // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2005. № 5. С. 37–38.

8. Franke J. *Costa Rica's National Parks and Preserves*. US, WA, Seattle, 2009. 269 p.

Поступила 10.01.16

UDC 631.459.001.2:630*116.2/.9

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.64

Recreational Load and Mechanical Erosion on the Mountainsides in the Forests of Colchis

V.M. Ivonin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

I.V. Voskoboynikova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov, Branch of the Don State Agrarian University, Pushkinskaya ul., 111, Novocherkassk, 346428, Russian Federation; e-mail: ivoninfores@ya.ru

The goal of research is to study the impact of recreation on the mechanical erosion processes and to obtain data on the acceptable level of recreational load in the forests of Colchis. The following research methods are used: modeling of recreation loads; determination of the soil weight, fragments of forest litter and grass, moved down the slope by tourists. The dry weight of forest litter and grass on the average does not exceed 4.0 t/ha in the absence of recreational loads on the gorge slopes in the forests of Colchis. With the increase of recreational load the litter and grass are gradually destroyed and, together with the soil, move to the base of slope. Mechanical soil erosion under the influence of the feet of tourists is divided into the following stages: 1) (recreational load ≤ 1 person/ha.) the partial destruction of forest litter and grass cover with transportation of their fragments along the slope; 2) (1 ... 9 persons/ha) repeats the first stage and involves the complete destruction and transportation of fragments of litter and grass with the soil down the slope; 3) (> 9 persons/ha), repeats the second stage, involves the soil transportation without the fragments of forest litter and grasses. Average recreational loads, at which mechanical erosion is not observed, are established: at the slope inclination up to 10° recreational load is less than 5.1 persons/ha; at the slope inclination of 15° – 3.4 persons/ha; at the slope inclination of 20° – 1.6 persons/ha. If the slope inclination is greater or equal to 25° , mechanical erosion is evident for all levels of recreational load.

Keywords: Colchis, forest, tourism, recreational load, mechanical erosion.

REFERENCES

1. Ivonin V.M., Voskoboynikova I.V. Vliyanie turizma na protsessy erozii pochv v lesakh nizkogoriy Severo-Zapadnogo Kavkaza [The Impact of Tourism on Soil Erosion in the Forests of Low Mountains of the North-West Caucasus]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo*

For citation: Ivonin V.M., Voskoboynikova I.V. Recreational Load and Mechanical Erosion on the Mountainsides in the Forests of Colchis. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1, pp. 64–72. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.64

NII problem melioratsii [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], 2014, no. 4(16), pp. 87–104. Available at: http://www.rosniipmsm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec299-field6.pdf.

2. Ivonin V.M., Voskoboynikova I.V. Ekologicheskoe obosnovanie rekreatsionnoy nagruzki v kolkhidskikh lianovykh lesakh [Ecological Substantiation of Recreational Load in the Liane Forests of Colchis]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2008, no. 4, pp. 50–56.

3. Ivonin V.M., Voskoboynikova I.V., Pen'kovskiy N.D., Bagdasaryan A.A. *Rekomendatsii po osushchestvleniyu rekreatsionnoy deyatel'nosti v lesakh Zapadnogo Kavkaza* [Recommendations for the Implementation of Recreational Activities in the Forests of the Western Caucasus]. Novocherkassk, 2015. 42 p.

4. Ivonin V.M., Voskoboynikova I.V., Pen'kovskiy N.D., Bagdasaryan A.A. *Eroziya pochv pri osushchestvlenii rekreatsionnoy deyatel'nosti v lesakh Severo-Zapadnogo Kavkaza: monogr.* [Soil Erosion Due to Recreational Activity in the Forests of the North-West Caucasus]. Rostov-on-Don, 2015. 202 p.

5. Ivonin V.M., Pen'kovskiy N.D. *Lesomelioratsiya landshaftov. Nauchnye issledovaniya: ucheb. posobie* [Landscape Forest Melioration. Research]. Rostov-on-Don, 2003. 151 p.

6. Makarova M.S., Zatsarinnyy V.A. Peremeshchenie plasta pochvy pri vspashke sklonovykh poley [Moving of the Soil Layer During the Plowing of Sloping Fields]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*, 2008, no. 8, pp. 16–18.

7. Rakhimov Z.S. Mekhanicheskaya eroziya pochvy na sklonakh [The Mechanical Soil Erosion on the Slopes]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny* [Tractors and Agricultural Machinery], 2005, no. 5, pp. 37–38.

8. Franke J. *Costa Rica's National Parks and Preserves*. US, WA, Seattle, 2009. 269 p.

Received on January 10, 2016

УДК 582.4:581.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.73

ЧЕРТЫ СХОДСТВА ДИНАМИКИ ДЛИНЫ ХВОИ ПО ГОДАМ РОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ

О.Н. Тюкавина, канд. с.-х. наук, доц.

Д.Н. Клевцов, канд. с.-х. наук, доц.

Н.А. Бабич, д-р с.-х. наук, проф.

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

Длина хвои сосны характеризуется сильной изменчивостью под влиянием различных внешних и внутренних факторов. Хвоя очень отзывчива к изменению условий среды, к любым антропогенным воздействиям. На ветви хвоя имеет различную длину по годам. Встречаются годы с аномально длинной и аномально короткой хвоей. Установлено, что синхронность пиков в динамике длины хвои по годам не зависит от типа леса, возраста (на примере культур сосны южной подзоны тайги) и полноты древостоя, интенсивности осушения (на примере осушенных сосняков кустарничково-сфагновых). При сопоставлении данных нашего исследования с литературными отмечено, что динамика длины хвои по годам не зависит от условий произрастания, района произрастания, исследователя. Годы аномально больших значений длины хвои в анализируемых рядах: 1963, 1998, 1999, 2001, 2004; годы аномально малых значений длины хвои в анализируемых рядах: 1965, 1994, 1997, 2003, 2006. Следовательно, на аномальные значения длины хвои оказывает влияние глобальный фактор, являющийся равносильным как в южной, так и в северной тайге, который не зависит от показателей микроклимата, возраста насаждения, конкурентных отношений в нем. Таким фактором является солнечная активность. Для нивелирования эффектов от воздействия микроклиматических и эдафических факторов рассчитывали индексы длины хвои методом сглаживания с помощью 3–6-летнего (в зависимости от продолжительности жизни хвои) среднего. Для лет с синхронными аномально малыми и большими значениями длины хвои проведены выборки средних месячных значений солнечной активности, выражаемой числом Вольфа. Более полное представление о значении факторов получено при их анализе за 24 мес.: накануне и в годы аномалий. Наибольшее различие между индексами чисел Вольфа характерно для периода формирования аномальных значений длины хвои по сравнению с годом, предшествующим развитию хвои. В годы развития аномально больших значений длины хвои числа Вольфа превышают средние значения в 1,7 раза, в годы аномально малых значений длины хвои они в 2–5 раз ниже средних в анализируемых сериях. Следовательно, солнечная

Для цитирования: Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Бабич Н.А. Черты сходства динамики длины хвои по годам роста сосны обыкновенной в различных условиях произрастания // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 73–85. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.73

активность влияет на рост хвой и обуславливает синхронность пиков в динамике длины хвой.

Ключевые слова: длина хвой, индекс длины хвой, число Вольфа, солнечная активность, сосна обыкновенная.

Введение

Длина хвой сосны характеризуется сильной изменчивостью, которая проявляется как на уровне индивидуума [1, 10, 30, 33, 35], так и на географическом уровне [2, 22], под генетическим контролем [16, 21, 22, 47, 49].

Хвой очень чувствительна к условиям окружающей среды [22, 50], что позволяет использовать ее как критерий оценки лесорастительных условий [1, 12, 15, 32, 38], как индикатор загрязнения атмосферного воздуха [30, 39], как показатель жизненного состояния конкретного дерева и насаждения в целом [17, 19, 26, 36, 41]. Так, конкуренция деревьев приводит к уменьшению длины хвой [42, 46], снижение социальной напряженности в насаждении за счет рубок ухода увеличивает анализируемый показатель [11, 48]. Это связано с зависимостью длины хвой от концентрации в почве элементов минерального питания [40] и от освещенности [8, 9, 11]. Мелиорация способствует росту длины хвой сосны [11, 35, 43, 45]. При выборе объектов мелиорации длину хвой также можно применять в качестве индикатора (маркера) [45].

При использовании индикаторных возможностей хвой необходимо вводить поправки на колебания климатических условий [5, 7], так как динамика морфометрических показателей хвой обусловлена погодными условиями [5, 6, 19, 20, 27, 30, 44]. Однако Н.А. Бабич и др. [1, 2] установили, что динамика длины хвой по годам совпадает в разных типах леса северной и средней подзон тайги. Это указывает на влияние глобального климатического фактора, выявление которого позволило бы не только корректировать маркеры, но и прогнозировать динамику развития хвой и, как следствие, продуктивность сосны [4, 9, 13, 16, 28, 31, 34] за счет тесной прямой корреляционной зависимости параметров хвой и годичного прироста [14, 15].

Цель исследований – выявление сходства погодичной динамики длины хвой в различных условиях произрастания.

Объекты и методика исследований

Исследования проводили в культурах сосны 10-, 20-, 30- и 40-летнего возраста лишайникового, брусничного и черничного типов условий местопроизрастания Бабаевского лесничества (южная подзона тайги); а также в средневозрастных сосняках кустарничково-сфагновых осушенных с полнотой 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1 Архангельского лесничества (северная подзона тайги).

Пробные площади закладывали в соответствии с требованиями ОСТ 56-69-83: в лесных культурах – с учетом методических рекомендаций В.В. Огиевского, А.А. Хирова [18], А.Р. Родина, М.Д. Мерзленко [23]; в осушенных

сосняках – В.Г. Рубцова, А.А. Кнize [24], Н.Н. Соколова [29]. В лесных культурах на каждой пробной площади подбирали по 3 модели из средней ступени толщины, в осушенных сосняках – по 15 моделей пропорционально представленности по ступеням толщины. Параметры ассимиляционного аппарата изучали по годам согласно методическим рекомендациям Л.И. Базилевича и др. [3].

Для удаления эффектов от воздействия микроклиматических и эдафических факторов рассчитывали индексы длины хвои методом сглаживания с помощью 3–6-летнего (в зависимости от продолжительности жизни хвои) среднего.

Для лет с синхронными аномально малыми и большими значениями длины хвои проводили выборки средних месячных значений солнечной активности за 24 мес.: накануне и в годы аномалий. Числа Вольфа, отражающие динамику солнечной активности, брали из базы данных Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН [25].

Результаты исследования

В лесных культурах Бабаевского лесничества минимальные значения индекса длины хвои отмечены в 2006 г. на всех пробных площадях независимо от возраста и лесорастительных условий (табл.1). Отклонение от среднего составляло от 5 до 28 %. Наибольшие отклонения характерны для лишайниковых лесорастительных условий, наименьшие – в сосняке брусничном. Максимальные значения индекса отмечены в 2006 г. на 80 % пробных площадей независимо от возраста и лесорастительных условий. Отклонение от среднего составляло от 5 до 18 %. Наибольшие отклонения получены для лишайниковых лесорастительных условий.

Таблица 1

Динамика индекса длины хвои в зависимости от возраста насаждения и типа леса (Бабаевское лесничество)

Год развития хвои	Индекс длины хвои в сосняке возраста, лет									
	черничном		брусничном				лишайниковом			
	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
2006	0,84	0,89	0,88	0,93	0,81	0,95	0,72	0,88	0,75	0,88
2005	0,99	1,03	0,97	0,99	1,05	1,03	1,10	1,04	1,13	1,03
2004	1,11	1,05	1,08	1,08	1,05	1,06	1,18	1,09	1,12	1,05
2003	1,06	1,02	1,07	–	1,09	0,97	–	–	0,99	1,05

В сосняках кустарничково-сфагновых осушенных Архангельского лесничества наибольшие индексы длины хвои характерны для 1998 г. на всех пробных площадях независимо от расстояния до осушителя и относительной полноты древостоя (табл. 2). Отклонение от среднего составляло от 13 до 21 %. Наименьшие индексы длины хвои приходятся на 1997 г. на 90 % пробных площадей. Отклонение от среднего составляло от 10 до 16 %.

Таблица 2

Динамика индекса длины хвои в зависимости от относительной полноты древостоя и удаленности от осушителя (Архангельское лесничество)

Год развития хвои	Индекс длины хвои при полноте древостоя									
	0,4*	0,5	0,6*	0,7*	0,7	0,8	0,9*	1,0	1,0	1,1*
1999	–	–	1,07	–	0,94	–	1,00	–	1,00	–
1998	1,17	1,19	1,15	1,21	1,16	1,14	1,13	1,13	1,14	1,18
1997	0,90	0,85	0,92	0,86	0,89	0,85	0,85	0,84	0,89	0,88
1996	0,93	0,97	1,02	0,89	0,94	1,01	0,96	0,97	0,93	1,00
1995	1,04	1,04	1,13	1,00	1,07	1,05	1,09	1,09	1,08	1,03
1994	0,93	0,92	0,71	0,94	0,99	0,96	0,96	0,96	0,95	0,89
1993	1,03	1,04	–	1,11	–	0,99	–	1,00	–	1,02

* Межканальное пространство, в остальных случаях – приканальная полоса.

При сопоставлении наших данных с литературными отмечается синхронность динамики длины хвои по годам независимо от условий произрастания, района произрастания, исследователя (рис. 1). Годы аномально больших значений длины хвои в анализируемых рядах: 1963, 1998, 1999, 2001, 2004; годы аномально малых значений длины хвои в анализируемых рядах: 1965, 1994, 1997, 2003, 2006.

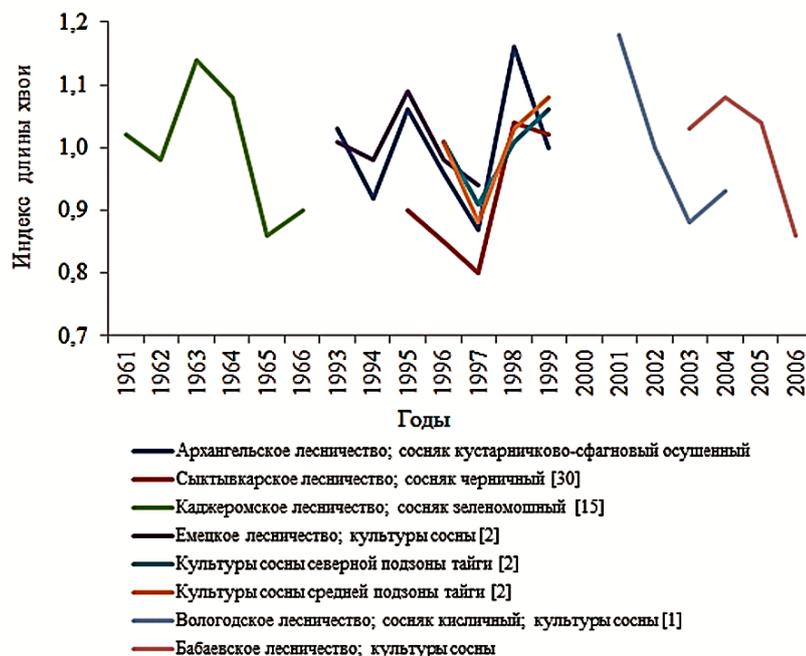


Рис. 1. Динамика длины хвои сосны различных районов произрастания в период с 1961 г. по 2006 г.

Следовательно, влияние на аномальные значения длины хвои оказывает глобальный фактор, являющийся равносильным как в южной, так и в северной тайге. Он не зависит от показателей микроклимата, возраста насаждения, конкурентных отношений в нем.

Все процессы на Земле, в том числе и жизнь, зависят от изменений, происходящих на Солнце. Между многими биологическими и периодическими процессами солнечной деятельности существует тесная связь [37].

Проанализируем влияние солнечной активности, выражаемой числом Вольфа, на динамику длины хвои по годам.

В сериях подобраны годы с синхронными аномально малыми и большими значениями. Для этих лет проведены выборки средних месячных значений солнечной активности. Более полное представление о значении фактора можно получить при их анализе за 24 мес.: накануне и в годы аномалий. Используем относительные значения длины хвои для совершенно разнородных объектов, числа Вольфа индексируем по анализируемым сериям лет (рис. 2).

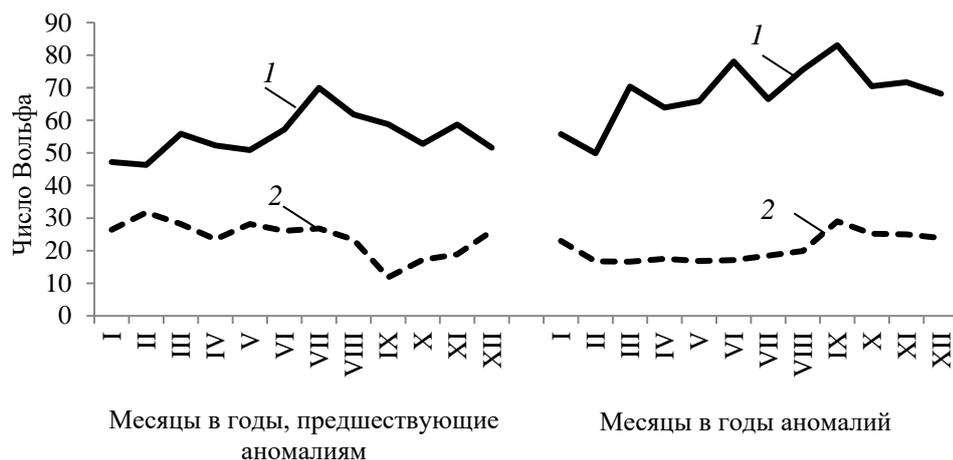


Рис. 2. Солнечная активность накануне и в годы максимальных (1) и минимальных (2) значений длины сосновой хвои

И в предшествующий, и в год развития аномально больших значений длины хвои в серии отмечаются большие значения чисел Вольфа, которые или равны средним в серии, или превышают средние значения в 1,7 раза.

В годы аномально малых значений длины хвои в серии и в предшествующие им годы отмечаются малые значения чисел Вольфа (в 2–5 раз ниже средних в анализируемых сериях). Наибольшее различие между числами Вольфа характерно для лет формирования аномально длинной хвои и аномально короткой. Следовательно, солнечная активность оказывает наибольшее влияние на длину хвои в годы ее формирования.

Наибольшие значения чисел Вольфа в годы формирования аномально длинной хвои отмечаются в марте, июне и сентябре. Однако рост хвои завершается в конце июля–начале августа [33]. Таким образом, наибольшее влияние солнечная активность оказывает на длину хвои в марте (в период вынужденного покоя) и в июне (в период ее активного роста).

В год формирования хвои, до августа, отмечается от значительной до высокой достоверная теснота корреляционной связи между длиной хвои и солнечной активностью, наибольшая достоверная корреляционная зависимость длины хвои от солнечной активности – в марте, апреле и июне (табл. 3).

Таблица 3

Зависимость длины хвои от солнечной активности

Показатель связи	Значение показателя по месяцам						
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль
r	0,64	0,66	0,83	0,76	0,65	0,71	0,58
m_r	0,11	0,11	0,06	0,08	0,11	0,11	0,13
t_r	5,44	5,93	13,99	9,00	5,84	6,45	4,54
η	0,64	0,68	0,77	0,82	0,74	0,81	0,75
m_η	0,12	0,11	0,08	0,06	0,08	0,07	0,08
t_η	5,40	6,37	10,09	13,05	8,45	12,24	8,88

Примечание. r – коэффициент корреляции; m_r – ошибка коэффициента корреляции; t_r – достоверность; η – корреляционное отношение; m_η – ошибка корреляционного отношения; t_η – достоверность.

Выводы

1. Не выявлено влияния возраста и лесорастительных условий на погодичную динамику длины хвои на примере лесных культур Бабаевского лесничества.
2. Показано на примере сосняков кустарничково-сфагновых осушенных Архангельского лесничества, что динамика длины хвои не зависит от расстояния до осушителя и относительной полноты древостоя.
3. Годы формирования аномально длинной хвои характеризуются повышенной солнечной активностью, годы формирования аномально короткой хвои – пониженной (относительно средних значений в серии исследуемых лет).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабич Н.А., Клевцов Д.Н., Евдокимов И.В. Зональные закономерности изменения фитомассы культур сосны. Архангельск: САФУ, 2010. 140 с.
2. Бабич Н.А., Мерзленко М.Д., Евдокимов И.В. Фитомасса культур сосны и ели в европейской части России. Архангельск, Сев.-Зап. кн. изд-во, 2004. 112 с.
3. Базилевич Л.И., Титлянова А.А., Смирнов В.В., Родин Л.Е., Нечаева Н.Т., Левин Ф.И. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. М.: Мысль, 1978. 183 с.

4. Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
5. Каменецкая И.В. Изменение массы и морфологии хвои разных возрастов в кронах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по годам в разных типах леса // Продуктивность и структура молодых сосняков. М.: Наука, 1973. С. 63–86.
6. Кищенко И.Т. Сезонный рост сосны в различных условиях местопроизрастания в связи с температурным режимом воздуха и почвы // Формирование продуктивных сосновых насаждений Карел. АССР и Мурманской области. Петрозаводск: Карел. филиал АН СССР, 1978. С. 12–30.
7. Кищенко И.Т. Сезонный рост хвои сосны в разных типах леса Южной Карелии // Лесоведение. 1978. № 2. С. 29–32.
8. Ковалев А.Г. Влияние интенсивности света на анатомо-морфологическое строение хвои сосны // Лесоведение. 1983. № 1. С. 29–34.
9. Ковалев А.Г., Антпова О.В. Рост хвои сосны обыкновенной при разной освещенности // Лесоведение. 1984. № 6. С. 22–28.
10. Кондратьев П.С. Закономерности формирования отдельных вегетативных органов дерева в разных типах леса и в разных зонах европейской части СССР: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. М., 1961. 22 с.
11. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Эколого-физиологические особенности хвойных на осушаемых землях. Архангельск: САФУ, 2010. 295 с.
12. Костин Н.В., Преснухин Ю.В., Тумашевич Т.Я. Размеры и масса хвои сосны обыкновенной в связи с производительностью насаждений // Моделирование лесных биогеоценозов. Петрозаводск, 1986. С. 99–105.
13. Кравченко Г.Л. Закономерности роста сосны. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 168 с.
14. Молчанов А.А. Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах. М.: АН СССР, 1952. 54 с.
15. Надуткин В.Д., Модянов А.Н. Надземная фитомасса древесных растений в сосняках зеленомошных // Вопросы экологии сосняков Севера: Тр. Коми филиала АН СССР. Сыктывкар, 1972. Вып. 24. С. 70–80.
16. Наквасина Е.Н. Ассимиляционный аппарат как показатель адаптации сосны обыкновенной к изменению климатических условий произрастания // Лесн. журн. 2009. № 3. С. 12–19. (Изв. высш. учеб. заведений).
17. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. М.: МЛТИ, 1989. 65 с.
18. Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. Л.: ЛТА, 1967. 50 с.
19. Онучин А.А., Спицына Н.Т. Закономерности изменения массы хвои в хвойных древостоях // Лесоведение. 1995. № 5. С. 48–58.
20. Патов А.И. Сезонная динамика роста надземных органов сосны и ели // Комплексные биогеоценологические исследования хвойных лесов Европейского Северо-Востока. Сыктывкар: Коми филиал, 1985. Вып. 73. С. 15–24.
21. Попов В.Я. О некоторых эколого-морфологических признаках сосны различного происхождения в Архангельской области // Лесн. журн. 1965. № 2. С. 15–16. (Изв. высш. учеб. заведений).
22. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 190 с.
23. Родин А.Р., Мерзленко М.Д. Методические рекомендации по изучению лесных культур старших возрастов. М.: ВАСХНИЛ, 1983. 36 с.

24. Рубцов В.Г., Книзе А.А. Закладка и обработка пробных площадей в осушенных насаждениях. Л.: ЛенНИИЛХ, 1977. 42 с.
25. Сайт Главной (Пулковской) астрономической обсерватории. 2015. Режим доступа: www.gao.spb.ru
26. Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. М.: Высш. шк., 1962. 378 с.
27. Смирнов В.В. Органическая масса в некоторых фитоценозах европейской части СССР. М.: Наука, 1971. 362 с.
28. Смирнов В.В. Сезонный прирост главнейших древесных пород. М.: Наука, 1964. 167 с.
29. Соколов Н.Н. Методические указания к дипломному проектированию по таксации пробных площадей. Архангельск: АЛТИ, 1978. 44 с.
30. Торлопова Н.В., Робакидзе Е.А. Влияние поллютантов на хвойные фитоценозы (на примере Сыктывкарского лесопромышленного комплекса). Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 146 с.
31. Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов // Лесоведение и лесоводство. 1975. Т. 1. С. 9–10.
32. Феклистов П.А., Бабич Н.А. Биометрические показатели ассимиляционного аппарата культур сосны // Экология и защита леса. Л.: ЛТА, 1990. С. 56–59.
33. Феклистов П.А., Бирюков С.Ю. Сезонный рост сосен скрученной и обыкновенной в северной подзоне тайги // Лесн. журн. 2006. № 6. С. 24–29. (Изв. высш. учеб. заведений).
34. 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.
35. Феклистов П.А., Тюкавина О.Н. Особенности ассимиляционного аппарата, водного режима и роста деревьев сосны в осушенных сосняках. Архангельск: САФУ, 2014. 179 с.
36. Цветков В.Ф., Никонов В.В. Структура и запасы фитомассы хвои в сосновых молодняках Кольского полуострова // Лесоведение. 1985. № 1. С. 32–39.
37. Чижевский А.П., Шишина Ю.Г. В ритме солнца. М.: Наука, 1969. 112 с.
38. Borgman E.M., Schoettle A.W., Angert A.L. Assessing the Potential for Maladaptation during Active Management of Limber Pine Populations: a Common Garden Study Detects Genetic Differentiation in Response to Soil Moisture in the Southern Rocky Mountains. *Canadian J. of Forest Research*, 2015, vol. 45, iss. 4, pp. 496–505.
39. Ballarin-Denti A., Cocucci S.M., Di Girolamo F. Environmental Pollution and Forest Stress: a Multidisciplinary Approach Study on Alpine Forest Ecosystems. *Chemosphere*, 1998, no. 36, pp. 1049–1054.
40. Helmisaari H.S. Spatial and Age-Related Variation in Nutrient Concentration of *Pinus sylvestris* Needles. *Silva Fennica*, 1992, vol. 26, no. 3, pp. 145–153.
41. Herrero A., Zamora R. Plant Responses to Extreme Climatic Events: a Field Test of Resilience Capacity at the Southern Range Edge. *PLoS ONE*, 2014, vol. 9(1), pp. 136–147.
42. Houšková K., Mauer O. Vliv Výchozí Hustoty Sazenic Na Morfologickou Kvalitu Nadzemní Části Borovice Lesní (*Pinus sylvestris* L.) 8 Let Po Výsadbě [Initial Density of Transplants and Its Effect on the Morphological Quality of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Above-Ground Part Eight Years after Planting]. *Zpravy Lesnického Vyzkumu* [Reports of Forestry Research], 2014, vol. 59(2), pp. 117–125.

43. Jankowski K., Sosnowski J., Wilk A., Malinowska E., Wiśniewska-Kadzajan B. Effect of Growth Regulators on Selected Morphological Features of Yellow Pine. *J. of Ecological Engineering*, 2014, vol. 15(4), pp. 105–108.
44. Junttila O., Heide O.M. Shoot and Needle Growth in *Pinus sylvestris* as Related to Temperature in Northern Fennoscandia. *Forest Science*, 1981, vol. 27, no. 3, pp. 423–430.
45. Li Z., Wang Y., Liu Y., Guo H., Li T., Li Z.-H., Shi G. Long-Term Effects of Liming on Health and Growth of a Masson Pine Stand Damaged by Soil Acidification in Chongqing, China. *PLoS ONE*, 2014, vol. 9(4), pp. 245–254.
46. McDonald P.M., Skinner C.N., Fiddler G.O. Ponderosa Pine Needle Length: An Early Indicator of Release Treatment Effectiveness. *Can. J. For. Res.*, 1992, vol. 22, pp. 761–764.
47. Nikolić B., Bojović S., Marin P.D. Morpho-Anatomical Traits of *Pinus peuce* Needles from Natural Populations in Montenegro and Serbia. *Plant Biosystems*, 2015, vol. 150(5), pp. 1038–1045.
48. Primicia I., Imbert J.B., Traver M.C., Castillo F.J. Inter-Specific Competition and Management Modify the Morphology, Nutrient Content and Resorption in Scots Pine Needles. *European J. of Forest Research*, 2014, vol. 133(1), pp. 141–151.
49. Simple Key to the Pines. *A Continuation of the Bulletin of Popular Information of the Arnold Arboretum, Harvard university*, 1951, vol. 11(9), pp. 63–70.
50. Wood P.J. Sampling Systems to Assess Variability in the Needles of Twelve Mexican Pines. *New Phytologist*, 1972, vol. 71(5), pp. 925–936.

Поступила 16.01.16

UDC 582.4:581.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.73

The Similarity of the Needle Length Dynamics on an Annual Basis of Scots Pine Growth in Different Conditions

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

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

N.A. Babich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

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

The pine needle length is characterized by strong volatility due to various external and internal factors. The needles are very responsive to the changes of environmental conditions, to any human impact. On the branches the needles have different length in dependence of the year. Moreover, the abnormally long and short needles are marked in different years. The coincidence of dynamics peaks of needle length does not depend on the forest type, age (for example, pine trees in the southern taiga subzone), stand density and drainage intensity (for example, drained shrub-sphagnum pine forests). Comparing our study data with the literature information we can state, that the dynamics of needle length according to years

For citation: Tyukavina O.N., Klevtsov D.N., Babich N.A. The Similarity of the Needle Length Dynamics on an Annual Basis of Scots Pine Growth in Different Conditions. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1, pp. 73–85. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.73

is not dependent on growing conditions, area, and the researcher. The years of anomalously large needle length are in the analyzed series: 1963, 1998, 1999, 2001, 2004; the years of abnormally low values of needle length are in the analyzed series: 1965, 1994, 1997, 2003, 2006. Consequently, a global factor, which is equivalent in the southern and northern taiga, which does not dependent on the climate indicators, age of crops, competition in it, affects on the abnormal needle length. That factor is the solar activity. To mitigate the effects of exposure of microclimatic and edaphic factors, the needle length index is calculated by the smoothing method using the 3–6 years (depending on the needle lifetime) average value. We carried out the sampling of average monthly values of solar activity, expressed by the Wolf number, for years with synchronous abnormally long and short needle length. A more complete understanding of the significance of the factors we observed in their analysis for 24 months: before and during the anomalistic years. The biggest difference between the indices of the Wolf numbers is typical for the period of formation of abnormal needle length, compared with a year preceding the needles development. During the development of abnormally long needle length the Wolf numbers exceed the average value by 1.7 times; in the years of abnormally short needles the Wolf number is by 2–5 times lower than the average in the analyzed series. Consequently, the solar activity affects the growth of needles and causes the synchronization of peaks in the needle length dynamics.

Keywords: needle length, needle length index, Wolf number, solar activity, Scots pine.

REFERENCES

1. Babich N.A., Klevtsov D.N., Evdokimov I.V. *Zonal'nye zakonomernosti izmeneniya fitomassy kul'tur sosny* [Zonal Patterns of Change in the Pine Phytomass]. Arkhangelsk, 2010. 140 p.
2. Babich N.A., Merzlenko M.D., Evdokimov I.V. *Fitomassa kul'tur sosny i eli v evropeyskoy chasti Rossii* [Phytomass of Pine and Spruce in the European Part of Russia]. Arkhangelsk, 2004. 112 p.
3. Bazilevich N.I., Titlyanova A.A., Smirnov V.V., Rodin L.E., Nechaeva N.T., Lev-in F.I. *Metody izucheniya biologicheskogo krugovorota v razlichnykh prirodnykh zonakh* [Methods of the Biological Cycle Studying in Different Natural Zones]. Moscow, 1978. 183 p.
4. Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zhabchenko S.S., Ivanchikov A.A., Morozova R.M. *Obmen veshchestv i energii v osnovnykh lesakh Evropeyskogo Severa* [Metabolism and Energy Change in the Pine Forests of the European North]. Leningrad, 1977. 304 p.
5. Kamenetskaya I.V. *Izmenenie massy i morfologii khvoi raznykh vozrastov v kronakh sosny obyknovенной (Pinus sylvestris L.) po godam v raznykh tipakh lesa* [The Weight and Morphology Change of Needles of Different Ages in the Crowns of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) on an Annual Basis in Different Types of Forests]. *Produktivnost' i struktura molodykh sosnyakov* [Productivity and the Structure of Young Pine Stands]. Moscow, 1973, pp. 63–86.
6. Kishchenko I.T. *Sezonnyy rost sosny v razlichnykh usloviyakh mestoproizrastaniya v svyazi s temperaturnym rezhimom vozdukha i pochvy* [Seasonal Growth of Pine in Various Growing Conditions in Relation to the Air and Soil Temperature Regime]. *Formirovanie produktivnykh osnovnykh nasazhdeniy Karel. ASSR i Murmanskoy oblasti* [Formation of Productive Pine Plantations in the Karelian ASSR and Murmansk Region]. Petrozavodsk, 1978, pp. 12–30.
7. Kishchenko I.T. *Sezonnyy rost khvoi sosny v raznykh tipakh lesa Yuzhnoy Karelii* [Seasonal Growth of Pine Needles in Different Forest Types in South Karelia]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1978, no. 2, pp. 29–32.

8. Kovalev A.G. Vliyanie intensivnosti sveta na anatomo-morfologicheskoe stroenie khvoi sosny [The Influence of Light Intensity on the Anatomical and Morphological Structure of Pine Needles]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1983, no. 1, pp. 29–34.

9. Kovalev A.G., Antipova O.V. Rost khvoi sosny obyknovennoy pri raznoy osveshchennosti [The Growth of Scots Pine Needles at Different Illumination]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1984, no. 6, pp. 22–28.

10. Kondrat'ev P.S. *Zakonomernosti formirovaniya otdel'nykh vegetativnykh organov dereva v raznykh tipakh lesa i v raznykh zonakh evropeyskoy chasti SSSR*: avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk [Laws of Formation of Separate Vegetative Tree Organs in Different Forest Types and Different Zones of the European Part of the USSR: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Moscow, 1961. 22 p.

11. Konvalov V.N., Zarubina L.V. *Ekologo-fiziologicheskie osobennosti khvoynykh na osushaemykh zemlyakh* [Ecological and Physiological Characteristics of Conifers on Drained Lands]. Arkhangelsk, 2010. 295 p.

12. Kostin N.V., Presnukhin Yu.V., Tumashevich T.Ya. Razmery i massa khvoi sosny obyknovennoy v svyazi s proizvoditel'nost'yu nasazhdeniy [Dimensions and Weight of Needles of Scots Pine in Connection with the Performance of Plantations]. *Modelirovanie lesnykh biogeotsenozov* [Modeling of Forest Ecosystems]. Petrozavodsk, 1986, pp. 99–105.

13. Kravchenko G.L. *Zakonomernosti rosta sosny* [Patterns of Pine Growth]. Moscow, 1972. 168 p.

14. Molchanov A.A. *Gidrologicheskaya rol' sosnovykh lesov na peschanykh pochvakh* [The Hydrological Role of Pine Forests on Sandy Soils]. Moscow, 1952. 54 p.

15. Nadutkin V.D., Modyanov A.N. Nadzemnaya fitomassa drevesnykh rasteniy v sosnyakh zelenomoshnykh [The Aboveground Phytomass of Woody Plants in the Moss Pine Forests]. *Voprosy ekologii sosnyakov Severa: Tr. Komi filiala AN SSSR* [The Issues of Pine Forests Ecology of the North: Proc. Komi Branch of the Academy of Sciences of the USSR]. Syktyvkar, 1972, no. 24, pp. 70–80.

16. Nakvasina E.N. Assimilyatsionnyy apparat kak pokazatel' adaptatsii sosny obyknovennoy k izmeneniyu klimaticheskikh usloviy proizrastaniya [Assimilation Apparatus as a Factor of Scotch Pine Adaptation to a Change of Growth Climatic Conditions]. *Lesnoy zhurnal*, 2009, no. 3, pp. 12–19.

17. Nikolaevskiy V.S. *Ekologicheskaya otsenka zagryazneniya sredy i sostoyaniya nazemnykh ekosistem metodami fitoindikatsii* [Environmental Assessment of Environmental Pollution and the State of Terrestrial Ecosystems by the Phytoindication Methods]. Moscow, 1989. 65 p.

18. Ogievskiy V.V., Khirov A.A. *Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur* [Survey and Research of Forest Crops]. Leningrad, 1967. 50 p.

19. Onuchin A.A., Spitsyna N.T. Zakonomernosti izmeneniya massy khvoi v khvoynykh drevostoyakh [Laws of Change of the Needles Mass in the Conifer Stands]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1995, no. 5, pp. 48–58.

20. Patov A.I. Sezonnaya dinamika rosta nadzemnykh organov sosny i eli [Seasonal Dynamics of Growth of Above-Ground Organs of Pine and Spruce]. *Kompleksnye biogeotsenologicheskie issledovaniya khvoynykh lesov Evropeyskogo Severo-Vostoka* [Complex Holocoenotic Research of Coniferous Forests of the European North-East]. Syktyvkar, 1985, no. 73, pp. 15–24.

21. Popov V.Ya. O nekotorykh ekologo-morfologicheskikh priznakakh sosny razlichnogo proiskhozhdeniya v Arkhangel'skoy oblasti [Some Ecological and Morphological Features of Pine of Different Origin in the Arkhangelsk Region]. *Lesnoy zhurnal*, 1965, no. 2, pp. 15–16.

22. Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Pine. Variability, Intraspecific Taxonomy and Selection]. Moscow, 1964. 190 p.
23. Rodin A.R., Merzlenko M.D. *Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu lesnykh kul'tur starshikh vozrastov* [Guidelines for the Study of Old Age Forest Plantations]. Moscow, 1983. 36 p.
24. Rubtsov V.G., Knize A.A. *Zakladka i obrabotka probnykh ploshchadey v osushennykh nasazhdeniyakh* [Establishing and Treating of Sample Plots in Drained Stands]. Leningrad, 1977. 42 p.
25. *Sayt Glavnoy (Pulkovskoy) astronomicheskoy observatorii. 2015* [The Site of the Main (Pulkovo) Astronomical Observatory. 2015]. Available at: www.gao.spb.ru.
26. Serebryakov I.G. *Ekologicheskaya morfologiya rasteniy* [Ecological Plant Morphology]. Moscow, 1962. 378 p.
27. Smirnov V.V. *Organicheskaya massa v nekotorykh fitotsenozakh evropeyskoy chasti SSSR* [Organic Mass of Some Plant Communities in the European Part of the USSR]. Moscow, 1971. 362 p.
28. Smirnov V.V. *Sezonnyy prirost glavneyshikh drevesnykh porod* [The Seasonal Increase of the Most Important Tree Species]. Moscow, 1964. 167 p.
29. Sokolov N.N. *Metodicheskie ukazaniya k diplomnomu proektirovaniyu po taksatsii probnykh ploshchadey* [Guidelines for Degree Designing on Inventory of Plots]. Arkhangelsk, 1978. 44 p.
30. Torlopova N.V., Robakidze E.A. *Vliyanie pollyutantov na khvoynye fitotsenozy (na primere Syktyvkarского лесопromyshlennogo kompleksa)* [The Effect of Pollutants on Coniferous Plant Communities (for Example, the Syktyvkar Timber Industry)]. Yekaterinburg, 2003. 146 p.
31. Utkin A.I. *Biologicheskaya produktivnost' lesov* [Biological Productivity of the Forests]. *Lesovedenie i lesovodstvo*, 1975, vol. 1, pp. 9–10.
32. Feklistov P.A., Babich N.A. *Biometricheskie pokazateli assimilatsionnogo apparata kul'tur sosny* [Biometric Indicators of the Assimilation Apparatus of Pine]. *Ekologiya i zashchita lesa* [Ecology and Forest Protection]. Leningrad, 1990, pp. 56–59.
33. Feklistov P.A., Biryukov S.Yu. *Sezonnyy rost sosen skruchennoy i obyknovennoy v severnoy podzone taygi* [Seasonal Growth of Shore Pine and Scotch Pine in the Northern Taiga Subzone]. *Lesnoy zhurnal*, 2006, no. 6, pp. 24–29.
34. Feklistov P.A., Evdokimov V.N., Barzut V.M. *Biologicheskie i ekologicheskie osobennosti rosta sosny v severnoy podzone evropeyskoy taygi* [Biological and Ecological Characteristics of Pine Growth in the Northern Subzone of the European Taiga]. Arkhangelsk, 1997. 140 p.
35. Feklistov P.A., Tyukavina O.N. *Osobennosti assimilatsionnogo apparata, vodnogo rezhima i rosta derev'ev sosny v osushennykh sosnyakakh* [Features of the Assimilation Apparatus, Water Regime and Pine Growth in Reclaimed Pine Forests]. Arkhangelsk, 2014. 179 p.
36. Tsvetkov V.F., Nikonov V.V. *Struktura i zapasy fitomassy khvoi v sosnovykh molodnyakakh Kol'skogo poluostrova* [The Structure and Needle Phytomass Stocks in Pine Young Forests in the Kola Peninsula]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1985, no. 1, pp. 32–39.
37. Chizhevskiy A.P., Shishina Yu.G. *V ritme solntsa* [In the Rhythm of the Sun]. Moscow, 1969. 112 p.

38. Borgman E.M., Schoettle A.W., Angert A.L. Assessing the Potential for Maladaptation during Active Management of Limber Pine Populations: a Common Garden Study Detects Genetic Differentiation in Response to Soil Moisture in the Southern Rocky Mountains. *Canadian J. of Forest Research*, 2015, vol. 45, iss. 4, pp. 496–505.
39. Ballarin-Denti A., Cocucci S.M., Di Girolamo F. Environmental Pollution and Forest Stress: a Multidisciplinary Approach Study on Alpine Forest Ecosystems. *Chemosphere*, 1998, no. 36, pp. 1049–1054.
40. Helmisaari H.S. Spatial and Age-Related Variation in Nutrient Concentration of *Pinus sylvestris* Needles. *Silva Fennica*, 1992, vol. 26, no. 3, pp. 145–153.
41. Herrero A., Zamora R. Plant Responses to Extreme Climatic Events: a Field Test of Resilience Capacity at the Southern Range Edge. *PLoS ONE*, 2014, vol. 9(1), pp. 136–147.
42. Houšková K., Mauer O. Vliv Výchozí Hustoty Sazenic Na Morfologickou Kvalitu Nadzemní Části Borovice Lesní (*Pinus sylvestris* L.) 8 Let Po Výsadbě [Initial Density of Transplants and Its Effect on the Morphological Quality of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Above-Ground Part Eight Years after Planting]. *Zpravy Lesnického Vyzkumu* [Reports of Forestry Research], 2014, vol. 59(2), pp. 117–125.
43. Jankowski K., Sosnowski J., Wilk A., Malinowska E., Wiśniewska-Kadzaján B. Effect of Growth Regulators on Selected Morphological Features of Yellow Pine. *J. of Ecological Engineering*, 2014, vol. 15(4), pp. 105–108.
44. Junttila O., Heide O.M. Shoot and Needle Growth in *Pinus sylvestris* as Related to Temperature in Northern Fennoscandia. *Forest Science*, 1981, vol. 27, no. 3, pp. 423–430.
45. Li Z., Wang Y., Liu Y., Guo H., Li T., Li Z.-H., Shi G. Long-Term Effects of Liming on Health and Growth of a Masson Pine Stand Damaged by Soil Acidification in Chongqing, China. *PLoS ONE*, 2014, vol. 9(4), pp. 245–254.
46. McDonald P.M., Skinner C.N., Fiddler G.O. Ponderosa Pine Needle Length: An Early Indicator of Release Treatment Effectiveness. *Can. J. For. Res.*, 1992, vol. 22, pp. 761–764.
47. Nikolić B., Bojović S., Marin P.D. Morpho-Anatomical Traits of *Pinus peuce* Needles from Natural Populations in Montenegro and Serbia. *Plant Biosystems*, 2015, vol. 150(5), pp. 1038–1045.
48. Primicia I., Imbert J.B., Traver M.C., Castillo F.J. Inter-Specific Competition and Management Modify the Morphology, Nutrient Content and Resorption in Scots Pine Needles. *European J. of Forest Research*, 2014, vol. 133(1), pp. 141–151.
49. Simple Key to the Pines. *A Continuation of the Bulletin of Popular Information of the Arnold Arboretum, Harvard university*, 1951, vol. 11(9), pp. 63–70.
50. Wood P.J. Sampling Systems to Assess Variability in the Needles of Twelve Mexican Pines. *New Phytologist*, 1972, vol. 71(5), pp. 925–936.

Received on January 16, 2016

УДК 630*64: 630*24

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.86

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ НАСАЖДЕНИЙ – ЗАДАЧА ИНТЕНСИВНОГО ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

О.И. Антонов, канд. с.-х. наук, доц.

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

Правильно организованное лесное хозяйство в своей основе содержит такое понятие, как цикл лесовыращивания. Цель этого хозяйства – производство древесины высокого качества. В правильно выстроенных рыночных лесных отношениях лес на корню является товаром. При соблюдении этих условий ведение лесного хозяйства способно приносить доход собственнику лесов. Продуктивность и товарность насаждений можно повысить регулярными, своевременно проводимыми интенсивными рубками ухода и внесением минеральных удобрений, улучшить качество формируемой древесины – обрезкой ветвей у отобранных для дальнейшего выращивания деревьев. Эти три лесоводственных приема составляют комплексный уход за лесом. Рентабельность лесовыращивания во многом определяется рубками ухода, проводимыми в молодняках и средневозрастных древостоях. Основная цель этих рубок заключается в формировании состава выращиваемого насаждения, оптимизации его густоты и пространственного размещения деревьев. Коммерческие рубки ухода позволяют заготавливать ликвидную древесину и получать дополнительный доход. Улучшения свойств производимой древесины можно добиться в результате проведения многократной обрезки ветвей. В странах с развитым лесным хозяйством она считается необходимой мерой ухода за лесом и почти классическим примером выгоды капиталовложений. 30-летними исследованиями установлено, что в результате своевременно выполняемой 3-приемной обрезки ветвей, проводимой в сочетании с регулярным разреживанием древостоев, формируется высококачественная бессучковая древесина, стоимость которой в 4–10 раз выше обычной. При распиловке такой древесины получают пиломатериалы отборного сорта и различные спецсортименты (резонансные, авиационные), при лущении или строгании – высококачественный фанерный шпон. В связи с этим обрезка ветвей должна стать обязательным мероприятием как средство перспективного капиталовложения. Неоднократное удобрение древостоев повышает их продуктивность, которая отмечается на протяжении 10 лет и более. Ежегодный дополнительный прирост древесины составляет от 1,5 до 2,0 м³/га. Увеличивается актуальное плодородие почвы, что приводит к интенсивному биокруговороту элементов питания, ускорению восстановительных процессов в фитоценозе и в его структурных компонентах.

Ключевые слова: комплексный уход за лесом, рубки ухода, обрезка ветвей, удобрение древостоев, качество древесины, правильное лесное хозяйство.

Для цитирования: Антонов О.И. Повышение качественной продуктивности насаждений – задача интенсивного лесного хозяйства // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 86–94. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.86

Необходимость ведения интенсивного лесного хозяйства становится все более очевидной проблемой, обусловленной в первую очередь его низкой рентабельностью. Для повышения экономической ценности лесных ресурсов и получения долгосрочного конкурентного преимущества требуется создание продукции с добавочной стоимостью.

Одна из задач правильного лесного хозяйства [15] как основы лесного сектора экономики заключается в получении максимально возможного и стабильного лесного дохода, который обеспечивается, в том числе, и за счет повышения качественной продуктивности насаждений в процессе интенсивного лесовыращивания. Это касается улучшения количественных и качественных параметров всего древостоя и каждого дерева в отдельности, а также свойств производимой древесины, которые служат базой для успешной работы различных отраслей лесопромышленного комплекса (лесозаготовительной, деревообрабатывающей, мебельной, целлюлозно-бумажной). Такие показатели, как сучковатость, плотность древесины, длина волокна и другие, влияют на качество конечной продукции и ее себестоимость.

Улучшить качество формируемой древесины у отобранных для дальнейшего выращивания деревьев можно многократной обрезкой ветвей, продуктивность и товарность насаждений можно повысить регулярными, своевременно проводимыми интенсивными рубками ухода и внесением минеральных удобрений. Эти три лесоводственных приема составляют комплексный уход за лесом (рис. 1).



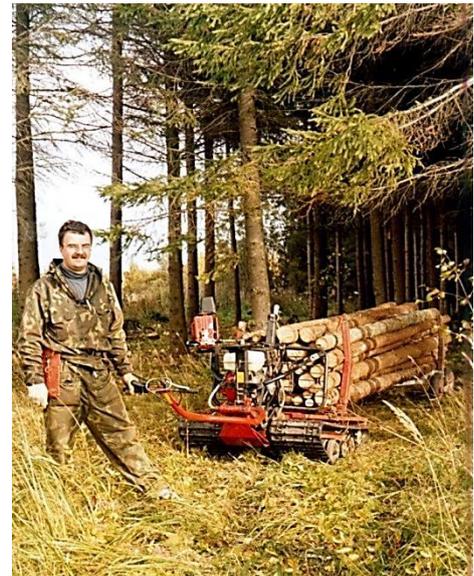
Рис. 1. Культуры ели европейской после проведения комплексного ухода (Орлинское участковое лесничество Гатчинского лесничества, квартал 105; 2016 г.)

Одним из основных мероприятий, определяющих рентабельность всего цикла лесовыращивания, являются рубки ухода в молодняках I класса возраста, или некоммерческие рубки ухода, которые проводятся в насаждениях до 20 лет. Основная цель этих рубок – формирование состава, оптимизация густоты и пространственного размещения деревьев в формируемом насаждении. Такие рубки являются затратными, так как получение ликвидной древесины в таком возрасте невозможно.

Некоммерческие рубки ухода требуются как в лесных культурах, так и в естественных молодняках. Причем посадка лесных культур без проведения в дальнейшем рубок ухода не имеет смысла.

Рубки ухода в молодняках II класса возраста и средневозрастных насаждениях (коммерческие рубки) также сводятся к оптимизации густоты и пространственного размещения деревьев, но при этом заготавливается ликвидная древесина, которая может быть реализована на свободном рынке лесоматериалов. Проведение коммерческих рубок ухода позволяет получать доход от лесовыращивания намного раньше окончательной рубки, увеличивая оборот денежных средств. При выполнении таких рубок возможно использование малогабаритной трелевочной техники (рис. 2).

Рис. 2. Транспортировка древесины с использованием мини-трактора «Железный конь» JH 129 PRO (Швеция)



После обязательных разреживаний древостоев для получения максимального дохода от лесовыращивания необходимо проводить еще два дополнительных лесохозяйственных приема: многократную обрезку ветвей у перспективных деревьев и внесение азотных удобрений.

Обрезка ветвей как средство борьбы с главным пороком древесины – сучковатостью – известна с давних времен. Еще римляне более 2 тыс. лет

назад говорили об обрезке сучьев у плодовых деревьев как о давнем для той эпохи техническом улучшении. Лукреций (I в. до н. э.) и Теофраст (IV–III вв. до н. э.) называли обрезку ветвей одним из приемов более тонкого ухода за деревьями в лесу [14]. О пользе обрезки высказывался и римский архитектор Марк Витрувий (I в. до н. э.) [2].

Выращивать высококачественные лесоматериалы с применением обрезки ветвей начали английские ученые в XVII в. Этой проблеме большое внимание уделяли лесоводы Германии, Швеции, Финляндии, Швейцарии, США и Японии. В XX в. обрезка получает наибольшее распространение в промышленно развитых странах, где она считается необходимой мерой ухода за лесом [16, 19, 21, 22] и является почти классическим примером выгоды капиталовложений [17]. В Финляндии такие работы ежегодно проводятся на площади 2...4 тыс. га и оцениваются примерно в 2 млн евро. За 1983–2013 гг. уходом с обрезкой ветвей пройдено 166,4 тыс. га [18].

В России первые опыты по обрезке ветвей осуществлены в корабельных дубовых лесах под руководством форстмейстеров М. Зельхера и И. Валентина (учеников известного лесовода Ф.Г. Фокеля) в середине XVIII в. на территории, занимаемой в настоящее время Республиками Чувашия, Марий Эл и Татарстан. Было обработано свыше 100 тыс. деревьев [2]. К сожалению, в дальнейшем обрезка ветвей в России не получила широкого практического распространения и проводилась лишь в опытных целях.

По результатам долгосрочных экспериментов сотрудниками лаборатории лесовосстановления Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства (СПбНИИЛХ) была разработана технология выращивания высококачественной древесины хвойных и лиственных пород [1, 11], которая предусматривала отбор насаждений и перспективных деревьев, установление таких параметров, как количество деревьев на 1 га, интенсивность обрезки, количество приемов, сроки и правила проведения работ, необходимый инструмент и др.

В целях разработки данной технологии подбирали 15–40-летние культуры и естественные древостои сосны, ели и березы Ia-II классов бонитета. Обрезку ветвей различной интенсивности проводили до высоты 4,0...7,5 м с использованием ручной штанговой пилы и специальной вилки конструкции СПбНИИЛХ. Также был поставлен опыт механизированной обрезки ветвей в культурах ели до высоты 13,0 м (для получения двух стандартных бревен) с применением сучкорезной машины KS-31 (Германия).

30-летними исследованиями установлено, что в результате своевременной выполняемой 3-приемной обрезки ветвей, проводимой в сочетании с регулярным разреживанием древостоев, формируется высококачественная бессучковая древесина. Последующая распиловка такой древесины позволяет получать пиломатериалы отборного сорта и различные спецсортименты (резонансные, авиационные), при лущении или строгании – высококачественный фанерный шпон.

Автором данной статьи были изучены свойства древесины ели, сформировавшейся после обрезки ветвей до высоты 7,0 м, проведенной в Сиверском опытном лесхозе под руководством проф. А.В. Давыдова в 1929 г. Было установлено, что в результате 60-летнего выращивания образовавшаяся древесина имеет довольно высокие предел прочности при сжатии вдоль волокон и ударную вязкость, значения которых превосходят стандартные, а также обладает резонансными свойствами: среднее значение акустической константы – $11,4 \text{ м}^4/\text{кгс}$.

Резонансная древесина является дорогим и остродефицитным материалом. В России стоимость 1 м^3 резонансного пиломатериала составляет 60...70 тыс. р., за рубежом – до 150 тыс. долл. США [20]. Сочетая обрезку ветвей умеренной интенсивности с рациональной густотой древостоя, можно целенаправленно выращивать резонансную древесину для производства музыкальных инструментов.

Процесс формирования ценной дорогостоящей древесины можно сравнить с технологией превращения алмазов в бриллианты, а само выполнение таких работ – с хирургической операцией, которая требует достаточно серьезной квалификации исполнителя.

При анализе хода роста модельных деревьев в 80-летних культурах ели (класс бонитета Ia) был сделан расчет возможного прироста объема высококачественной бессучковой древесины в результате своевременного проведения обрезки ветвей [1]. Установлено, что к возрасту рубки запас такой древесины достигнет $150...180 \text{ м}^3/\text{га}$. В связи с тем, что она оценивается гораздо выше, чем обычная, обрезка ветвей при лесовыращивании должна стать обязательной как средство перспективного капиталовложения. Это становится актуальным в связи с арендой участков лесного фонда на 49 лет и возможностью ее продления.

Вопрос о влиянии удобрений на повышение продуктивности насаждений и качество выращиваемой древесины нашел отражение в работах различных авторов [3–10, 12, 13]. Внесение азотных удобрений сказывается положительно на изменения в эдафотопе – повышается биологическая активность и уровень актуального плодородия почвы, что сопровождается интенсификацией биокруговорота элементов питания при сохранении стабильного баланса органического вещества в лесном биогеоценозе. Вследствие этого ускоряются восстановительные процессы не только в разреженном древостое, но и в фитоценозе и во всех его структурных компонентах [4].

В результате экспериментов, особенно в системе комплексного ухода за лесом, было установлено, что после 2–3-кратного применения удобрений древостой «закрепляется» на более высоком уровне продуктивности, даже после истечения срока их эффективного действия, т. е. более 10 лет. Дополнительный прирост варьирует в достаточно широких пределах (до $5,2 \text{ м}^3/\text{га}$ в год за 10 лет), но наиболее стабильно – от $1,5$ до $2,0 \text{ м}^3/\text{га}$ в год [4]. Ширина годичных колец увеличивается на 14...49 %. Отмечено небольшое снижение плотности древесины (1...10 %) в течение 4...7 лет после каждого приема ухода [7]. Применение азотных и смешанных удобрений в дозах 150 и 200 кг/га в прорастающих и спелых сосняках брусничных, черничных и ли-

шайниковых увеличивает ширину годичных слоев в 1,3–2,2 раза, процент поздней древесины – на 9,6...30,7; снижает число годичных слоев в 1,2–2,2 раза, формирует менее равномерные годичные слои по сравнению с контрольными древостоями [12]. Однократные и повторные внесения азотных удобрений в сосняке брусничном положительно влияют на строение, качество и показатели физико-механических свойств древесины (прочность при сжатии вдоль волокон и при статическом изгибе) [13].

В российском лесном хозяйстве в настоящее время удобрение лесов не применяется, в то время как в Финляндии эти работы за период с 1990 г. по 2013 г. выполнены на площади 600,4 тыс. га [17].

Таким образом, проведение регулярных, своевременных и интенсивных рубок ухода с внесением минеральных удобрений ведет к повышению продуктивности и товарности искусственных и естественных насаждений, применение 2–3-приемной обрезки ветвей у отобранных для дальнейшего выращивания целевых деревьев позволяет улучшить качество формируемой древесины. Эти мероприятия, регулируя горизонтальную и вертикальную структуру древостоев, повышают качественную продуктивность насаждений, а также их капитализацию и, соответственно, стоимость как товара.

В заключение следует отметить, что правильно организованное лесное хозяйство в своей основе содержит такое понятие, как цикл лесовыращивания, а в правильно выстроенных рыночных лесных отношениях лес на корню является товаром. Только при соблюдении этих условий ведение лесного хозяйства способно приносить доход собственнику лесов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов О.И. Влияние обрезки ветвей на рост культур и качество древесины ели: дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 2000. 104 с.
2. Давыдов А.В. Влияние сомкнутости насаждения и рубок ухода за лесом на сучковатость и форму стволов // Рубки ухода за лесом: сб. тр. Наркомлес ЦНИИЛХ. Л.: Гослестехиздат, 1940. С. 5–49.
3. Данилов Д.А. Влияние лесоводственных уходов на сосново-еловые древостои черничного типа леса // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: межвуз. сб. науч. тр. Архангельск: САФУ, 2013. С. 57–68.
4. Мельников Е.С. Лесоводственные основы теории и практики комплексного ухода за лесом: дис. ... д-ра с.-х. наук. СПб., 1999. 338 с.
5. Минин Н.С. К методам и способам исследований анатомического строения и плотности древесины древостоев, формирующихся под влиянием лесохозяйственных мероприятий // Проблемы лесоведения и лесоводства: материалы III Мелеховских чтений. Архангельск: АГТУ, 2005. С. 140–144.
6. Паавилайнен Э. Применение минеральных удобрений в лесу. М.: Лесн. пром-сть, 1986. 96 с.
7. Пеккоев А.Н. Качество древесины культур ели при ускоренном лесовыращивании // Лесн. журн. 2016. № 1. С. 89–99. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Подошвелев Д.А. Система лесоводственных мероприятий по ускоренному выращиванию крупномерной и топливной древесины: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Минск, 2011. 21 с.

9. Рябинин Б.Н. Предпосылки повышения продуктивности еловых культур при применении азотных удобрений и химических уходов // Технология создания и экологические аспекты выращивания высокопродуктивных лесных культур: сб. науч. тр. СПб.: ЛенНИИЛХ, 1992. С. 110–114.
10. Соколов А.И., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А. Результаты первых опытных работ по выращиванию плантационных культур сосны и ели в условиях средней тайги Карелии // Инновации и технологии в лесном хозяйстве: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: СПбНИИЛХ, 2012. Ч. 2. С. 177–181.
11. Старостин В.А. Влияние обрезки ветвей на рост культур сосны: дис. ... канд. с.-х. наук. Л., 1984. 110 с.
12. Степаненко И.И. Критерии и индикаторы роста, продуктивности лесных насаждений при их интенсивном выращивании // Лесн. журн. 2015. № 4. С. 18–27. (Изв. высш. учеб. заведений).
13. Степаненко И.И. Влияние интенсивных методов лесовыращивания с внесением минеральных удобрений на физико-механические свойства древесины сосны // Лесохозяйств. информ. 2008. № 5. С. 3–10.
14. Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. Л.: Гослестехиздат, 1939. 746 с.
15. Шутов И.В. Вехи лесного хозяйства России. СПб.: СПб ПУ, 2012. 284 с.
16. Arvidson A. Pruning for Quality. *Small Scale Forestry*, 1986, no. 1, pp. 1–7.
17. Axel R. Wirtschaftlichkeit der Wertastung. *Allgemeine Forst Zeitschrift fur Waldwirtschaft und Umweltsorge*, 1989. Bd. 44–45. Ss. 1188–1190.
18. *Finnish Statistical Yearbook of Forestry 2014*. Available at: www.metla.fi/julkaisut/metsatilastollinen.
19. Scholzke D. Die Astung von Fichtenbeständen in der Bundesrepublik Deutschland. *Forstund Holzwirt*, 1982. Bd. 12. Ss. 307–308, 310, 312, 314.
20. *Tonewood*. Available at: <http://www.tonewood.ch> (accessed 31.10.16).
21. Uleberg I. Kunstig kvisting som kvalitetsforbedrende tiltak. *Norsk. Skogbruk*, 1976, no. 2, pp. 9–10.
22. Vuokila Y. Karsiminen ja kasvu. *Metsantutkimuslaitoksen julkaisuja*, 1968, no. 66, p. 5.

Поступила 26.02.16

UDC 630*64:630*24

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.86

Qualitative Productivization of Forest Stands is the Goal of Intensive Forestry

O.I. Antonov, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

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

Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation;

e-mail: woodfm@mail.ru

Properly organized forestry basically contains a concept of a forest growing cycle. The goal of this forestry is to produce high quality wood. In the properly built market forest relations

For citation: Antonov O.I. Qualitative Productivization of Forest Stands is the Goal of Intensive Forestry. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1, pp. 86–94. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.86

the standing crop is a subject of sale. Under these conditions the forest management is capable of producing income to the owner of the forests. Productivity and marketability of crops can be improved by regular, timely conducted, intensive thinning and application of mineral fertilizers; the quality of the formed timber can be improved by cutting branches of selected for further cultivation trees. These three silvicultural techniques are the comprehensive forest care. Forest growing profitability is largely determined by thinning conducted in young and middle-aged stands. The main purpose of these thinning is to form the composition of cultivated crops, optimize the density and spatial distribution of trees. Commercial thinning allows commercial harvesting and earning extra income. The improvement of properties of manufactured wood can be achieved by multiple pruning. In the countries with developed forestry this approach is considered to be a necessary measure for thinning and almost classic example of a profitable investment. 30-year study demonstrates the formation of high-quality branchless wood, which costs 4–10 times higher, as a result of the timely implemented three-stage pruning, carried out in combination with the regular thinning of the stands. When wood sawing the clean timber and timber assortments (sounding, aircraft) are obtained; when peeling or slicing the high-quality plywood veneer is produced. In this regard, pruning should be an obligatory measure as a means of long-term investments. Repeated fertilizing of stands increases their productivity, which is observed for more than 10 years. Additional annual growth of wood is 1.5...2.0 m³/ha. The increasing of the actual soil fertility leads to the intense biocycling of fertilizer elements, acceleration of reconstructive processes in phytocenosis and its structural components.

Keywords: comprehensive forest care, thinning, pruning, fertilization of stands, wood quality, proper forestry.

REFERENCES

1. Antonov O.I. *Vliyanie obrezki vetvey na rost kul'tur i kachestvo drevesiny eli*: dis. ... kand. s.-kh. nauk [The Effect of Pruning on the Growth of Crops and the Quality of Spruce Wood: Cand. Agric. Sci. Diss.]. Saint Petersburg, 2000. 104 p.
2. Davydov A.V. *Vliyanie somknotosti nasazhdeniya i rubok ukhoda za lesom na suchkovatost' i formu stvolov* [The Influence of Stand Canopy Density and Thinning on the Branchiness and Stem Form]. *Rubki ukhoda za lesom: sb. tr. Narkomles TsNIILKh* [Proc. People's Committee of Forest of the Central Scientific Research Institute for Forestry "Thinning"]. Leningrad, 1940, pp. 5–49.
3. Danilov D.A. *Vliyanie lesovodstvennykh ukhodov na sosново-ellovye drevostoi chernichnogo tipa lesa* [The Effect of Thinning on Pine and Spruce Stands of the Myrtillus-Type Forest]. *Ekologicheskie problemy Arktiki i severnykh territoriy: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Ecological Problems of the Arctic and Northern Territories]. Arkhangelsk, 2013, pp. 57–68.
4. Mel'nikov E.S. *Lesovodstvennye osnovy teorii i praktiki kompleksnogo ukhoda za lesom*: dis. ... d-ra s.-kh. nauk [Silvicultural Foundations of the Theory and Practice of Comprehensive Forest Care: Dr. Agric. Sci. Diss.]. Saint Petersburg, 1999. 338 p.
5. Minin N.S. *K metodam i sposobam issledovaniy anatomicheskogo stroeniya i plotnosti drevesiny drevostoev, formiruyushchikhsya pod vliyaniem lesokhozyaystvennykh meropriyatiy* [The Methods and Techniques of Research of the Anatomical Structure and Wood Density of Stands, Formed Under the Influence of Forestry Activities]. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: materialy III Melekhovskikh chteniy* [Problems of Forest and Forestry: Proc. 3d Melekhov's Readings]. Arkhangelsk, 2005, pp. 140–144.

6. Paavilaynen E. *Primenenie mineral'nykh udobreniy v lesu* [Application of Fertilizer in the Forest]. Moscow, 1986. 96 p.
7. Pekkoev A.N. Kachestvo drevesiny kul'tur eli pri uskorennom lesovyrashchivaniy [Wood Quality of Spruce Crops Under Intensive Growing]. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 1, pp. 89–99.
8. Podoshvelev D.A. *Sistema lesovodstvennykh meropriyatiy po uskorennomu vyrashchivaniyu krupnomernoy i toplivnoy drevesiny: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Silvicultural System of Intensive Cultivation of Large-Sized Wood and Firewood: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Minsk, 2011. 21 p.
9. Ryabinin B.N. Predposylki povysheniya produktivnosti elovykh kul'tur pri primeneni azotnykh udobreniy i khimicheskikh ukhodov [The Background of Increasing Productivity of Spruce Crops at the Application of Nitrogen Fertilizers and Chemical Care]. *Tekhnologiya sozdaniya i ekologicheskie aspekty vyrashchivaniya vysokoproduktivnykh lesnykh kul'tur: sb. nauch. tr.* [Technology of Creation and Environmental Aspects of the Cultivation of High-Yield Plantations]. Saint Petersburg, 1992, pp. 110–114.
10. Sokolov A.I., Pekkoev A.N., Kharitonov V.A. Rezul'taty pervykh opytnykh rabot po vyrashchivaniyu plantatsionnykh kul'tur sosny i eli v usloviyakh sredney taygi Karelii [The Results of the First Experimental Work on the Cultivation of Plantation Pine and Spruce Crops in the Middle Taiga of Karelia]. *Innovatsii i tekhnologii v lesnom khozyaystve: materialy II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Innovations and Technologies in Forestry: Proc. 2nd Int. Sci. Prac. Conf.]. Saint Petersburg, 2012, part 2, pp. 177–181.
11. Starostin V.A. *Vliyanie obrezki vetvey na rost kul'tur sosny: dis. ... kand. s.-kh. nauk* [The Effect of Pruning on the Growth of Pine: Cand. Agric. Sci. Diss.]. Leningrad, 1984. 110 p.
12. Stepanenko I.I. Kriterii i indikatory rosta, produktivnosti lesnykh nasazhdeniy pri ikh intensivnom vyrashchivaniy [Criteria and Indicators of Growth, Productivity of Forest Stands Under Their Intensive Cultivation]. *Lesnoy zhurnal*, 2015, no. 4, pp. 18–27.
13. Stepanenko I.I. Vliyanie intensivnykh metodov lesovyrashchivaniya s vneseniem mineral'nykh udobreniy na fiziko-mekhanicheskie svoystva drevesiny sosny [The Effect of Intensive Methods of Forest Cultivation with Application of Mineral Fertilizers on the Physical and Mechanical Properties of Pine Wood]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], 2008, no. 5, pp. 3–10.
14. Tkachenko M.E. *Obshchee lesovodstvo* [General Forestry]. Leningrad, 1939. 746 p.
15. Shutov I.V. *Vekhi lesnogo khozyaystva Rossii* [The Milestones in the Russian Forestry]. Saint Petersburg, 2012. 284 p.
16. Arvidson A. Pruning for Quality. *Small Scale Forestry*, 1986, no. 1, pp. 1–7.
17. Axel R. Wirtschaftlichkeit der Wertastung. *Allgemeine Forst Zeitschrift fur Waldwirtschaft und Umweltsorge*, 1989. Bd. 44–45. Ss. 1188–1190.
18. *Finnish Statistical Yearbook of Forestry 2014*. Available at: www.metla.fi/julkaisut/metsatilastollinen/sk.
19. Scholzke D. Die Astung von Fichtenbestanden in der Bundesrepublik Deutschland. *Forstund Holzwirt*, 1982. Bd. 12. Ss. 307–308, 310, 312, 314.
20. *Tonewood*. Available at: <http://www.tonewood.ch> (accessed 31.10.16).
21. Uleberg I. Kunstig kvisting som kvalitetsforbedrende tiltak. *Norsk. Skogbruk*, 1976, no. 2, pp. 9–10.
22. Vuokila Y. Karsiminen ja kasvu. *Metsantutkimuslaitoksen julkaisu*, 1968, no. 66, p. 5.

Received on February 26, 2016

УДК 630*5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.95

ВЛИЯНИЕ ДОБРОВОЛЬНО-ВЫБОРОЧНЫХ РУБОК НА ТЕКУЩИЙ ПРИРОСТ ДРЕВЕСИНЫ В ВЫСОКОВОЗРАСТНЫХ ЕЛЬНИКАХ

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

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

Р.А. Ершов¹, асп.

И.В. Федотов¹, асп.

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

e-mail: ilintsev666@yandex.ru, s.v.tretyakov@narfu.ru

²Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова,
д. 13, г. Архангельск, Россия, 163062; e-mail: ilintsev666@yandex.ru

В статье представлена лесоводственно-таксационная характеристика высоковозрастных ельников, пройденных добровольно-выборочными рубками умеренной и умеренно высокой интенсивности. Проведенные исследования направлены на получение достоверных данных, характеризующих состояние, продуктивность и устойчивость к условиям внешней среды, техногенным и антропогенным воздействиям еловых насаждений, пройденных выборочными рубками. Объекты исследования расположены в Архангельском лесничестве и представлены перестойными еловыми насаждениями, пройденными выборочными рубками 15 и 17 лет назад. Всего заложено по 5 учетных пробных площадей (размер каждой – 0,04 га). На пробных площадях был произведен комплекс лесоводственно-таксационных работ. Для оценки влияния выборочных рубок на прирост древесины взято 60 образцов (кernов) древесины: 40 шт. – в насаждениях, пройденных рубкой (по 20 на каждом участке); 20 шт. – в нетронutom насаждении. Полученные на пробных площадях материалы обработаны принятыми в лесной таксации методами с использованием методов вариационной статистики. Проведен сравнительный анализ текущего прироста по диаметру до и после рубки различной интенсивности и в нетронutom насаждении. После добровольно-выборочных рубок происходило снижение прироста на протяжении 1...3 лет. Рассчитаны статистические критерии различия средних приростов, процента поздней древесины до и после проведения выборочных рубок различной интенсивности. Установлено, что добровольно-выборочные рубки умеренной и умеренно высокой интенсивности не снижают качества формируемой древесины, после рубки плотность древесины остается на высоком уровне – 409...458 кг/м³.

Ключевые слова: добровольно-выборочная рубка, интенсивность рубки, текущий прирост, плотность древесины.

Для цитирования: Ильинцев А.С., Третьяков С.В., Ершов Р.А., Федотов И.В. Влияние добровольно-выборочных рубок на текущий прирост древесины в высоковозрастных ельниках // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 95–103. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.95

Введение

По данным Лесного плана [4], ель в современном лесном фонде Архангельской области занимает преобладающее положение и составляет 10 784,6 тыс. га, или 49,4 % покрытой лесом площади, что вдвое больше сосны, на долю которой приходится 26,9 %.

По возрастной структуре среди еловых насаждений преобладают спелые и перестойные древостои, но практически нет приспевающих и очень мало средневозрастных насаждений, вследствие чего вырубка спелых древостоев не компенсируется поступлением насаждений из этих групп.

На Европейском Севере образовались значительные площади ельников, пройденных выборочными рубками различной интенсивности и сроком давности. С.В. Алексеев отмечал [1], что эксплуатация ельников началась с 1880 г.

Исследование воздействия выборочных рубок на оставшуюся часть древостоя представляет большой практический и теоретический интерес. В литературных источниках встречается мнение, что выборочные рубки не всегда способствуют улучшению качества древесины. Это прежде всего связано с различиями в ширине и строении годичных слоев до и после рубки, которые делают древесину неоднородной [5, 9, 10]. Ряд авторов [13, 14] при изучении ельников Севера пришли к выводу, что проведение выборочных рубок не снижает качества формируемой древесины, плотность древесины при этом увеличивается.

Этот вопрос требует большого внимания в связи с интенсификацией лесного хозяйства путем внедрения выборочных рубок, особенно при добровольной лесной сертификации системы лесоправления.

Для изучения реакции еловых древостоев на проведение выборочных рубок разной интенсивности в Ижемском участковом лесничестве Архангельского лесничества (квартал 102, выделы 4 и 6) были заложены временные пробные площади. В пасаках насаждений закладывали ленточную пробную площадь, которая состояла из учетных пробных площадей (размером 20×20 м), примыкающих друг к другу. Объектами исследования являлись перестойные еловые древостои, пройденные добровольно-выборочными рубками 15 и 17 лет назад. При закладке пробных площадей руководствовались ОСТ 56-69–83 [6] и методическими рекомендациями [11]. Пробные площади служили контрольными для определения эффективности проводимых лесохозяйственных мероприятий, оценки экологического состояния насаждений, затронутых рубками. На пробных площадях был проведен комплекс лесоводственно-таксационных работ. Полученные на пробных площадях материалы были обработаны принятыми в лесной таксации методами [2].

Объекты и методика исследований

Для изучения влияния добровольно-выборочных рубок на прирост древесины у оставшихся деревьев брали керны возрастным буравом. Деревья отбирали методом случайной выборки. При взятии и обработке кернов руководствовались

методическими рекомендациями [12]. Общее количество взятых кернов составляло 60 шт.: 40 шт. – в насаждениях, пройденных рубкой (по 20 на каждом участке); 20 шт. – в нетронутом насаждении.

Собранные в полевых условиях буровые керны анализировали в лаборатории. Размерные характеристики определяли измерителем параметров керна Sorim Maxi (точность прибора 0,01 мм).

Для определения плотности древесины использовали экспресс-метод, разработанный Г.А. Чибисовым, С.А. Москалевой, Л.Е. Крыжановской [15], в котором зависимость плотности древесины (R) от ширины годичных слоев (S) и процента поздней древесины (P) имеет следующий вид:

$$R = 279,3 - 10,8S + 4,9P. \quad (1)$$

Полученные данные приростов были обработаны с использованием методов вариационной статистики [3], стандартных статистических пакетов и офисной программы Microsoft Office Excel.

Результаты исследований и их обсуждение

По материалам сплошного перечета определена таксационная характеристика насаждений на пробных площадях (ПП) и восстановлена таксационная характеристика до рубки (см. таблицу). Измерены диаметры и высота пней, высота срубленных деревьев взята с графика высот.

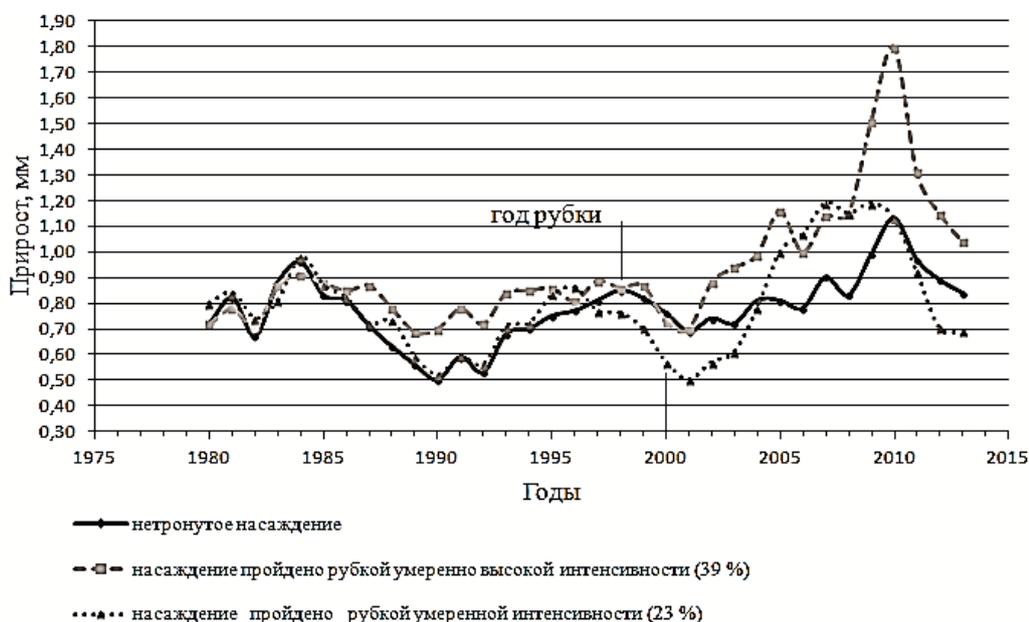
Пробные площади имеют схожую таксационную характеристику и близкие условия произрастания. Породный состав исследуемых насаждений представлен елово-березовым древостоем со вторым ярусом ели. Необходимо отметить, что данные насаждения являются разновозрастными, изменчивость возраста ели в выделе 4 достигает 100 лет, в выделе 6 – 150 лет. Высокая полнота пройденных добровольно-выборочной рубкой насаждений объясняется малым процентом выборки деревьев из пасеки: в первом случае – 23 %, во втором – 7 %. В выделе 4 общая интенсивность составляет 39 % (умеренно высокой интенсивности), в выделе 6 – 23 % (умеренной интенсивности) [8].

По средним значениям был построен график изменения текущего прироста по радиусу (см. рисунок). На кернах измерен прирост по радиусу (ширина годичного кольца) с 1980 г. по 2013 г.

После проведения в 1998 г. добровольно-выборочной рубки интенсивностью 39 % происходило снижение прироста по радиусу в течение 3 лет. Таким образом, в течение 3 лет ель адаптировалась к изменениям среды, начиная с 2001 г. она стабильно увеличивала прирост на протяжении 9 лет. Деревья ели давали прирост по радиусу ствола, в 2 раза и более превышающий этот показатель до рубки. Максимальное значение прироста, отмеченное в 2010 г. в насаждении, пройденном рубкой, составляло $1,80 \pm 0,12$ мм. В то же время в насаждении, не затронутом рубкой, прирост был максимальным – $1,13 \pm 0,09$ мм. Минимальные значения прироста в насаждении, пройденном рубкой, зафиксированы в 2001 г., в нетронутом насаждении – в 1990 г. Они составляли соответственно $0,70 \pm 0,11$ и $0,50 \pm 0,04$ мм.

Таксационная характеристика исследуемых насаждений

Номер выдела	Площадь ПП, га	Год закладки	Класс бонитета	Состав	Интенсивность рубки, %	Ярус	Порода	Средние			Сумма площадей сечений, м ² /га	Полнота	Запас древесины, м ³ /га		Выход деловой древесины, %	Класс товарности	
								возраст, лет	высота, м	диаметр, см			растущего	сухого			
4	0,2	2014	IV	7Е1Е2Б	-	1	Е	180	20,0	27,1	18,1	0,50	188	8	89	1	
									21,6	24,5	6,4	0,20	61		42	3	
									12,3	12,9	3,4	0,12	18		66	3	
<i>До рубки</i>																	
Итого	0,2	2014	IV	6Е1Е3Б	-	1	Е	185	19,6	26,2	18,4	0,52	154	3	84	2	
									20,0	18,3	7,2	0,25	71		53	3	
									12,7	13,4	4,4	0,23	27		65	3	
<i>После рубки</i>																	
4	0,2	2014	IV	6Е1Е3Б	23	1	Е	176	19,8	26,6	14,2	0,39	125	6	90	1	
									21,6	24,5	6,4	0,20	61		42	3	
									12,3	12,9	3,4	0,12	18		66	3	
Итого	0,2	2014	IV	6Е1Е3Б	7	1	Е	182	19,6	26,0	17,1	0,47	142	2	84	2	
									18	19,3	6,2	0,22	66		52	3	
									12,7	13,4	4,4	0,23	27		65	3	
<i>Итого</i>																	
						2	Е	-	-	-	27,7	0,92	235	4	-	-	-



Текущий прирост по радиусу в период с 1980 г. по 2013 г.

В 2000 г. в выделе 6 была проведена добровольно-выборочная рубка интенсивностью 23 %, после которой происходило снижение прироста в течение 1 года. Деревья ели быстро отзывались на проведение рубки, и уже в 2002 г. произошло увеличение прироста по радиусу, которое продолжалось на протяжении 8 лет. Максимальное значение прироста отмечено в 2007 г. и 2009 г.: соответственно $1,19 \pm 0,13$ и $1,19 \pm 0,10$ мм; минимальное ($0,50 \pm 0,06$ мм) – в 2001 г. Вероятно, синхронные колебания в снижении прироста связаны не только с проведением добровольно-выборочной рубки, но и с метеорологическими условиями.

Для сравнения различия средних приростов по годам в насаждении, не затронутом рубкой, и в насаждении, пройденном рубкой различной интенсивности, были рассчитаны коэффициенты различия.

Стандартное значение критерия Стьюдента (t_{st}) находили на основании числа степеней свободы для заданного уровня вероятности безошибочного заключения ($P = 0,95$; $P = 0,99$; $P = 0,999$). Число степеней свободы в нашем случае составляло 38, критерий Стьюдента для трех уровней безошибочного заключения – соответственно 2,0; 2,7; 3,6.

В результате сравнения средней ширины годичного слоя по годам у деревьев в насаждении, пройденном рубкой интенсивностью 39 %, и в нетронутом можно констатировать, что ширина прироста достигает достоверных значений различия в отдельные годы после проведения рубок: на 0,95 %-м уровне вероятности безошибочных прогнозов – в 2005 г. ($t_{\phi} = 2,68$); на 0,99 %-м – в 2008 г. ($t_{\phi} = 2,96$) и 2011 г. ($t_{\phi} = 2,82$); на 0,999 %-м – в 2009 г. ($t_{\phi} = 3,74$) и 2010 г. ($t_{\phi} = 4,47$). В остальных случаях различие не доказано.

Аналогичным образом было рассчитано различие между нетронутым насаждением и насаждением, пройденным рубкой интенсивностью 23 %. Средняя ширина прироста древесины на 0,95 %-м уровне вероятности отличается в 2000, 2001 и 2006 гг., на 0,99 %-м уровне вероятности – в 2008 г. В остальных случаях различие не доказано. Причем необходимо отметить, что за 4 года до рубки средняя ширина прироста в выделе 6 становится меньше, чем в насаждении, не затронутом рубкой. После проведения рубки среднее значение текущего прироста падает и начинает возрастать после 2004 г.

Средняя ширина годичного слоя до добровольно-выборочной рубки интенсивностью 39 % составляла $0,81 \pm 0,02$ мм, после рубки – $1,11 \pm 0,08$ мм. Показатель $t_{\phi} = 3,76$ свидетельствует об установлении различий между средней шириной годичного слоя до и после проведения рубки на любом вероятностном уровне. Коэффициент изменчивости – соответственно 8,95 и 26,32 %.

Средняя ширина годичного слоя до рубки интенсивностью 23 % составляла $0,75 \pm 0,11$ мм, после рубки – $0,86 \pm 0,25$ мм. Показатель $t_{\phi} = 1,50$ говорит об отсутствии статистического различия между средней шириной годичного слоя до и после проведения рубки. Коэффициент изменчивости – соответственно 15,29 и 29,90 %.

Средняя ширина годичного слоя в нетронутом насаждении – $0,78 \pm 0,02$ мм, коэффициент изменчивости – 16,59 %.

Важным показателем состояния древостоев является качество древесины. Процент поздней древесины традиционно рассматривается как важнейший фактор, влияющий на плотность древесины [14]. По нашим данным, средний процент поздней древесины у деревьев до рубки интенсивностью 39 % – $29,82 \pm 0,65$ %, после рубки – $28,80 \pm 1,10$ %. Показатель $t_{\phi} = 0,79$ подтверждает отсутствие различий на всех уровнях вероятности. Коэффициент изменчивости составляет соответственно 9,52 и 14,78 %.

Средний процент поздней древесины у деревьев до рубки интенсивностью 23 % – $34,29 \pm 0,95$ %, после рубки – $37,88 \pm 1,24$ %. Показатель $t_{\phi} = 2,30$ свидетельствует об установлении различия на 0,95 %-м уровне вероятности. Коэффициент изменчивости – соответственно 12,09 и 12,63 %.

Средний процент поздней древесины у деревьев, расположенных в нетронутом насаждении, составляет $29,37 \pm 0,69$ %, коэффициент изменчивости – 13,34 %.

Необходимо отметить, что главным показателем качества древесины является ее плотность, которая определяет не только многие физико-механические свойства древесины, но и высокую продуктивность древостоев [7].

Базисная плотность в нетронутом насаждении составляла 415 ± 4 кг/м³, до проведения добровольно-выборочной рубки интенсивностью 39 % (выдел 4) – 417 ± 6 кг/м³, после рубки – 409 ± 7 кг/м³ (показатель $t_{\phi} = 0,80$ указывает на отсутствие различия на всех уровнях вероятности); до проведения добровольно-выборочной рубки интенсивностью 23 % (выдел 6) – 438 ± 7 кг/м³, после рубки – 459 ± 7 кг/м³ (показатель $t_{\phi} = 2,10$ свидетельствует об установлении различия на 0,95 %-м уровне вероятности). Изменение базисной плотности связано с увеличением ширины годичного слоя и процентом поздней древесины.

Заключение

Проведение добровольно-выборочных рубок в еловом насаждении способствует увеличению радиального прироста оставленных деревьев по сравнению с нетронутым насаждением. Увеличение прироста не снижает качество формирующейся древесины, и после рубки плотность древесины остается на высоком уровне.

Соблюдение всех требований, рекомендаций и правильная организации работ при проведении добровольно-выборочных рубок в высоковозрастных ельниках в северо-таежных условиях, а также учет биологических особенностей древесных пород, оказывают положительное влияние на формирование сложных по структуре и строению насаждений, на сохранение защитных и средообразующих свойств леса и рациональное использование лесных земель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев С.В.* Рубки в лесах Севера. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1948. 64 с.
2. *Анучин Н.П.* Лесная таксация: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
3. *Гусев И.И.* Статистические показатели распределения: метод. указания к выполнению практ. работ по вариационной статистике. Архангельск: АЛТИ, 1980. 36 с.
4. Лесной план Архангельской области. Режим доступа: <http://www.dvinaland.ru/files/laws/175u.zip>. Дата обращения: 01.11.2014.
5. *Мелехов И.С.* Лесоводство. М.: Агропромиздат, 1989. 302 с.
6. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР. 60 с.
7. *Полубояринов О.И.* Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 159 с.
8. Правила заготовки: приказ Рослесхоза от 01.08.2011 г. № 337. Режим доступа: <http://www.gosleshoz.gov.ru>. Дата обращения: 01.11.2014.
9. *Рябокоть А.П.* Методология качества древесины // Строение, свойства и качество древесины-2000: материалы III Междунар. симп. Петрозаводск: Карел. НЦ РАН, 2000. С. 265–268.
10. *Рябокоть А.П.* Исследования качества древостоев // Лесн. журн. 2001. № 1. С. 36–45. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. *Соколов Н.Н.* Методические указания к дипломному проектированию по таксации пробных площадей. Архангельск: АЛТИ, 1978. 44 с.
12. *Столяров Д.П., Полубояринов О.И., Декатов Н.Н., Книзе А.А., Минаев В.Н., Молоткова Н.Д., Некрасова Г.Н., Ананьев В.А.* Методические рекомендации. Использование ядерной древесины в лесоводственных исследованиях. Л.: ЛенНИИЛХ, 1988. 43 с.
13. *Чибисов Г.А.* Смена сосны елью: моногр. Архангельск: СевНИИЛХ, 2010. 150 с.
14. *Чибисов Г.А., Москалева С.А.* Качество древесины ельников, формирующихся после выборочных рубок // Лесн. журн. 2000. № 4. С. 7–17. (Изв. высш. учеб. заведений).
15. *Чибисов Г.А., Москалева С.А., Крыжановская Л.Е.* Качество древесины сосны и ели, метод его определения // Сб. науч. тр. «Вопросы таежного лесоводства на Европейском Севере». Архангельск: СевНИИЛХ, 2005. С. 89–99.

Поступила 07.12.15

UDC 630*5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.95

The Effect of Voluntary-Selective Felling on the Basic Wood Increment in the Aged Spruce Forests

A.S. Il'intsev^{1,2}, Postgraduate Student, Research Scientist

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

R.A. Ershov¹, Postgraduate Student

I.V. Fedotov¹, Postgraduate Student

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnogo Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: ilintsev666@yandex.ru, s.v.tret'yakov@narfu.ru

²Northern Research Institute of Forestry, Nikitova ul., 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; e-mail: ilintsev666@yandex.ru

The article presents silvicultural and taxation characteristics of the aged spruce forests after moderate and moderately high voluntary-selective felling. The goal of research is to obtain reliable data characterizing the state, productivity and resistance of spruce forests after selective felling to environmental conditions, technological and human impacts. The objects of research are located in the Arkhangelsk forestry and presented by the overmature spruce stands, traversed by selective cutting 15 and 17 years ago. 5 temporary sample plots were established (each plot is 0.04 ha in size). The complex of silvicultural and forest inventory works were carried out on the sample plots. To assess the impact of selective logging on the wood increment 60 samples (cores) of timber were taken: 40 pcs. – in the plantations after logging (20 pcs. in each site), 20 pcs. – in the undisturbed forests. The data obtained on the sample plots were treated by the accepted forest inventory methods and variation statistics methods. A comparative analysis of the current growth in diameter before and after varying intensity cutting and in the undisturbed forests is carried out. The current increment is declined after the voluntary-selective felling over 1...3 years. The statistical tests of differences of mean increment, percentage of late wood before and after selective cutting of different intensities are calculated. Moderate and moderately high voluntary-selective felling do not reduce the quality of the formed wood; wood density after felling remains at a high level – 409...458 kg/m³.

Keywords: voluntary-selective felling, intensity of cut, current increment, wood density.

REFERENCES

1. Alekseev S.V. *Rubki v lesakh Severa* [Thinning in the Forests of the North]. Moscow; Leningrad, 1948. 64 p.
2. Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya: ucheb. dlya vuzov* [Forest Taxation]. Moscow, 1982. 552 p.

For citation: Il'intsev A.S., Tret'yakov S.V., Ershov R.A., Fedotov I.V. The Effect of Voluntary-Selective Felling on the Basic Wood Increment in the Aged Spruce Forests. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1. pp. 95–103. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.95

3. Gusev I.I. *Statisticheskie pokazateli raspredeleniya: metod. ukazaniya k vypolneniyu prakt. rabot po variatsionnoy statistike* [Statistical Indicators of Distribution]. Arkhangelsk, 1980. 36 p.
4. *Lesnoy plan Arkhangel'skoy oblasti* [The Forest Plan of the Arkhangelsk Region]. Available at: <http://www.dvinaland.ru/files/laws/175u.zip> (accessed 01.11.2014).
5. Melekhov I.S. *Lesovodstvo* [Forest Science]. Moscow, 1989. 302 p.
6. *OST 56-69–83. Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Industrial Standard 56-69–83. Forest Management Sampling Areas. The Establishment Method]. Moscow, 1983. 60 p.
7. Poluboyarinov O.I. *Plotnost' drevesiny* [Wood Density]. Moscow, 1976. 159 p.
8. *Pravila zagotovki: prikaz Rosleskhoza ot 01.08.2011 g. № 337* [Terms of Logging: Order of the Federal Forestry Agency No. 337 Dated August 01, 2011]. Available at: www.rosleshoz.gov.ru (accessed 01.11.2014).
9. Ryabokon' A.P. Metodologiya kachestva drevesiny [Methodology of Wood Quality]. *Stroenie, svoystva i kachestvo drevesiny-2000: materialy III Mezhdunar. simp.* [The Structure, Properties and Quality of Wood – 2000: Proc. 3d Intern. Symp.]. Petrozavodsk, 2000, pp. 265–268.
10. Ryabokon' A.P. Issledovaniya kachestva drevostoev [The Study of the Forest Stand Quality]. *Lesnoy zhurnal*, 2001, no. 1, pp. 36–45.
11. Sokolov N.N. *Metodicheskie ukazaniya k diplomnomu proektirovaniyu po taksatsii probnykh ploshchadey* [Guidelines for the Graduation Designing in Inventory Plots]. Arkhangelsk, 1978. 44 p.
12. Stolyarov D.P., Poluboyarinov O.I., Dekatov N.N., Knize A.A., Minaev V.N., Molotkova N.D., Nekrasova G.N., Anan'ev V.A. *Metodicheskie rekomendatsii. Ispol'zovanie kernov drevesiny v lesovodstvennykh issledovaniyakh* [Guidelines. The Use of Wood Core Samples in the Silvicultural Research]. Leningrad, 1988. 43 p.
13. Chibisov G.A. *Smena sosny el'yu: monogr.* [Succession of Pine]. Arkhangelsk, 2010. 150 p.
14. Chibisov G.A., Moskaleva S.A. Kachestvo drevesiny el'nikov, formiruyushchikhsya posle vyborochnykh rubok [Wood Quality of Spruce Forests Formed After Selective Logging]. *Lesnoy zhurnal*, 2000, no. 4, pp. 7–17.
15. Chibisov G.A., Moskaleva S.A., Kryzhanovskaya L.E. Kachestvo drevesiny sosny i eli, metod ego opredeleniya [The Quality of Pine and Spruce, the Method for Determination]. *Sb. nauch. tr. «Voprosy taezhnogo lesovodstva na Evropeyskom Severe»* [Proc. “The Issues of the Taiga Forest Management in the European North”]. Arkhangelsk, 2005, pp. 89–99.

Received on December 07, 2015

УДК 581.524:502.55:630*

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.104

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕЗЕРВАТОВ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО И НАЗЕМНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ*

С.А. Шавнин, д-р биол. наук, проф., вед. науч. сотр.

В.А. Лебедев, мл. науч. сотр.

В.А. Галако, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.

В.Э. Власенко, канд. биол. наук, ст. науч. сотр.

Ботанический сад Уральского отделения РАН, ул. 8 Марта, д. 202а, г. Екатеринбург, Россия, 620144; e-mail: common@botgard.uran.ru

В целях сохранения генетических ресурсов основных видов – лесобразователей в 1983-84 гг. на территории Свердловской области выделено 111 лесных генетических резерватов. Для оценки современного состояния данного вида охраняемых природных территорий проанализированы спутниковые снимки всех лесных генетических резерватов и проведено наземное обследование 15 из них. По спутниковым снимкам с помощью разработанных специализированных шкал определены: доля антропогенно нарушенной территории резерватов, наличие и выраженность безлесной буферной зоны вокруг них, соответствие системы выделения границ резерватов GPS-метками задачам ее практического использования. Выявлена степень нарушенности резерватов: более 20 % территории нарушено у 54, 10...20 % – у 25, 5...10 % – у 6, 0...5 % – у 21; для 5 резерватов данных нет. Установлено отсутствие полноценной безлесной буферной зоны у всех 111 резерватов. Только 30 из них имеют более или менее выраженную безлесную зону вдоль части границ, остальные окружены сплошным лесным массивом. Таксационные характеристики древостоев свидетельствуют о высоких лесоводственных показателях насаждений. Санитарное состояние древостоев: слабо-поврежденные – 11, неповрежденные – 4. Для всех обследованных резерватов средний индекс жизненного состояния деревьев составляет 2,2, дефолиация (изреженность кроны) – до 27 %, дехромация (пожелтение хвои) – 9 %. Показано, что комплексный подход к оценке состояния лесных генетических резерватов, сочетающий методы дистанционного и наземного лесоводственно-таксационного обследования древостоев, существенно повышает объективность получаемой информации и является перспективным для разработки системы мониторинга состояния существующих, а также создания новых резерватов в Российской Федерации. Предложены конкретные мероприятия по сохранению и улучшению состояния обследованных территорий.

Ключевые слова: генетический резерват, лесоводственно-таксационная оценка состояния сосновых насаждений, анализ спутниковых снимков, дистанционные методы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке комплексной программы Уральского отделения РАН (проект № 15-12-4-21).

Для цитирования: Шавнин С.А., Лебедев В.А., Галако В.А., Власенко В.Э. Комплексная оценка состояния лесных генетических резерватов Свердловской области с помощью методов дистанционного и наземного обследования // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 104–118. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.104

Введение

Проблема создания системы лесных генетических резерватов (ЛГР) основных лесобразующих пород в России возникла в 80-х гг. прошлого века в связи со значительным истощением генетических ресурсов основных видов – лесобразователей. В процессе интенсивной лесозэксплуатации безвозвратно исчезают лучшие хвойные и лиственные насаждения, уменьшается база для естественного и искусственного воспроизводства высококачественных лесов [6].

В соответствии с Решением Исполкома Свердловского областного совета народных депутатов от 25.11.1988 г. № 444 и Положением о выделении лесных генетических резерватов [8] на территории Свердловской области выделено 111 лесных генетических резерватов. Средняя площадь резервата составила около 1000 га, что является «критически» минимальной площадью для ЛГР, обеспечивающей минимальный необходимый для выживания популяции и ее потомства уровень полиморфизма [13].

В 2004 г. Управление лесного хозяйства Свердловской области утвердило выделенные ранее территории (с небольшими изменениями) в качестве ЛГР. Поскольку с момента их создания прошло более 30 лет и многие данные устарели, назрела необходимость провести инвентаризацию. В задачи настоящей работы входило: проанализировать современное состояние ЛГР и их соответствие экогенетическим требованиям; актуализировать сведения о расположении и границах; наметить комплекс мер для сохранения резерватов.

Материалы и методы исследований

Дистанционное изучение современного состояния ЛГР Свердловской области проводили путем поиска и анализа спутниковых снимков территорий резерватов в общедоступных некоммерческих базах данных.

Для поиска обозначенных GPS-метками [4] территорий ЛГР использовали специализированную программу SAS-Planet. Поиск осуществляли в следующих некоммерческих базах спутниковых снимков: Google, Yandex, Yahoo, Bing maps, Navteq, Nokia, GeoHub, Геопортал Роскосмоса, Kosmosnimki.ru.

Информативность указанных в документах ориентиров для практической работы с ЛГР оценивали (см. рисунок *а-в*) по введеному параметру «адекватность выделения границ GPS-метками», включающий три уровня:

«адекватно» – двоякое толкование границ резервата невозможно; как правило, территория обозначена 4–6 точками, образующими выпуклый многоугольник и однозначно соединяемыми линиями;

«требует уточнения» – набор ограничивающих резерват GPS-меток можно соединить несколькими равноценными способами, что приводит к неопределенности в расположении части границ (см. рисунок *а, б*).

«требует переделки» – указанные в документах GPS-координаты несут в себя явные ошибки; для полноценной работы с данными требуется исправление ошибочной информации (см. рисунок *в*).

Для дистанционной оценки сохранности ЛГР по спутниковым снимкам был введен параметр «нарушенность древостоя рубками»,

показывающий долю территории резервата, на которой визуально отмечены следы рубок, частых просек, дорог (см. рисунок *в, з*). Параметр подразделяется на четыре градации в зависимости от доли нарушенной территории, %: 0...5, 5...10, 10...20, более 20 [13]. Отношение общей площади резервата к площади визуально нарушенных рубками лесных массивов выявляли на снимках с использованием программы APFill 4.2. Для случаев, когда контуры резервата «требуют уточнения», рассчитывали среднюю степень нарушенности для 2–4 основных вариантов границ резервата.

*а**б**в**з*

Спутниковые снимки территорий ЛГР Свердловской области: *а, б* – Артинский ЛГР № 2 (пунктиром показан «наиболее очевидный» способ соединения пограничных GPS-меток, сплошной линией – выявленная в ходе инвентаризации фактическая форма резервата (снимок с ресурса «Kosmosnimki.ru»)); *в* – Карпинский ЛГР № 4 (все 4 закрепленные в документах пограничные GPS-метки находятся на одной прямой, выявить на их основе контуры резервата невозможно; сплошной линией очерчена выявленная в ходе инвентаризации фактическая форма резервата (снимок с ресурса «Яндекс.Карты»)); *з* – Гаринский ЛГР № 4 (резерват ограничен 4 GPS-метками и руслом реки; бывшая категория защитности насаждений – «запретная нерестовая полоса»; толстой линией на снимке очерчен контур резервата, тонкими – вырубki (снимок с ресурса «Яндекс.Карты»))

Важную роль для ЛГР играет наличие буферной зоны, защищающей от иммиграции чуждой пыльцы и семян из окружающих лесных насаждений неопределенного генетического состава [13]. В ходе исследований проводили количественную оценку степени пространственной изолированности насаждений резерватов от окружающих лесных массивов. Для этого нами был введен параметр «изолированность», показывающий долю периметра резервата, отделенного от окружающих лесных насаждений безлесной буферной зоной. Параметр подразделяется на четыре градации, выделенные на основе полученных результатов:

отсутствие буферной зоны;

наличие буферной зоны по 0,125...0,250; 0,250...0,500; 0,500...0,750 периметра соответственно.

Кроме того, для каждой буферной зоны выявляли ее среднюю ширину, названную нами буферным расстоянием. В качестве его основных градаций приняты: от 0,5 до 1,0 км; от 1,0 до 2,0 км; 2,0 км и более.

Для тех случаев, когда контуры резервата «требуют уточнения», рассчитывали средние значения изолированности и буферного расстояния для 2–4 основных вариантов границ резервата.

Лесоводственно-таксационное изучение состояния ЛГР и их сохранности проводили выборочно, в пределах лесорастительных областей и лесорастительных округов [5]. Согласно классификации Б.П. Колесникова, территория Среднего Урала разделена на три лесорастительные области: Восточно-Европейскую равнинную, Уральскую горно-растительную и Западно-Сибирскую. Основные таксоны – лесорастительная область, лесорастительная зона и округ. Вспомогательные таксоны – подобласть, подзона, провинция, район и подрайон. В соответствии с этим подбор ЛГР был проведен с таким расчетом, чтобы оценить состояние основных единиц таксонов лесорастительного районирования. Всего обследовано 15 ЛГР.

Для характеристики таксационных показателей древостоя использовали метод закладки круговых реласкопических площадок с помощью зеркального реласкопа В. Биттерлиха [17]. Количество круговых площадок устанавливалось в зависимости от площади выдела, однородности древостоя и его относительной полноты. Оценка показателей продуктивности проводили в сравнении с типичными для данного типа леса параметрами: бонитетом, полнотой, запасом на 1 га [5].

Оценку степени повреждения древостоев от воздействия антропогенных факторов (рекреации, аэротехногенного загрязнения и др.) проводили с учетом категорий состояния, классов повреждения и баллов жизненного состояния [1, 3, 10, 14, 18, 19].

Результаты и обсуждение

В ходе оценки состояния 111 ЛГР Свердловской области дистанционным методом установлено, что координаты пограничных GPS-меток, поряд-

ковые номера и названия резерватов соответствуют информации Министерства природных ресурсов Свердловской области [4, 9].

Пограничные GPS-метки привязаны к границам резервата. Последовательное соединение линиями (прямыми либо изогнутыми по естественным границам – опушка, река) позволяет получить контуры периметра ЛГР. Для каждого резервата (в зависимости от сложности его формы) имеется от 4 до 15 меток. При этом анализ спутниковых снимков и выборочное сравнение с картографическими данными показали, что ориентирование по последовательности пограничных GPS-меток не всегда позволяет верно и однозначно обозначить контуры резервата без обращения к материалам лесоустройств, в некоторых случаях данные о GPS-метках содержат существенные ошибки или опечатки.

В результате анализа информативности указанных в документах GPS-ориентиров установлено: 64 ЛГР (57,7 %) выделены метками адекватно, 42 ЛГР (37,8 %) требуют уточнения отдельных границ с использованием материалов лесоустройств, метки 5 ЛГР (4,5 %) требуют переделки: Карпинский № 4 (все точки на одной прямой), Новолялинский № 1 (опечатка в координатах точек 4 и 5), Режевский № 1 (опечатка в координатах точек 1 и 9), Североуральский № 2 (не указаны значения минут географической широты), Тавдинский ЛГР № 2 (метки смещены по широте за пределы Свердловской области).

Проведенная оценка антропогенной нарушенности территорий, ограниченных GPS-метками, показала: поврежденность сплошными рубками более 20 % – у 54 ЛГР (48,7 %); 10...20 % – у 25 ЛГР (22,5 %); 5...10 % – у 6 ЛГР (5 %); 0...5 % – у 21 ЛГР (18,9 %). По требующим переделки 5 ЛГР (4,5 %) данных не получено. Следует отметить, что в отдельных случаях поврежденность достигает более 50 %; древостой на территории отдельных ЛГР (Синячихинский № 3, Таборинский № 1) практически уничтожены.

Анализ дистанционной изолированности 111 резерватов от окружающих насаждений показал: 76 резерватов (68,5 % ЛГР) окружено сплошным лесным массивом, безлесная буферная зона отсутствует даже частично; 30 резерватов (27,0 %) имеют более или менее выраженную буферную зону; по 5 резерватам (4,5 %), требующим переделки GPS-координат, данных не получено.

Для 30 ЛГР, имеющих безлесную буферную зону, значения изолированности распределились следующим образом: от 0,125 до 0,250 периметра изолировано у 14 ЛГР (из них часть буферной зоны проходит вдоль требующих уточнения границ у 2 ЛГР); от 0,250 до 0,500 периметра изолировано у 9 ЛГР (из них часть буферной зоны проходит вдоль требующих уточнения границ у 4 ЛГР); от 0,500 до 0,750 периметра изолировано у 7 ЛГР (из них часть буферной зоны проходит вдоль требующих уточнения границ у 3 ЛГР). Резерватов, изолированных от окружающих лесных массивов безлесной зоной по всему периметру, среди ЛГР Свердловской области не обнаружено.

Буферное расстояние у 8 ЛГР составляет от 0,5 до 1,0 км; у 2 ЛГР – от 1,0 до 2,0 км; у 20 ЛГР – более 2,0 км.

Наиболее дистанционно изолированными от окружающих насаждений по совокупности параметров являются следующие ЛГР: Алапаевский № 1 (1030 га), Артинский № 2 (989 га), Каменск-Уральский № 1 (505 га), Камышловский № 1 (1071 га), Красноуфимский № 1 (994 га).

На основании анализа полученных результатов разработаны следующие практические рекомендации:

1. В связи с обнаружением значительного количества относительно недавних вырубок на территориях резерватов данный вид особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в целях их сохранения необходимо присоединить к программе спутникового контроля территорий, созданной для слежения за незаконными рубками [2].

2. Для тех случаев, когда границы ЛГР не отделены от окружающих лесных насаждений неопределенного генетического состава безлесным пространством, следует уделять особое внимание изоляции от чуждой пыльцы и семян. В частности, можно рекомендовать: на участках вдоль границ резервата создавать лесные культуры из посадочного материала, полученного из семян данного ЛГР; засаживать участки вдоль границ ЛГР насаждениями иного видового состава. Ввиду того, что основная (>99 %) масса пыльцы в древостое оседает на поверхности крон деревьев не далее расстояния, равного нескольким высотам древостоя [11, 12, 20], занятая генетически идентичными ЛГР насаждениями или лесными культурами других пород эффективная буферная зона может быть существенно уже безлесной (около 100 м для сосны обыкновенной).

Следует отметить, что в 1983-84 гг. в ранг ЛГР были переведены территории с различными категориями защитности: нерестоохраняемые зоны, запретные полосы вдоль рек, защитные полосы вдоль дорог, почвозащитные леса, памятник природы и др. Работа с архивной документацией периода выделения территорий ЛГР в категорию ООПТ позволила найти данные по 86 % резерватов. Из них 78 % были переведены в категорию ЛГР из лесов высоких категорий защитности, 14 % – из категории эксплуатационных лесов. Таким образом, ориентировочно не менее 70...80 % резерватов находятся на территориях изначально высоких категорий защитности. Важен тот факт, что в более поздней существующей документации о современных ЛГР данная информация имеется не всегда. Это может позволить неоднозначно трактовать статус территорий резерватов с высокой степенью нарушенности. Например, Гаринский ЛГР № 4 (см. рисунок 2) имеет на территории несколько значительных вырубок (уровень нарушенности ЛГР 10...20 %). При этом изначальная категория защитности этого насаждения, указанная в паспорте резервата, – «запретная нерестовая полоса», что следует учитывать при возможном пересмотре статуса территории.

Ниже в целях анализа эффективности и возможностей комплексного подхода к оценке состояния ЛГР на основе методов дистанционного и лесоводственно-таксационного обследования древостоев [15, 16] приведены конкретные результаты изучения 15 ЛГР Свердловской области, для которых был использован данный подход.

Красноуфимский № 1. Выделение метками – адекватное. Резерват имеет сложную структуру – состоит из двух отдельных частей. Согласно спутниковым снимкам степень антропогенной нарушенности составляет более 20 %: ровные узкие частые просеки на всей территории резервата, некоторое количество полностью вырубленных выделов, в основном примыкающих к опушке. Вместе с тем насаждения абсолютно преобладают на территории выделенных кварталов над вырубками, степень изолированности резервата – 0,75 периметра при среднем буферном расстоянии не менее 2,0 км, что в комплексе является одним из наивысших показателей среди ЛГР области.

Красноуфимский № 3. Адекватность выделения метками – требует уточнения. Нарушенность – более 20 %: вырубки, просеки, дороги. К территории примыкают сельхозугодья и коттеджный поселок. Цветовая гамма древостоев на снимках позволяет предположить, что темнохвойные насаждения преобладают не более чем на 50 % резервата. В ряде случаев геометрически правильные границы между участками леса могут свидетельствовать о целенаправленной рубке темнохвойных в прошлом. Изолированность – 0,25 периметра, среднее буферное расстояние – 0,5 км.

Красноуфимский № 2. Адекватность выделения метками – требует уточнения. Нарушенность – более 20 %: на спутниковых снимках видны ровные узкие частые просеки на большей части территории лесного массива. На территории резервата имеются грунтовые дороги и отдельные вырубки, примыкает населенный пункт и сельхозугодья. Изолированность – 0,25 периметра, среднее буферное расстояние – 1,0 км.

Артинский № 2. Адекватность выделения метками – требует уточнения. Нарушенность – 10...20 %: на снимках видно небольшое количество просек и грунтовых дорог. Изолированность – 0,75 периметра, среднее буферное расстояние – более 2,0 км, что в комплексе является одним из наивысших показателей изолированности среди ЛГР области.

Билимбаевский № 1. Адекватность выделения метками – требует уточнения. Нарушенность – 0...5 %: имеются просеки, грунтовые дороги, следы упорядоченных рубок, к резервату примыкает населенный пункт. Изолированность – 0,5 периметра, среднее буферное расстояние – более 2,0 км.

Билимбаевский № 2. Адекватность выделения метками – требует уточнения. Нарушенность – более 20 %: на преобладающей части территории резервата видны частые параллельные просеки, следы упорядоченных рубок, имеются иные просеки, грунтовые дороги. К резервату примыкают сельхозугодья и коттеджные поселки. Изолированность – требует уточнения границ, но не более 0,25 периметра, среднее буферное расстояние – не более 1,0 км.

Кушвинский № 3. Адекватность выделения метками – требует уточнения. Нарушенность – 10...20 %: видны просеки, грунтовые дороги, несколько выделов вырублено полностью, на половине территории резервата имеются частые параллельные просеки. К резервату примыкает населенный пункт. Изолированность – отсутствует.

Красноуральский № 1. Выделение метками – адекватное. Нарушенность – 10...20 %: на трети территории резервата видны очень частые параллельные просеки, несколько выделов вырублено полностью. Изолированность – отсутствует.

Верхотурский № 1. Выделение метками – адекватное. Нарушенность – 0...5 %: через резерват проходят асфальтовая и грунтовая дороги, просек и следов рубок относительно немного (преимущественно на немногочисленных участках с высокой концентрацией темнохвойных). К резервату примыкает населенный пункт и незначительное количество сельхозугодий (предположительно, покосы). Изолированность – отсутствует.

Асбестовский № 1. Адекватность выделения метками – требует уточнения. Резерват имеет 2 общих GPS-точки с Асбестовским ЛГР № 2, что может быть общей границей либо ошибкой в документах. Нарушенность – более 20 %: через резерват проходят асфальтовая и грунтовые дороги; на более чем 50 % территории видны следы относительно частых параллельных просек; ряд выделов вырублен полностью, к резервату примыкает населенный пункт. Изолированность – до 0,25 периметра, среднее буферное расстояние – до 200 м (требуется уточнения границ ЛГР).

Сухоложский № 1. Адекватность выделения метками – требует уточнения. Нарушенность – более 20 %: на 70 % территории резервата видны узкие параллельные просеки, предположительно следы санитарных рубок; небольшое количество выделов вырублено полностью; на территории резервата проходят две широкие просеки линий электропередач (ЛЭП); к резервату примыкают населенный пункт и сельхозугодья. Изолированность – до 0,25 периметра, среднее буферное расстояние – до 2,0 км (требуется уточнения границ ЛГР).

Свердловский № 1. Адекватность выделения метками – требует уточнения. Нарушенность – более 20 %: на 90 % территории резервата видны узкие параллельные просеки, предположительно следы санитарных рубок. Вырублено полностью незначительное количество выделов, но в восточной части резервата чередование цвета полос леса, ограниченных просеками, может говорить о широких сплошных рубках в недавнем прошлом (требуется уточнения); на территории резервата проходят асфальтовые и грунтовые дороги, широкая просека ЛЭП, к резервату примыкает населенный пункт. Изолированность – 0,5 периметра, среднее буферное расстояние – 1,6 км.

Талицкий № 1. Адекватность выделения метками – требует уточнения. Резерват имеет сложную структуру выделения: состоит из трех отдельных частей. Нарушенность – более 20 %: резерват пересекают асфальтовая и грунтовые дороги, широкая просека трассы ЛЭП. На участках 1 и 2 просек практически не наблюдается, вырублено незначительное количество выделов, участок 3 покрыт относительно недавними широкими лесосечными просеками, ориентировочно вырублено около 1/6 территории насаждений всего резервата. Изолированность – отсутствует.

Каменск-Уральский № 1. Выделение метками – адекватное. Нарушенность – 5...10 %: несколько грунтовых дорог, следы рубок незначительны, резерват окружен коттеджными поселками и сельхозугодьями. Изолированность – 0,75 периметра, среднее буферное расстояние – более 2,0 км.

Каменск-Уральский № 2. Адекватность выделения метками требует уточнения. Нарушенность – более 20 %: на 90 % территории резервата видны узкие параллельные просеки, предположительно следы санитарных рубок. Вырублено полностью незначительное количество выделов, но в центральной и восточной частях резервата чередование цвета полос леса, ограниченных просеками, может свидетельствовать о широких сплошных рубках в недавнем прошлом (требует уточнения). К резервату примыкают коттеджные поселки и сельхозугодья. Изолированность – 0,5 периметра, среднее буферное расстояние – более 2,0 км.

Лесоводственно-таксационная оценка 15 ЛГР Свердловской области показала следующее.

На Уфимском плато в подзоне широколиственно-хвойных лесов изучено два ЛГР: Красноуфимские № 1 и № 3. Преобладающие типы леса – травяно-зеленомошниковые сосняки и ельники.

В лесостепной части Предуралья исследования проводились в ЛГР Красноуфимском № 2 и Артинском № 2. Растительность представлена сосновыми насаждениями разнотравных типов леса.

В южной тайге низкогорий Среднего Урала изучено 2 ЛГР: Билимбаевские № 1 и № 2. Типичные растительные сообщества резерватов – сосновые леса с пихтой и елью во 2-м ярусе, разнотравные типы леса, а также пихтово-еловые леса мелкотравных типов леса.

В южной тайге Зауральской холмисто-предгорной провинции исследованы ЛГР Кушвинский № 3 и Красноуральский № 1. Растительность представлена березово-сосновыми лесами, разнотравными типами леса.

Для южной тайги Западно-Сибирской равнины описан Верхотурский ЛГР № 1. Наиболее представлен тип леса – сосняк травяной.

На территории Зауральской холмисто-предгорной провинции в пределах распространения сосново-березовых предлесостепных лесов описано три ЛГР: Асбестовский № 1, Сухоложский № 1, Свердловский № 1. Преобладающие типы леса для первых двух – сосняки разнотравный и ягодниковый, для третьего – сосняки травяной и орляковый.

В пределах сосново-березовых предлесостепных лесов Зауральской равнинной провинции обследован Талицкий ЛГР № 1, относящийся к массивам островных реликтовых боров р. Пышмы. Преобладающие типы леса – сосняки ягодниковый, черничниковый и орляковый.

В лесостепной части Зауральского пенеппена обследованы ЛГР Каменск-Уральские № 1 (преобладающий тип леса – березняк разнотравный) и № 2 (преобладают сосняки злаково-разнотравные и орляковые).

ЛПР	Древесная порода	Площадь, га	Класс возраста	Класс бонитета	Запас, м ³ /га	Полнота	Сравнительная средняя продуктивность (по Колесникову, 1974)	Санитарное состояние насаждений
Краснофимский № 1	Сосна	994,5	IV-VI	I-II	300...400	0,6...0,7	Выше средней	Слабо поврежденные
Краснофимский № 3	Ель	988,0	VI-VII	II-III	220...320	0,5...0,7	Полноценная	«
Краснофимский № 2	Сосна	972,0	V-VI	I-II	360...440	0,6...0,7	Выше средней	«
Артинский № 2	Сосна	980,0	V	I-II	340...420	0,7...0,8	«	«
Билимбаевский № 1	Ель сибирская;	1183,0	IV-VIII	I-III	250...400	0,7...0,8	Полноценная	Фоновые
Билимбаевский № 2	сосна, береза	529,8	VI-VII	I-II	200...500	0,7...0,9	«	«
Кушвинский № 3	Ель сибирская;	1003,8	IV-VII	II-III	220...320	0,7...0,8	«	Слабо поврежденные
Красноуральский № 1	Береза	873,0	VI-VIII	II-III	220...280	0,6...0,8	«	«
Асбестовский № 1	Сосна	1333,0	IV-VII	II	250...400	0,6...0,8	«	«
Сухоложский № 1	Сосна	1115,0	V-VI	I-II	350...500	0,8...1,0	Выше средней	«
Свердловский № 1	Сосна	848,0	VI-VIII	I-II	350...400	0,7...0,8	Полноценная	«
Каменск-Уральский № 1	Береза	505,0	VII-VIII	II	230...270	0,7...0,8	«	Фоновые
Каменск-Уральский № 2	Сосна	771,0	V-VI	I	350...480	0,7...0,9	Выше средней	«
Верхотурский № 1	Береза	511,0	VI	II	200...260	0,7...0,8	Полноценная	Слабо поврежденные
Талицкий № 1	Сосна	1071,0	VI	II	320...350	0,6	«	«

В целом для всех обследованных ЛПР средний индекс жизненного состояния деревьев составляет 2,2; дефолиация (изреженность кроны) – до 27 %, дехромация (пожелтение хвои) – 9 %. Отдельно для сосны: индекс жизненного состояния – 2,5; дефолиация – 27 %; дехромация – 9 %; срок жизни хвои – 2,4 года; для ели: индекс жизненного состояния – 2,0; дефолиация – 26 %; дехромация – 9 %; срок жизни хвои – 6,2 года; для пихты: индекс жизненного состояния – 2,2; дефолиация – 28 %; дехромация – 6 %; срок жизни хвои – 6,1 года; для березы бородавчатой: индекс жизненного состояния – 1,7; дефолиация – 17 %; дехромация – 5,3 % [17, 18].

Результаты полевого обследования 15 ЛПР Свердловской области представлены в таблице.

Таксационные исследования во всех случаях позволяют отметить высокие лесоводственные показатели древостоев. Сравнительный анализ с данными дистанционного мониторинга показывает, что высокая степень антропогенной нарушенности характерна для насаждений с высоким запасом древесины на 1 га и преобладанием в составе леса сосны (в одном случае – ели). При этом для ЛПР с относительно низким запасом древесины на 1 га и преобладанием березовых насаждений либо сложным составом леса подобных проблем не отмечено. По санитарному состоянию в 11 случаях древостои обследованных ЛПР можно охарактеризовать как слабо поврежденные насаждения, в 4 случаях – как фоновые (условно неповрежденные) насаждения. Корреляции санитарного состояния насаждений и степени их антропогенной нарушенности (согласно данным дистанционного обследования) не выявлено.

Заключение

Дистанционное изучение современного состояния лесных генетических резерватов с помощью анализа спутниковых снимков достаточно эффективно для первичного анализа ситуации.

Комплексный подход к оценке состояния ЛГР, сочетающий методы дистанционного и наземного лесоводственно-таксационного обследования древостоев, существенно повышает объективность получаемой информации и является перспективным как для разработки системы мониторинга состояния существующих, так и для создания новых ЛГР.

Согласно итогам выборочного полевого обследования 15 генетических резерватов, таксационные исследования во всех случаях отмечают высокие лесоводственные показатели насаждений, подтверждая перспективность использования семенного материала обследованных ЛГР для восстановления лесных насаждений данного региона. По санитарному состоянию древостои большинства ЛГР можно описать как слабо поврежденные насаждения, что для промышленно развитой Свердловской области следует считать удовлетворительным результатом [7]. Корреляции уровня нарушенности древостоев рубками с их санитарным состоянием не выявлено, однако отмечается, что высокая степень антропогенной нарушенности более характерна для насаждений с преобладанием в составе леса хвойных пород и высоким запасом древесины на 1 га.

В комплекс мер по дальнейшему сохранению высококачественного генетического фонда лесообразующих пород следует включить как проведение комплекса лесовосстановительных мероприятий на территориях ЛГР, так и создание вдоль облесенных границ резерватов рекомендованных [8] буферных зон на основе семенного материала соответствующих ЛГР либо насаждений иного видового состава. Кроме того, в связи с обнаружением значительного количества относительно недавних вырубок рекомендуется присоединить ЛГР к программе спутникового контроля территорий, созданной для слежения за незаконными рубками [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.С.* Мониторинг лесных экосистем: учеб. пособие для вузов. СПб.: ЛТА, 1997. 116 с.
2. В 2014 г. дистанционным космическим мониторингом будет охвачено 8 лесничеств Свердловской области // Новости Департамента лесного хозяйства по Уральскому федеральному округу от 20.01.2014. Режим доступа: <http://www.rosleshoz.gov.ru/dep/ural/press/425>. Дата обращения: 24.01.2016.
3. Временная методика по учету сосновых насаждений, подверженных влиянию промышленных выбросов (для опытно-производственной проверки). М.: ВНИИЛМ Гослесхоза СССР, 1986. 34 с.
4. Границы особо охраняемых природных территорий Свердловской области // Приложение к рукописному отчету для Министерства природных ресурсов Свердловской области. Екатеринбург: Уральская геологосъемочная экспедиция, 2004.

5. Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1974. 176 с.
6. Мамаев С.А. Принципы выявления и сохранения генетических ресурсов древесных растений в лесах СССР // Лесн. хоз-во. 1984. № 11. С. 35–38.
7. Махнёв А.К. Проблемы выделения и сохранения лесных генетических резерватов в районах расположения крупных промышленных центров на Урале // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. XXVII, № 1-2. С. 131–135.
8. Положение о выделении и сохранении генетического фонда древесных пород в лесах СССР. М.: Госкомлес СССР, 1982. 22 с.
9. Постановление Правительства Свердловской области от 17 янв. 2001 г. № 41-ПП «Об установлении категорий, статуса и режима особой охраны особо охраняемых природных территорий областного значения и утверждении перечней особо охраняемых природных территорий, расположенных в Свердловской области» (с изменениями от 2002–2014 гг.) // Документы министерства природных ресурсов и экологии Свердловской области. Режим доступа: mprso.ru/users/41-пп.docx.docx. Дата обращения: 24.01.2016.
10. Санитарные правила в лесах России. М.: Наука, 1998. 16 с.
11. Санников С.Н., Гришина И.В. Экспериментальное изучение дальности разлета пыльцы сосны в древостое // Экология. 1979. № 1. С. 91–93.
12. Санников С.Н., Петрова И.В. Дифференциация популяций сосны обыкновенной. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 247 с.
13. Санников С.Н., Шавнин С.А., Санникова Н.С., Петрова И.В. Эколого-генетические принципы выделения и классификации лесных генетических резерватов // Экология. 2015. № 1. С. 3–8.
14. Цветков В.Ф., Лесинский Е.А., Армалайтис К.Э., Пархимович Т.А. Мониторинг состояния лесов Европейского Севера: метод. рекомендации. Архангельск: АГТУ, 1995. 35 с.
15. Шавнин С.А., Галако В.А., Власенко В.Э. и др. Лесоводственная характеристика и состояние лесных генетических резерватов Среднего Урала // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2014. № 4. С. 63–70.
16. Шавнин С.А., Галако В.А., Власенко В.Э., Лебедев В.А. Особенности организации лесных генетических резерватов на Среднем Урале // Изв. Оренбургского гос. аграрного ун-та. 2012. № 4. С. 222–225.
17. Bitterlich W. *The Relascope Idea: Relative Measurements in Forestry*. UK, Farnham, 1984. 242 p.
18. Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forests. *International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests)*. UNECE. Hamburg; Geneva, 1986. 97 p.
19. Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forests. *International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests)*. UNECE. Hamburg; Geneva, 1994. 177 p.
20. Stern K., Roche L. Genetics of Forest Ecosystems. *Ecological Studies*, 1974, vol. 6. 332 p.

Поступила 18.01.16

UDC 581.524:502.55:630*

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.104

**Integrated Assessment of Forest Genetic Reserves of the Sverdlovsk Region
by the Methods of Remote and Ground Survey**

S.A. Shavnin, Doctor of Biological Sciences, Professor, Senior Research Scientist

V.A. Lebedev, Research Assistant

V.A. Galako, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Research Officer

V.E. Vlasenko, Candidate of Biological Sciences, Senior Research Officer

Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. 8 Marta,
202A, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation; e-mail: common@botgard.uran.ru

In order to preserve the genetic resources of the main forest-forming species 111 forest genetic reserves (FGR) were allocated in the Sverdlovsk region in 1983–1984. The satellite images analysis of FGR and a ground survey of 15 of them were carried out to assess the current state of those protected areas. Using the satellite images and the developed specialized scales we defined the proportion of the anthropogenic disturbed FGR territory, the treeless buffer zones around reserves, and the compatibility of the GPS-tags boundary allocation system of FGR with the problems of its practical use. The analysis revealed the following degrees of FGR disturbance: 54 FGR had more than 20 % of the disturbed area; 25 – 10...20 %; 6 – 5...10 %; 21 – 0...5 %. We did not obtain data of 5 reserves. All of 111 FGR did not have proper treeless buffer zones. Only 30 FGR had a treeless zone along the borders. The rest of them were surrounded by the forestland. Forest measurement data of the stands indicated a high rate of silvicultural parameters of plantations. The sanitary state of the stands was also observed: 11 FGR were slightly damaged, 4 FGR were not damaged. The average vital index of trees of all examined FGR was 2.2; defoliation (thinning of the crown) was up to 27 %; dehromation (or needles yellowing) was 9 %. The comprehensive approach to the FGR state assessment, combining the methods of remote and ground silvicultural and taxation survey of the stands significantly increased the objectivity of the received information. This approach is promising for the development of the monitoring system of existing FGR, as well as for the creation of new reserves in the Russian Federation. The specific measures for conservation and improvement of the surveyed areas are proposed.

Keywords: genetic reserve, silvicultural and taxation assessment of pine plantations, satellite image analysis, remote sensing method.

REFERENCES

1. Alekseev A.S. *Monitoring lesnykh ekosistem* [Monitoring of Forest Ecosystems]. Saint Petersburg, 1997. 116 p.

2. V 2014 g. distantsionnym kosmicheskim monitoringom budet okhvacheno 8 lesnichestv Sverdlovskoy oblasti [8 Forestries of the Sverdlovsk Region will Be Covered by a

For citation: Shavnin S.A., Lebedev V.A., Galako V.A., Vlasenko V.E. Integrated Assessment of Forest Genetic Reserves of the Sverdlovsk Region by the Methods of Remote and Ground Survey. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1, pp. 104–118. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.104

Remote Space Monitoring in 2014]. *Novosti Departamenta lesnogo khozyaystva po Ural'skomu federal'nomu okrugu ot 20.01.2014* [News of the Forestry Department in the Ural Federal District Dt. 01.20.2014]. Available at: <http://www.rosleshoz.gov.ru/dep/ural/press/425> (accessed 24.01.2016).

3. *Vremennaya metodika po uchetu sosnovykh nasazhdeniy, podverzhennykh vliyaniyu promyshlennykh vybrosov (dlya opytno-proizvodstvennoy proverki)* [The Temporary Method of Accounting of Pine Plantations Affected by Industrial Emissions (for the Experimental Production Test)]. Moscow, 1986. 34 p.

4. Granitsy osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy Sverdlovskoy oblasti [The Boundaries of Protected Areas of the Sverdlovsk Region]. *Prilozhenie k rukopisnomu otchetu dlya Ministerstva prirodnykh resursov Sverdlovskoy oblasti* [The Annex to the Manuscript Report for the Ministry of Natural Resources of the Sverdlovsk Region]. Yekaterinburg, 2004.

5. Kolesnikov B.P., Zubareva R.S., Smolonogov E.P. *Lesorastitel'nye usloviya i tipy lesov Sverdlovskoy oblasti* [Forest Conditions and Forest Types of the Sverdlovsk Region]. Sverdlovsk, 1974. 176 p.

6. Mamaev S.A. Printsipy vyyavleniya i sokhraneniya geneticheskikh resursov drevesnykh rasteniy v lesakh SSSR [Principles for Identification and Conservation of Genetic Resources of Woody Plants in the Forests of the USSR]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1984, no. 11, pp. 35–38.

7. Makhnev A.K. Problemy vydeleniya i sokhraneniya lesnykh geneticheskikh rezervatov v rayonakh raspolozheniya krupnykh promyshlennykh tsentrov na Urале [Problems of Selection and Conservation of Forest Genetic Reserves in the Areas of Location of Industrial Hubs in the Urals]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2010, vol. XXVII, no. 1-2, pp. 131–135.

8. *Polozhenie o vydelenii i sokhraneniі geneticheskogo fonda drevesnykh porod v lesakh SSSR* [Regulations on the Selection and Conservation of the Genetic Stock of Trees in the Forests of the USSR]. Moscow, 1982. 22 p.

9. Postanovlenie Pravitel'stva Sverdlovskoy oblasti ot 17 yanv. 2001 g. № 41-PP «Ob ustanovlenii kategoriy, statusa i rezhima osoboy okhrany osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy oblastnogo znacheniya i utverzhdenii perechney osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy, raspolozhennykh v Sverdlovskoy oblasti» (s izmeneniyami ot 2002–2014 gg.) [Resolution of the Government of the Sverdlovsk Region No. 41-PP Dt. January 17, 2001 “On the Establishment of Categories, Status and Special Protection of Protected Natural Areas of Regional Importance, and Approval of Lists of Protected Areas Located in the Sverdlovsk Region” (as Amended in 2002–2014)]. *Dokumenty ministerstva prirodnykh resursov i ekologii Sverdlovskoy oblasti* [Documents of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Sverdlovsk Region]. Available at: <http://www.mprso.ru/users/41-pp.docx.docx> (accessed 24.01.2016).

10. *Sanitarnye pravila v lesakh Rossii* [Sanitary Rules in Forests of Russia]. Moscow, 1998. 16 p.

11. Sannikov S.N., Grishina I.V. Eksperimental'noe izuchenie dal'nosti razleta pyl'tsy sosny v drevostoe [Experimental Study of the Pine Pollen Range Expansion in the Stand]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 1979, no. 1, pp. 91–93.

12. Sannikov S.N., Petrova I.V. *Differentsiatsiya populyatsiy sosny obyknovennoy* [Differentiation of Scots Pine Populations]. Yekaterinburg, 2003. 247 p.

13. Sannikov S.N., Shavnin S.A., Sannikova N.S., Petrova I.V. Ekologo-geneticheskie printsipy vydeleniya i klassifikatsii lesnykh geneticheskikh rezervatov [Environmental and Genetic Principles of Selection and Classification of Forest Genetic Reserves]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2015, no. 1, pp. 3–8.

14. Tsvetkov V.F., Lesinskiy E.A., Armalaytis K.E., Parkhimovich T.A. *Monitoring sostoyaniya lesov Evropeyskogo Severa: metod. rekomendatsii* [North European Forests Stock Monitoring]. Arkhangelsk, 1995. 35 p.

15. Shavnin S.A., Galako V.A., Vlasenko V.E. et al. Lesovodstvennaya kharakteristika i sostoyanie lesnykh geneticheskikh rezervatov Srednego Urala [Silvicultural Characteristic and State of Forest Genetic Reserves of the Middle Urals]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2014, no. 4, pp. 63–70.

16. Shavnin S.A., Galako V.A., Vlasenko V.E., Lebedev V.A. Osobennosti organizatsii lesnykh geneticheskikh rezervatov na Srednem Urale [Specifics of Forest Genetic Reserves in the Middle Urals]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Izvestia of Orenburg State Agrarian University], 2012, no. 4, pp. 222–225.

17. Bitterlich W. *The Relascope Idea: Relative Measurements in Forestry*. UK, Farnham, 1984. 242 p.

18. Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forests. *International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests)*. UNECE. Hamburg; Geneva, 1986. 97 p.

19. Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forests. *International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests)*. UNECE. Hamburg; Geneva, 1994. 177 p.

20. Stern K., Roche L. Genetics of Forest Ecosystems. *Ecological Studies*, 1974, vol. 6. 332 p.

Received on January 18, 2016



УДК 674.09:630*

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.119

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ

А.С. Торопов¹, д-р техн. наук, проф.

А.Н. Заикин², д-р техн. наук, доц.

В.М. Меркелов², канд. техн. наук, доц.

¹Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия, 424000; e-mail: zaikin.anatoliy@yandex.ru

²Брянский государственный инженерно-технологический университет, просп. Станке-Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: vmerkelov55@mail.ru

В результате техногенных аварий, в том числе на Чернобыльской атомной электростанции, значительная часть лесных массивов страны подверглась радиоактивному загрязнению. Использование древесины из таких регионов весьма актуально, так как позволяет решать также и экологические проблемы за счет снижения вероятности повторного заражения радионуклидами прилегающих территорий. Предлагается решать их на основе технологии переработки загрязненной радионуклидами древесины на базе мобильных установок, работающих непосредственно на лесосеке от бензиновых или дизельных двигателей через карданный вал. Это позволит избежать перевозки загрязненной древесины в чистые регионы, организовать переработку без строительства стационарных цехов и уменьшить затраты на ее переработку. Для реализации такой технологии нами предложены схемы раскроя древесины, загрязненной радионуклидами, позволяющие получать пилопродукцию требуемых размеров, не содержащую радионуклидов. При этом решаются задачи оптимального планирования раскроя бревен различного диаметра путем включения в план раскроя только тех поставов, которые обеспечат выпилровку пиломатериалов нужных размеров с допустимым содержанием радионуклидов при наименьших затратах сырья. Эта технология разрешает с минимальными потерями заготавливать и отгружать потребителю «чистую» древесину в виде окоренного сырья или готовых пиломатериалов. Наиболее целесообразно изготавливать продукцию, которая исключает прямой контакт с людьми, например шпалы. Образующиеся при этом радиоактивные отходы древесины предложено утилизировать путем измельчения и захоронения непосредственно на лесосеке или методами газификации с помощью газогенератора, который позволяет получать генераторный газ с минимальным уровнем загрязнения радионуклидами.

Ключевые слова: радионуклиды, загрязнение, окорка, лесосека, раскрой, шпалы, оптимальное планирование.

Для цитирования: Торопов А.С., Заикин А.Н., Меркелов В.М. Особенности переработки древесины, загрязненной радионуклидами // Лесн. журн. 2017. № 1. С.119–128. (Иzv. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.119.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) радиационному загрязнению подвергся лесной фонд на площади около 1 млн га [1, 8]. Радиоактивное загрязнение лесных экосистем создало такие условия, при которых в течение многих лет невозможно обычное многоцелевое использование леса [13]. Леса, подвергшиеся радиационному воздействию от выбросов ЧАЭС, представляют собой серьезную экологическую опасность в связи с возможностью возникновения пожаров как от воздействия человека, так и вследствие естественных причин [5]. При этом наблюдается быстрое перемещение в пространстве наиболее токсичных и опасных излучателей – плутония-239 и стронция-90. В связи с тем, что площади земель лесного фонда, загрязненные цезием-137, располагаются на территориях 15 субъектов Российской Федерации, вопросы организации использования древесины на этих территориях весьма актуальны.

Проведенные ранее исследования [3, 12] показали, что древесина, заготовленная в лесных массивах первой зоны загрязнения радионуклидами, может быть использована в промышленных целях после окорки, древесина из лесных массивов второй и последующих зон загрязнения – при условии полной очистки бревен от коры и снятия наиболее загрязненного внешнего слоя.

Цель данной работы – предложить пути получения «чистой» древесины в виде окоренного сырья или готовых пиломатериалов. Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи: определить место переработки древесины; подобрать необходимое оборудование; разработать методику оптимального планирования раскроя бревен, загрязненных радионуклидами.

Для получения чистой древесины необходимо выполнять целый ряд технологических операций – окорку, распиловку, переработку отходов от распиловки и раскряжевки. Предпочтение следует отдавать мобильным установкам, работающим от бензиновых или дизельных двигателей путем отбора мощностей [7]. Для выполнения технологических операций целесообразно использовать одну из предлагаемых нами ранее схем [3].

Окорка сортиментов выполняется передвижным окорочным станком с приводом от вала отбора мощности трактора. Погрузка окоренных сортиментов на подвижной состав может осуществляться манипуляторным погрузчиком или самозагружающимся автомобилем, который устанавливается в удобном для погрузки месте.

В районах второй и последующих зон загрязнения удельная активность цезия-137 превышает допустимые нормы не только в коре, но и в верхнем 3-сантиметровом слое древесины. Проводить окорку в таких случаях нецелесообразно, так как все равно необходимо удалять верхний слой древесины.

При переработке древесины, зараженной радионуклидами, невозможно их полностью удалить, незначительная часть все равно остается в древесине. Поэтому из такой древесины целесообразно изготавливать продукцию, которая будет эксплуатироваться там, где не будет прямого контакта с человеком

(например, шпалы). Производство шпал не сопряжено с большим количеством операций и является наименее трудоемким. До настоящего времени они находят широкое применение, так как Россия располагает самой большой в мире протяженностью железных дорог (более 50 % грузоперевозок в стране осуществляется железнодорожным транспортом). Шпалы, полученные из загрязненной древесины, необходимо использовать на территориях, подвергшихся радиационному воздействию.

Нами предложена технологическая схема процесса производства шпал из круглых лесоматериалов, пораженных радионуклидами. Раскряжевка таких хлыстов осуществляется в соответствии с предлагаемой нами схемой [11], продольный раскрой полученных в результате раскряжевки сортиментов на пилопродукцию – по схеме, предложенной авторами и защищенной патентом РФ [9].

Для предлагаемых вариантов технологических процессов в настоящее время можно использовать мобильные установки как отечественного, так и зарубежного производства. Сортименты диаметром свыше 22 см можно очищать от коры, вывозить для дальнейшего использования или распиловки на мобильных лесопильных рамах, ленточнопильных или круглопильных установках на обрезные пиломатериалы и отгружать потребителю. Для переработки сортиментов диаметром менее 22 см в технологический процесс лесосечных работ можно включать передвижную фрезернопильную установку типа УПП-1М, которая даст возможность практически все сортименты диаметром в верхнем торце 6...18 см и в комле до 22 см переработать в пиломатериалы. Оставшуюся древесину диаметром в верхнем торце меньше 6 см (вершинки и сучья) можно измельчать в передвижной рубильной машине типа ДОП-1.

Изготовление шпал можно организовать с помощью мобильного ленточнопильного станка «Тайга» с автономным двигателем внутреннего сгорания. Для распиловки ленточной пилой пильного механизма, перемещаемого по рельсовым направляющим вдоль горизонтальной плоскости обрабатываемого материала, нами предложена схема раскроя [9, 10], включающая деление лесоматериалов в продольном направлении на пиломатериалы параллельно их продольной оси. При этом лесоматериал фиксируют за здоровую периферийную зону, определяют форму и параметры пораженного слоя и выполняют деление в продольном направлении по взаимно перпендикулярным плоскостям, параллельно образующей, по касательной к внутренней границе пораженного слоя.

Полученный брус, имеющий зоны, загрязненные радионуклидами, далее делят в продольном направлении по взаимно перпендикулярным плоскостям через линии контакта здоровой древесины с оставшимся пораженным слоем. В результате получается чистая пилопродукция.

Критерием оптимизации, который учитывает два разнонаправленных процесса, является наименьшее содержание радионуклидов в пиломатериалах. При этом целевая функция (модель) принимает следующий вид:

$$W = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n \frac{\sum_{j=1}^r \sum_{l=1}^z \lambda_{ijkl} q_{ijkl}}{\lambda_{ik} \left(\sum_{j=1}^r \sum_{l=1}^z q_{ijkl} \right)^2} Q_{ik} X_{ik} \rightarrow \min$$

при ограничениях:

на ресурсы пиловочного сырья

$$\sum_{k=1}^n X_{ik} \leq Z_i; \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

на объем получаемых пиломатериалов стандартных типоразмеров

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^z q_{ijkl} X_{ik} \geq V_j; \quad j = 1, 2, \dots, r;$$

на удельную активность радионуклидов в доске

$$\lambda_{ijkl} \leq \lambda_{\text{доп}}; \quad i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, r; l = 1, 2, \dots, z$$

при граничных условиях:

$$X_{ik} \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n.$$

Ниже приведены условные обозначения, используемые при построении модели.

1. Индексы: m – число групп пиловочного сырья, подлежащего раскрою на пиломатериалы; i – номер группы пиловочного сырья ($i = 1, 2, \dots, m$); n – число поставок для раскроя пиловочного сырья; k – номер поставка ($k = 1, 2, \dots, n$); r – число типоразмеров пиломатериалов, получаемых при раскросе; j – номер типоразмера пиломатериала ($j = 1, 2, \dots, r$); l – количество досок одного сечения ($l = 1, 2, \dots, z$).

2. Параметры: Z_i – объем i -й группы пиловочного сырья; V_j – объем пиломатериалов j -го типоразмера; H_i – нормативный выход пиломатериалов; Q_{ik} – объем бревна i -й группы распиливаемого k -м поставом; q_{ijkl} – объем пиломатериала j -го стандартного типоразмера, полученный из сырья i -й группы по k -му поставу; λ_{ijkl} – удельная активность радионуклидов в пилопродукции, Бк/кг; λ_{il} – удельная активность радионуклидов в бревне, Бк/кг; $\lambda_{\text{доп}}$ – допустимая удельная активность радионуклидов в пилопродукции.

3. Переменная X_{ik} – количество бревен i -й размерной группы, раскросенных по k -му поставу.

Для составления оптимального плана раскроя сырья необходимо проанализировать множество различных вариантов поставок. При этом задача оптимального планирования раскроя бревен различного диаметра заключается в том, чтобы из этих поставок в план раскроя, составляемый для всего заданного сырья, включать только те поставки, которые обеспечат выпилку пиломатериалов нужных размеров с допустимым содержанием радионуклидов при наименьших затратах сырья.

задаем значение переменной m , соответствующей числу досок в поставе с одной стороны от оси торца бревна; значение переменной m принимаем в пределах от 4 до 10 с градацией 1;

формируем массив возможных поставов $P(N_1, N_2, \dots, N_k)$, количество элементов этого списка изначально равно 0, где k – количество возможных неповторяющихся поставов;

формируем массив $N(1_1, 1_2, \dots, 1_m)$, значения элементов этого массива соответствуют индексам толщин досок в массиве T , данный массив добавляем в список P ;

организуем цикл до тех пор, пока значение переменной N_1 не будет равной n ; внутри цикла увеличиваем на одно значение последнего элемента массива N_m ; изменение значений массива N происходит по правилам n -ричного исчисления с условием, что $N_{m-1} \leq N_m$, где m – количество порядков; в результате получаем новый постав, который записываем в массив P ; условие $N_{m-1} \leq N_m$ при генерации поставов обеспечивает уменьшение толщины досок от центра бревна к периферии, что ведет к сокращению отходов;

заменяем значения массивов N , содержащихся в списке P , на значения массива T ; в результате этой замены получаем список возможных комбинаций досок; формируем массив $D(d_1, d_2, \dots, d_m)$, каждому элементу которого присваиваем значения диаметров, подлежащих распиловке;

на основе двух массивов P и D формируем массив $R(r_1, r_2, \dots, r_m)$ таким образом, что $r_j = t_{d_j}$ для $j = 1, 2, \dots, m$; сформированный массив P представляет половину первого сгенерированного симметричного постава, состоящего из досок одинаковой толщины, соответствующей значению первого элемента массива T ; сгенерированный постав записываем в базу данных.

Алгоритм генерации поставов для брусско-развального способа раскря аналогичен приведенному выше, за исключением того, что предварительно определяется толщина бруса, равная стандартной ширине обрезной доски в пределах от 0,6 до 0,8 вершинного диаметра. При генерации второго прохода массив T формируется из толщин боковых досок, полученных при первом проходе.

В матрице исходных данных можно выделить два блока строк: первый блок содержит информацию о получаемых пиломатериалах, второй – об использовании сырья.

Первый блок строк заполняется при последовательном переборе всех поставов. При этом в матрицу помещаются значения объемов пиломатериалов стандартного сечения, получаемых при раскряе сырья соответствующего диаметра. В столбцах первой строки матрицы содержатся значения целевой функции – объемы пиломатериалов, получаемых при раскряе сырья i -го диаметра ($i = 1, 2, \dots, m$) j -м поставом ($j = 1, 2, \dots, n$).

Второй блок строк содержит число строк, равное количеству типоразмеров материалов и сырья. В матрицу помещают значения объемов обрезных пиломатериалов с учетом объема части доски из загрязненной зоны, имеющиеся в наличии объемы сырья и требуемые объемы пиломатериалов.

Для решения задачи оптимизации производства пиломатериалов использована программа, реализующая симплекс-метод.

Учитывая, что получение зависимостей влияния различных геометрических характеристик сырья, толщины слоя древесины, загрязненного радионуклидами свыше нормативных значений на удельную активность пиломатериалов, достаточно трудоемкий процесс и требует большого количества времени и материальных затрат, нами было разработано соответствующее программное обеспечение.

Предлагаемая нами технология позволяет с минимальными потерями заготовить и отгрузить потребителю чистую древесину в виде окоренного сырья или готовых пиломатериалов.

Наиболее предпочтительные методы утилизации образующихся при этом радиоактивных отходов древесины:

измельчение непосредственно на лесосеке и захоронение в специально подготовленные траншеи;

равномерное распределение по окружающей территории [4];

утилизация (газификация) с помощью газогенератора [2], которая позволяет уменьшить возможность загрязнения генераторного газа радиоактивными веществами при переработке древесины в районах, загрязненных радионуклидами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борзенков Ю.А., Шубина О.А., Спиридонов С.И., Фесенко С.В. Прогнозирование распределения ^{137}Cs по компонентам древесного яруса леса при различных источниках радиоактивного загрязнения // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2005. Вып. 63. С. 457–458.

2. Газогенератор для переработки древесных радиоактивных отходов: пат. 2073926 РФ, МПК G 21 F 9/32 / Колчанов Г.Г., Наганов А.В., Савушкин И.А., Дубровский В.Д. // Изобретения. Полезные модели. 1997. № 6.

3. Заикин А.Н., Меркелов В.М. Технология и оборудование заготовки и переработки древесины, загрязненной радионуклидами. Брянск: БГИТА, 2012. 266 с.

4. Заикин А.Н., Меркелов В.М. Технология использования древесины с территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: сб. докл. IV Междунар. науч. эколог. конф. Краснодар: Кубанский госагроуниверситет, 2015. Ч. II. С. 573–575.

5. Кузнецов А.В., Москвиллин Е.А., Федоткин Д.В., Зверева-Степная А.В. Экологические последствия лесных пожаров на радиоактивно загрязненной местности. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-posledstviya-lesnyh-pozharov-na-radioaktivno-zagryaznennoy-mestnosti>

6. Меркелов В.М., Заикин А.Н., Богданова Ю.А. Алгоритм генерации поставок при раскросе сырья, загрязненного радионуклидами / Под общей ред. Е.А. Памфилова // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. Вып. 37. Брянск: БГИТА, 2013. С. 164–166.

7. Меркелов В.М., Макеева А.А. Мобильные установки для переработки древесины, загрязненной радионуклидами // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: материалы II Междунар. науч.-техн. конф. Кострома: КГТУ, 2013. С. 132–134.

8. Руководство по ведению лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения от аварии на Чернобыльской АЭС (на период 1997–2000 гг.). Режим доступа: <https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fwww.forestforum.ru%2Finfo%2Fflaws%2Fmanagement%2Fradiation.doc&name=radiation.doc&lang=ru&c=57f69787f466&page=1>

10. Способ раскроса круглых лесоматериалов, пораженных радионуклидами: пат. 2350460 РФ, МПК В 27 В 1/00 / Торопов А.С., Торопов С.А., Меркелов В.М., Микрюкова Е.В., Шакирова А.И.; заявитель и патентообладатель Мар. ГТУ. № 2007117657/03; заявл. 11.05.07; опубл. 27.03.09, Бюл. № 9.

9. Способ раскроса круглых лесоматериалов, пораженных радионуклидами: пат. 2247022 РФ, МПК В 27 В 1/00 / Торопов А.С., Меркелов В.М., Жидова Е.В., Краснова В.Ф.; заявитель и патентообладатель Мар. ГТУ. № 2007117657/03; заявл. 11.05.07; опубл. 27.03.09, Бюл. № 9.

11. Торопов А.С., Меркелов В.М., Краснова В.Ф. Математическая модель определения объемного выхода пилопродукции при раскросе хлыстов, загрязненных радионуклидами // Лесн. журн. 2011. № 2. С. 124–129. (Изв. высш. учеб. заведений).

12. Торопов А.С., Меркелов В.М., Краснова В.Ф. Принципы моделирования раскроса древесины, загрязненной радионуклидами // Вестн. Красн.ГАУ. 2011. № 5. С. 7–11.

13. Panfilov A.V., Uspenskaya E.Ju. Rehabilitation of Radioactive Contaminated Forests. IAEA-TECDOC-1280. Radiation Legacy of the 20th Century: Environmental Restoration. Vienna, 2002, pp. 329–336.

Поступила 13.04.16

UDC 674.09:630*

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.119

Peculiarities of Processing of Wood Polluted by Radioactive Nuclides

A.S. Toropov¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

A.N. Zaikin², Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

V.M. Merkelov², Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

¹Volga State University of Technology, Lenina pl., 3, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation; e-mail: zaikin.anatoliy@yandex.ru

²Bryansk State Engineering Technological University, Stanke-Dimitrova pr., 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: Zaikin.Anatolij@yandex.ru, vmerkelov55@mail.ru

For citation: Toropov A.S., Zaikin A.N., Merkelov V.M. Peculiarities of Processing of Wood Polluted by Radioactive Nuclides. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1, pp. 119–128. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.119

As a result of the industrial accidents, including the accident at the Chernobyl nuclear power plant, a significant part of forests of the country was subjected to radioactive contamination. The use of wood from these regions is very important as it allows solving the environmental problems by reducing the probability of recontamination of surrounding areas with radionuclides. This problem can be fixed on the basis of the processing technology of wood contaminated with radionuclides with the use of mobile units in the felling sites operated from gasoline or diesel engines via the driveshaft. This enables to avoid transportation of contaminated wood in the clean regions, to organize the processing without the stationary plant constructions and to reduce the cost of processing. To implement such technology we offer the cutting schemes for wood, contaminated with radionuclides, which allow obtaining sawn timber of desired size, not containing radionuclides. This solves the problems of optimal planning of log cutting of various diameters by including only those sawing patterns in the optimum cutting plan that provide the desired size of sawing lumber with the permissible content of radionuclides at the lowest raw-materials consumption. This technology provide with minimal losses harvesting and shipping to a consumer of "clean" wood in the form of debarked raw material or finished lumber. The products, which eliminate a direct contact with people, such as sleepers, make the most sense. The resulting radioactive waste wood can be disposed by shredding and landfilled directly in a felling site or by the gasification methods using a gas generator producing mixture gas with a minimum level of radionuclide contamination

Keywords: radioactive nuclide, pollution, barking, felling site, sawing process, sleeper, optimal planning.

REFERENCES

1. Borzenkov Yu.A., Shubina O.A., Spiridonov S.I., Fesenko S.V. Prognozirovanie raspredeleniya ^{137}Cs po komponentam drevesnogo yarusa lesa pri razlichnykh istochnikakh radioaktivnogo zagryazneniya [137Cs Distribution Prediction According to the Components of the Forest Tree Layer with Different Sources of Radioactive Contamination]. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sb. nauch. tr.* [Problems of Forest and Forestry], 2005, no. 63, pp. 457–458.
2. Kolchanov G.G., Naganov A.V., Savushkin I.A., Dubrovskiy V.D. *Gazogenerator dlya pererabotki drevesnykh radioaktivnykh otkhodov* [The Gas Generator for Wood Radioactive Waste Processing]. Patent RF, no. 2073926, 1997.
3. Zaikin A.N., Merkelov V.M. *Tekhnologiya i oborudovanie zagotovki i pererabotki drevesiny, zagryaznennoy radionuklidami* [Technology and Equipment for Harvesting and Processing of Timber, Contaminated with Radionuclides]. Bryansk, 2012. 266 p.
4. Zaikin A.N., Merkelov V.M. Tekhnologiya ispol'zovaniya drevesiny s territoriy, podvergshikhsya radioaktivnomu zagryazneniyu [Technology of Wood Using in the Territories Affected by Radioactive Contamination]. *Problemy rekul'tivatsii otkhodov byta, promyshlennogo i sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva: sb. dokl. IV Mezhdunar. nauch. ekolog. konf.* [Problems of Reclamation of Waste of Household, Industrial and Agricultural Production: Proc. 4th Intern. Sci. Ecol. Conf.]. Krasnodar, 2015, ch. II, pp. 573–575.
5. Kuznetsov A.V., Moskvilin E.A., Fedotkin D.V., Zvereva-Stepnaya A.V. *Ekologicheskie posledstviya lesnykh pozharov na radioaktivno zagryaznennoy mestnosti* [Environmental Impacts of Forest Fires on the Contaminated Areas]. Available at:

<http://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-posledstviya-lesnyh-pozharov-na-radioaktivno-zagryaznennoy-mestnosti>.

6. Merkelov V.M., Zaikin A.N., Bogdanova Yu.A. Algoritm generatsii postavov pri raskroe syr'ya, zagryaznennogo radionuklidami [Algorithm of Sawing Pattern Generation when Sawing Process of Wood Contaminated with Radionuclides]. Ed. by E.A. Pamfilov. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa: sb. nauch. tr. Vyp. 37* [Actual Problems of the Forestry Complex: Proc. Vol. 37]. Bryansk, 2013, pp. 164–166.

7. Merkelov V.M., Makeeva A.A. Mobil'nye ustanovki dlya pererabotki drevesiny, zagryaznennoy radionuklidami [Mobile Units for the Wood Processing, Contaminated with Radionuclides]. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa: materialy II Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Actual Problems and Prospects of Development of the Timber Industry: Proc. 2nd Intern. Sci. Eng. Conf.]. Kostroma, 2013, pp. 132–134.

8. *Rukovodstvo po vedeniyu lesnogo khozyaystva v zonakh radioaktivnogo zagryazneniya ot avarii na Chernobyl'skoy AES (na period 1997–2000 gg.)* [Guidelines for Forest Management in the Radioactive Contaminated Areas due to the Chernobyl Accident (for the Period of 1997–2000)]. Available at: <https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fwww.forestforum.ru%2Finfo%2Fflaws%2Fmanagement%2Fradiation.doc&name=radiation.doc&lang=ru&c=57f69787f466&page=1>.

9. Toropov A.S., Merkelov V.M., Zhidova E.V., Krasnova V.F. *Sposob raskroya kruglykh lesomaterialov, porazhennykh radionuklidami* [The Method of Round Timber Cutting Affected by Radionuclides]. Patent RF, no. 2247022, 2007.

10. Toropov A.S., Toropov S.A., Merkelov V.M., Mikryukova E.V., Shakirova A.I. *Sposob raskroya kruglykh lesomaterialov, porazhennykh radionuklidami* [The Method of Round Timber Cutting Affected by Radionuclides]. Patent RF, no. 2350460, 2007.

11. Toropov A.S., Merkelov V.M., Krasnova V.F. Matematicheskaya model' opredeleniya ob"emnogo vykhoda piloproductsii pri raskroe khlystov, zagryaznennykh radionuklidami [Mathematical Model for Determination of Three-Dimensional Output of Sawn Products in Cutting of Tree-Length Timber Polluted by Radionuclides]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 2, pp. 124–129.

12. Toropov A.S., Merkelov V.M., Krasnova V.F. Printsipy modelirovaniya raskroya drevesiny, zagryaznennoy radionuklidami [Principles of Cutting Modeling of Wood Contaminated with Radionuclides]. *Vestnik KrasGAU* [the Bulletin of KrasGAU], 2011, no. 5, pp. 7–11.

13. Pamfilov A.V., Uspenskaya E.Ju. Rehabilitation of Radioactive Contaminated Forests. *IAEA-TECDOC-1280. Radiation Legacy of the 20th Century: Environmental Restoration*. Vienna, 2002, pp. 329–336.

Received on April 13, 2016

УДК 634.0.332.1.002.5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.129

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА РОТОРНОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ

Д.Г. Мясичев, д-р техн. наук, проф.

С.А. Путинцев, асп.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: Сerepa29ru@yandex.ru

Для создания более благоприятных условий отдыха людей в условиях парковых зон и повышения плодородия полей используют нулевую обработку почвы, включающую в себя механическое измельчение растительных остатков. Показана необходимость создания нового класса техники для нулевой обработки почвы – измельчителя на базе моташасси, обоснована актуальность предложенной компоновки для предполагаемых условий его использования. Рассмотрены иные варианты исполнения подобных измельчителей в виде навесного оборудования на трактор и сделан вывод о наличии у данного вида рабочей техники некоторых недостатков, связанных со сложностью и дороговизной их транспортировки к месту выполнения работ. Важным техническим отличием от существующей техники, имеющей привод рабочего органа от вала отбора мощности, в нашем случае является то, что рабочий орган приводится в действие автономным двигателем от бензопилы «Урал МП-5 Электрон». Это позволяет отдельно рассчитывать топливную экономичность шасси при движении и двигателя рабочего органа при выполнении работ по измельчению. Предложена математическая модель топливной экономичности самоходного измельчителя растительного напочвенного покрова в условиях лесопарковых, садовых и коммунальных хозяйств. В качестве базового шасси рассмотрен двухколесный вариант с колесной формулой 2×1 . В модели исследуется роторный рабочий орган измельчителя, имеющий 16 ножей Г-образной формы, автономный привод от двигателя внутреннего сгорания (проектная ширина захвата барабана–измельчителя 0,5 м, рабочая частота вращения 1900 мин^{-1}). В процессе математического моделирования использованы положения метода статистической динамики линейных стохастических систем и дискретной оптимизации. Сделаны выводы о возможности решения оптимизационной задачи по минимизации удельного технологического расхода топлива при измельчении напочвенной биомассы – листьев, стеблей травы, мелких корней и сучьев.

Ключевые слова: измельчение, листья, расход топлива, моташасси, ротор, рабочий орган, оптимизация.

Для цитирования: Мясичев Д.Г., Путинцев С.А. Оптимизация расхода топлива роторного измельчителя растительных остатков // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 129–140. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.129

Введение

Рассмотренный и одобренный на заседании Правительства Российской Федерации 12 ноября 2015 г. законопроект о безвозмездном предоставлении гражданам России земельных участков, расположенных в Дальневосточном федеральном округе, предполагает поиск инновационных решений, разработку оригинальных подходов в вопросах построения эффективной инфраструктуры для реализации указанного направления. Это связано с явно выраженной специфической структурой и состоянием предполагаемых для освоения территорий: отсутствие качественной дорожной сети, пересеченный рельеф местности, значительные лесопокрытые территории, мелкоконтурность площадей и др.

В связи с необходимостью создания на вновь осваиваемых территориях рекреационных благоустроенных зон в лесопарковых хозяйствах, поддержания в них благоприятных для отдыха людей условий, а также для обеспечения эстетичности ландшафта, требуется комплексная механизация лесохозяйственных работ за счет создания агрегатов для измельчения поверхностных растительных остатков. К остаткам прежде всего относятся опавшие листья и растительность нижних ярусов в осенний период года, биомасса которых может составлять до 7 % от суммарного показателя ресурса древостоя [2].

В специальной литературе процесс измельчения биомассы и использование ее в качестве органических удобрений получил название «мульчирование». В нашем случае более приемлем сельскохозяйственный термин «нулевая обработка почвы», который широко применяется в работах зарубежных специалистов [4].

Для нулевой обработки почвы используют лесо- и сельскохозяйственные машины, рабочие органы которых исполняются активного типа, как правило, с приводом карданными передачами от трансмиссии базового трактора. Они представляют собой цилиндрические барабаны с ножами (отечественный агрегат ЛУМ-1П, TRIUMF фирмы «TRIUMF MASHINERI» (США), UFM (ФРГ)), имеющие горизонтальную ось вращения. Диаметр роторного режущего барабана может быть от 40 до 70 см при ширине захвата от 1,5 до 3,5 м. Измельчающие ножи, количество которых может колебаться от 12 до нескольких десятков, выполняются плоской прямоугольной, П-, Г-, Т-образной формы и изготавливаются из специальной износостойкой стали. Их можно устанавливать жестко- или шарнирно-прикрепленными. Привод барабана оснащается предохранительными устройствами – фрикционными муфтами, срезаемыми при перегрузке штифтами. Менее распространены рабочие органы с плоскими (имеющими вертикальную ось вращения) дисковыми режущедробящими роторами с 3–5 ножами (фирм «NATIONAL-HUDRO-ACS», «ROUER» (США)). Рабочая частота вращения ротора может составлять 1500...2000 мин⁻¹.

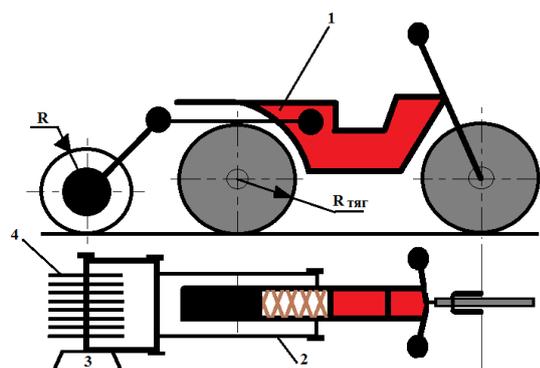
Общим недостатком отмеченного типа оборудования (трактор, прицепной или навесной измельчитель) является то, что транспортировка его к месту применения в дачных, парковых и лесопарковых хозяйствах требует использования дополнительных машин – трейлеров, что увеличивает затраты, иногда нерациональные, например, при обработке мелкоконтурных участков.

Для такого случая нами предложено в качестве тягового модуля технологического оборудования (далее – машина) использовать мототехнику (мотоциклы, мопеды и мокики).

Необходимо отметить, что зарубежные разработчики этих транспортных машин, начиная с 60-х гг. XX в., активно используют принцип «нужен и в труде, и для развлечений» [6, 7]. Особенно это проявляется в конструкциях полноприводных (2×2) мотоциклов, например Roxon Tail-Breaker (США) и «Васюган» (Россия). Подобные решения, по мнению авторов, целесообразны в качестве базового шасси агрегатов для измельчения поверхностных растительных остатков в условиях освоения «щелинных» рекреационных мелкоконтурных земельных участков, расположенных в Дальневосточном федеральном округе, а также в других регионах России.

Цель данной работы – путем математического моделирования на этапе обоснования проектных решений получить совокупность базовых компоновочных и конструктивных параметров, определяющих минимум энергоемкости технологического процесса измельчения растительных остатков, при высоких экологических качествах и целесообразности использования в специфических условиях мелкоконтурных (до 1,5 га) лесопарковых и садовых территорий.

Очевидно, что машина должна обеспечивать транспортные переезды для смены обрабатываемого объекта путем ее погрузки на мотошасси. На рисунке представлено предлагаемое компоновочное решение рассматриваемого агрегата.



Компоновочная схема действующего макетного образца агрегата-измельчителя на мотошасси: 1 – мотошасси (ЗИД-50); 2 – навеска технологической машины; 3 – силовой агрегат (двигатель бензопилы «Урал МП-5 Электрон»); 4 – ротор технологической машины с ножами измельчителя собственной конструкции (R и $R_{тяги}$ – см. формулы (4) и (22))

Объекты и методика исследований

В качестве методов для достижения поставленной цели использованы положения статистической динамики, математического моделирования и дискретной оптимизации.

При построении модели введены следующие допущения.

Для тягового шасси: буксование и скольжение колес ввиду малых скоростей движения не учитываем; опору мотошасси из-за предполагаемой однородности факторов, составляющих сопротивление движению от опорной поверхности агрегата при моделировании его прямолинейного перемещения, считаем поверхностью с заданным направляющим уклоном α ; движение агрегата считаем равномерным.

Для машины: предполагаемая однородность обрабатываемого предмета труда (слой опавших листьев и отпавшая травяная растительность) позволяет для единичного элемента рабочего органа (одному ножу измельчителя на всем барабане) принять сопротивление измельчения равным среднему значению за его «нагруженный» сектор при вращении в течение одного оборота; глубину обработки слоя биомассы при мульчировании в расчетах принимаем средней величиной с учетом специфики компоновки моделируемого агрегата; текущие препятствия типа «выступ» и «впадина» на покрытом растительной биомассой пути движения технологической машины представляем в виде абсолютно жесткой поверхности, наклонной под углом α с заданными (переменными во времени) геометрическими параметрами пути с микропрофилем, который определяем углом $\beta(t)$. Предполагаем, что дискретные выступы и впадины почвенного фона под машиной не накладываются друг на друга при движении.

Изложенные ниже рассуждения и выкладки должны позволить оценить энергетические (часовой расход топлива) показатели системы для тягового мотошасси в статике, для машины – с учетом неустановившегося режима ее работы. Для мотоцикла такой подход объясняется тем, что на этапе проектирования и подготовки к экспериментальным исследованиям ряд показателей мотошасси, в том числе динамическая характеристика его двигателя 1P39FMB-B (Китай), неизвестны.

Актуальность использования положений статистической динамики при моделировании машины основывается на методических рекомендациях В.П. Антипина [1]. В дальнейшем отмеченные особенности адаптированы к исследуемому случаю.

Часовой расход топлива (B , кг/ч) двигателя внутреннего сгорания привода машины

$$B = \frac{3600 d_{\text{ц}} \omega_{\text{кв}} C_{\text{д}}}{\pi \tau_{\text{д}}}, \quad (1)$$

где $d_{\text{ц}}$ – цикловая подача, кг;

$\omega_{\text{кв}}$ – угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя, рад·с⁻¹;
 C_{δ} – число цилиндров;
 π – число Архимеда;
 τ_{δ} – тактность двигателя.

Эффективный крутящий момент (M_e , Н·м), развиваемый двигателем, представим как

$$M_e = \frac{10^3 H_{\text{и}} C_{\delta} \partial_{\text{ц}} \eta_e}{\pi \tau_{\delta}}, \quad (2)$$

где $H_{\text{и}}$ – низшая теплота сгорания топлива, кДж/ кг;

η_e – эффективный коэффициент полезного действия двигателя привода ротора.

Выразив из (2) $\partial_{\text{ц}}$ через M_e и подставив результат в формулу (1), получим

$$B = \frac{3,6 \omega_{\text{кв}} M_e}{\eta_e H_{\text{и}}}. \quad (3)$$

Для изучаемого случая

$$M_e = \frac{P_{\text{к}} R}{i_{\text{трм}} \eta_{\text{трм}}}, \quad (4)$$

где $P_{\text{к}}$ – касательная сила на барабане, Н;

R – радиус барабана–измельчителя по наружным кромкам ножей (см. рисунок), м;

$i_{\text{трм}}$ – передаточное число планетарного редуктора;

$\eta_{\text{трм}}$ – коэффициент полезного действия привода ротора–измельчителя.

При измельчении биомассы машиной затрачивается энергия топлива на преодоление следующих сил и моментов:

а) Результирующая сила сопротивления измельчению ($P_{\text{рм}}$, Н) – усредненная по ножам (измельчителям) результирующая сила как от дробления, так и от резания в процессе измельчения растительной напочвенной биомассы, т. е. с учетом полойной снятия ее стружки при продольном попутном перемещении рабочего органа:

$$P_{\text{рм}} = \frac{1}{R} 0,375 K_{\text{изм}} S B [(R - 0,5S) + R] \sin \beta. \quad (5)$$

где $K_{\text{изм}}$ – удельное сопротивление измельчению (в совокупности резанию, дроблению, сжатию), Н/м² (Па);

S – шаг минерализации почвы, м,

$$S = \frac{2\pi V}{Z_{\text{изм}} \omega_{\text{ф}}} = \frac{60V}{Z_{\text{изм}} n_{\text{ф}}}; \quad (6)$$

B – ширина захвата рабочего органа, м;

β – угол наклона измельчительного ножа относительно вертикали при его касании с почвой, рад;

V – поступательная скорость агрегата, м/с;

Z_{ϕ} – число ножей (измельчителей), шт.;

ω_{ϕ} – угловая скорость рабочего органа агрегата при измельчении, рад·с⁻¹;

n_{ϕ} – частота вращения вала рабочего органа, мин⁻¹.

б) Текущая сила сопротивления поступательного перемещения машины (P_f , Н):

$$P_f = G_{\text{маш}} \cdot f_k \cos[\beta(t)]; \quad (7)$$

где $G_{\text{маш}}$ – вес машины, Н;

f_k – коэффициент сопротивления перемещению.

в) Сила сопротивления подъему (P_{α} , Н):

$$P_{\alpha} = G_{\text{маш}} \sin \alpha. \quad (8)$$

г) Момент инерции измельчающих элементов машины ($I_{\text{маш}}$, кг·м²):

$$I_{\text{маш}} = m_{\text{изм}} R^2 Z_{\text{изм}}, \quad (9)$$

где $m_{\text{изм}}$ – масса одного измельчающего элемента машины, кг.

Сумма результатов выражений (5), (7) и (8) равна P_k .

д) В соответствии с (5) – (9) получим выражение эффективного крутящего момента (M_e , Н·м) двигателя привода машины:

$$M_e = \frac{R}{i_{\text{трм}} \eta_{\text{трм}}} (P_{\text{рм}} + G_{\text{маш}} \sin \alpha + f_k G_{\text{маш}} \cos[\beta(t)]) + \frac{\pi}{30} (I_{\phi} + I_{\text{маш}}) \frac{dn(t)}{dt}, \quad (10)$$

где I_{ϕ} – приведенные к коленчатому валу моменты инерции вращательно движущихся деталей двигателя, кг·м²;

n – частота вращения коленчатого вала двигателя привода технологической машины в режиме измельчения биомассы, мин⁻¹.

Приняв во внимание, что

$$\omega_{\text{кв}} = \frac{\pi n}{30}, \quad (11)$$

и подставив (9) в (3), получим

$$B = \frac{3,6\pi n R}{30 H_{\text{и}} \eta_e i_{\text{трм}} \eta_{\text{трм}}} (P_{\text{рм}} + G_{\text{маш}} \sin \alpha + f_k G_{\text{маш}} \cos[\beta(t)]) + \frac{3,6\pi^2 n}{900 H_{\text{и}} \eta_e} (I_{\phi} + I_{\text{маш}}) \frac{dn(t)}{dt}. \quad (12)$$

Обозначив $I = I_{\phi} + I_{\text{маш}}$, преобразуем (12):

$$B = P_1 (P_{\text{рм}} n + n G_{\text{маш}} \sin \alpha + f_k G_{\text{маш}} \cos[\beta(t)] n) + P_2 I n \frac{dn(t)}{dt}. \quad (13)$$

Приращения частоты вращения коленчатого вала двигателя мототрактора $\Delta n(t)$ во времени t , связанные с изменением угла $\Delta\beta(t)$, вызывают приращения часового расхода топлива:

$$\Delta B(t) = P_1 \left[P_{\text{рм}} \Delta n(t) + \Delta n(t) G_{\text{маш}} \sin \alpha + f_{\text{к}} (\cos \beta_0 \Delta n(t) + n_0 \cos[\Delta\beta(t)]) \Delta n(t) \right] + P_2 I \left(n_0 \frac{d\Delta n(t)}{dt} + \frac{dn}{dt} \Big|_{t=0} \Delta n(t) \right). \quad (14)$$

Здесь β_0 – математическое ожидание (среднее значение) угла между горизонталью и поверхностью уклона вдоль микронеровности на выборке участка пути измельчителя, рад;

n_0 – постоянная составляющая (оценка математического ожидания) частоты вращения коленчатого вала двигателя привода машины, мин⁻¹.

Применив преобразование Лапласа [5], запишем выражение (14) в операторном виде:

$$B(s) = P_1 \left[P_{\text{рм}} n(s) + n(s) G_{\text{маш}} \sin \alpha + f_{\text{к}} G_{\text{маш}} \left(n(s) \cos \beta_0 + \frac{n_0 s}{\beta_0^2 + s^2} \right) \right] + P_2 I (n_0 s n(s) + \Phi_{\text{п}} n(s)), \quad (15)$$

где s – оператор дифференцирования, $s = \frac{d}{dt}$;

$\Phi_{\text{п}}$ – константа двигателя, $\Phi_{\text{п}} = \frac{dn}{dt} \Big|_{t=0} = \text{const}$.

В операторном виде переменную составляющую момента сопротивления $M_c(t)$ движению транспортного агрегата запишем как

$$M_c(s) = \frac{G_{\text{маш}} f_{\text{к}} s R}{(\beta_0^2 + s^2) i_{\text{трм}} \eta_{\text{трм}}}. \quad (16)$$

Согласно теореме Винера–Хопфа, разделив левую и правую части выражения (15) на входное возмущающее воздействие $M_c(s)$, получим передаточную функцию часового расхода топлива данной машины:

$$W(s) = P_1 \left[P_{\text{рм}} U(s) + G_{\text{маш}} U(s) \sin \alpha + G_{\text{маш}} f_{\text{к}} (U(s) \cos \beta_0 + P_3 n_0) \right] + P_2 I (n_0 s U(s) + \Phi_{\text{п}} U(s)), \quad (17)$$

где $W(s) = \frac{B(s)}{M_c(s)}$ – передаточная функция часового расхода топлива;

P_1, P_2, P_3 – расчетные коэффициенты модели;

$U(s)$ – передаточная функция угловой частоты вращения коленчатого вала двигателя привода машины (динамическая характеристика двигателя бензопилы «Урал МП-5 Электрон») [3], $U(s) = \frac{n(s)}{M_c(s)}$.

В соответствии с теоретическими положениями методики [1] определим математическое ожидание спектральной плотности часового расхода топлива измельчителя:

$$M_b(\omega) = \left[\frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} |W(j\omega)|^2 d\omega \right]^{0.5}, \quad (18)$$

где $|W(j\omega)|^2$ – квадрат модуля передаточной функции (17);

ω – текущая угловая частота гармоник процесса, рад·с⁻¹.

Отметим, что выражение (18) получено в предположении, что плотность вероятности появления каждой гармоники с частотой ω равна 1, т. е. для упрощения вывода этой формулы (из-за невозможности охватить весь диапазон характеристик случайного процесса переменной составляющей момента сопротивления $M_c(s)$ использована характеристика – Δ функции). Поэтому при практическом использовании (численном интегрировании) выражения (18) верхний предел интеграла ∞ необходимо принимать по значению частоты ω , соответствующей математическому ожиданию (среднему значению) переменной момента сопротивления $M_c(s)$ (формула (16)) в исследуемых условиях эксплуатации.

При этом результат $M_b(\omega)$ интерпретируется как корень квадратный из площади (в соответствующем масштабе) под интегральной кривой $|W(j\omega)|^2$ в интервале интегрирования для реального диапазона частоты ω .

Таким образом, часовой расход топлива (B , кг/ч) рассматриваемой технологической машины на базе мотопшасси [1]:

$$B = B_0 + M_b(\omega), \quad (19)$$

где B_0 – часовой расход топлива, соответствующий средним значениям частоты вращения n_0 при $\beta(t) = 0$ и отсутствии сил инерции.

В нашем случае из (13) следует, что

$$B_0 = n_0 P_1 [P_{рм} + G_{маш} (\sin \alpha + f_k)] + 0,5 P_2 I_{маш} n_0^2 \eta_e. \quad (20)$$

Исходя из представленных выше допущений при математическом моделировании, оценку часового расхода топлива тяговым мотопшасси следует определять отдельно.

Сила тяги мотопшасси при измельчении ($P_{тяг}$, Н):

$$P_{тяг} = G_{тяг} (f_{тяг} \cos \alpha + \sin \alpha) - P_{рм}, \quad (21)$$

где $G_{тяг}$ – вес мотопшасси с оператором, Н;

$f_{тяг}$ – коэффициент сопротивления качению колес тягового модуля.

Последняя величина ($P_{рм}$) в выражении (21) вычитается, так как результирующая сопротивления роторной машиной измельчению надпочвенной биомассы создает силу, способствующую движению тягового модуля (базового мотошасси).

Таким образом, эффективный крутящий момент ($M_{ет}, Н \cdot м$), развиваемый рассматриваемым двигателем мотошасси, представим как

$$M_{ет} = \frac{R_{тяг} P_{тяг}}{i_{трт} \eta_{трт}}, \quad (22)$$

где $R_{тяг}$ – радиус ведущего колеса мотошасси, м;

$i_{трт}$ – передаточное число трансмиссии мотошасси в режиме измельчения (1-я или 2-я передача);

$\eta_{трт}$ – коэффициент полезного действия трансмиссии тягового модуля.

С учетом соотношений (3) и (12) искомый часовой расход ($B_{тяг}, кг/ч$) топлива

$$B_{тяг} = \frac{M_{ет} 3,6\pi n_{0т}}{30\eta_{ет} H_{Uт}}, \quad (23)$$

где $n_{0т}$ – частота вращения коленчатого вала двигателя мотошасси при максимальном $M_{ет}$ по внешней скоростной характеристике;

$\eta_{ет}$ – эффективный коэффициент полезного действия двигателя тягового модуля;

$H_{Uт}$ – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Тогда суммарный часовой расход топлива ($B_{агр}, кг/ч$) агрегата–измельчителя (мотошасси + роторная машина):

$$B_{агр} = B_{тяг} + B. \quad (24)$$

Важным этапом является проверка возможности двигателей агрегата–измельчителя обеспечить необходимую мощность рассматриваемого процесса.

Для проверки машины по мощности должны обеспечиваться необходимые соотношения реализации расчетных вариантов и параметров энергетических установок агрегата.

Систематизируя представленные математические выкладки, можно заключить, что, задаваясь при расчетах возможной производительностью агрегата по площади измельчения в час ($\Pi_{агр}, м^2/ч$), основываясь на его рабочей скорости поступательного движения и ширине захвата роторной машины, реально прогнозировать важный технико-экономический показатель – удельный расход топлива ($B_{уд}, кг/м^2$) в течении 1 ч рабочего хода технологической системы на единицу производительности:

$$B_{уд} = \frac{B_{агр}}{\Pi_{агр}}. \quad (25)$$

Основываясь на отмеченных особенностях предлагаемого математического описания, можно сформулировать оптимизационную задачу.

Пусть заданы: компоновочная схема, основные проектные параметры и характеристики агрегата для измельчения растительных остатков в парках и лесопарковых хозяйствах; характеристики взаимодействия ножей-измельчителей с предметом труда – биомассой.

Требуется: среди множества значений количества ножей-измельчителей на роторном барабане найти такое, при котором будет обеспечен минимум показателя эффективности системы ($\min B_{уд}$).

Макетный действующий образец агрегата находится в стадии изготовления. Для удешевления опытно-конструкторских работ и принятия предварительных проектных решений, а также в целях поддержки потенциальных отечественных производителей тяговый модуль представляет собой российский мокик ЗИД-50 (2×1). Ротор измельчителя оснащен 16 Г-образными ножами культиватора на базе мотоблока МБ «Нева» (Россия) с активным приводом от двигателя отечественной бензопилы «Урал МП-5 Электрон». Вращение от коленчатого вала на ведущий вал ротора передается через планетарный редуктор. Проектная ширина захвата барабана-измельчителя 0,5 м, рабочая частота вращения 1900 мин⁻¹.

Выводы

1. Предложенное теоретическое построение рекомендуется для оценки энергетических и технологических показателей самоходного агрегата на шасси 2×1 в целях оптимального выбора количества ножей-измельчителей для обеспечения минимума удельных энергозатрат на выполнение технологического процесса измельчения напочвенной растительной биомассы.

2. Анализ математических соотношений указывает на необходимость дополнения исходных параметров экспериментальными результатами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипин В.П. Энергозатраты машинно-тракторного агрегата. СПб.: Политехн. ун-т, 2012. 326 с.
2. Лосицкий К.Б., Цехмистренко А.Ф. Энергетические ресурсы леса // Повышение технического уровня и качества машин для лесозаготовок и лесного хозяйства. 1982. № 12. С. 64 – 67.
3. Мясцев Д.Г. Оценка модуля передаточной функции частоты вращения коленчатого вала двигателя лесохозяйственного мотоблока // Изв. СПбЛТА. 2005. С. 96–104.
4. Развитие сельской механизации: обзор моделей и прогресса со всего мира: интегрированное управление Vol.20-2013 Group. Завод по производству и защите пищевых продуктов деления и сельского хозяйства Организации Объединенных Наций. Рим, 2013.
5. Шупляков С.М. Колебания и нагруженность трансмиссии автомобиля. М.: Транспорт, 1974. 328 с.
6. Code K. *The Soft Science of Road Racing Motorcycles: the Technical Procedures and Workbook for Road Racing Motorcycles*. US, 1986. 166 p.
7. Code K. *A Twist of the Wrist. Volume I. The Motorcycle Roadracers Handbook*. US, 1983. 128 p.

Поступила 22.03.16

UDC 634.0.332.1.002.5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.129

Fuel Optimization of a Rotary Chopper for Plant Residues[□]

D.G. Myasishchev, Doctor of Engineering Sciences, Professor

S.A. Putintsev, Postgraduate Student

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

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

e-mail: Cepera29ru@yandex.ru

Zero tillage technology, including mechanical chopping of plant residues, is used in order to create the most favorable conditions for the people's rest in the park zones, and to improve fertility of the fields. The article describes the need of a new class of equipment for zero tillage – a chopper on the basis of moto chassis, and justifies the relevance of the proposed arrangement for the intended conditions of use. Other versions of these choppers in the form of attachment to the tractor are also considered; some disadvantages of this type of equipment associated with the complexity and high cost of its transportation to the place of work are established. An important technical difference from the modern equipment, having a tool driven by the PTO, in our case, is that the actuator is driven by a self-contained engine of the chainsaw "Ural MP-5 Electron". This allows us to calculate separately the chassis fuel economy when driving and the tool engine while chopping. The paper presents a mathematical model of fuel efficiency of the self-propelled cutter of the plant ground cover in the aesthetic forestries and fruit farmings. A two-wheeled version of a wheel formula 2x1 is considered as the base chassis. A rotary actuator of a chopper having 16 L-shaped knives, self-driven by an internal combustion engine (designed drum operating width is 0.5 m; operating speed is 1900 min⁻¹) is investigated in the model. The provisions of the method of statistical dynamics of linear stochastic systems and discrete optimization are used in the process of mathematical modeling. We made the conclusions about the optimization problem solution to minimize the proportion of technological fuel consumption during chopping of ground biomass – leaves, grass stems, small roots and twigs.

Keywords: chopping, leaf, fuel consumption, moto chassis, rotor, tool, optimization.

REFERENCES

1. Antipin V.P. *Energozatraty mashinno-traktornogo agregata* [Power Consumption of the Machine-Tractor Unit]. Saint Petersburg, 2012. 326 p.
2. Lositskiy K.B., Tsekhmistrenko A.F. Energeticheskie resursy lesa [Forest Energy Resources]. *Povyshenie tekhnicheskogo urovnya i kachestva mashin dlya lesozagotovok i lesnogo khozyaystva* [Technical Level and Machinery Quality Improvement for Logging and Forestry], 1982, no. 12, pp. 64–67.

For citation: Myasishchev D.G., Putintsev S.A. Fuel Optimization of a Rotary Chopper for Plant Residues. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1, pp. 129–140. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.129

3. Myasishchev D.G. Otsenka modulya peredatochnoy funktsii chastoty vrashcheniya kolenchatogo vala dvigatelya lesokhozyaystvennogo motobloka [Evaluation of the Transfer Function Module of the Engine Crankshaft Rotational Speed of the Forest Motoblock]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)*, 2005, pp. 96–104.

4. *Razvitie sel'skoy mekhanizatsii: obzor modeley i progressa so vsego mira: integrirovannoe upravlenie Vol. 20-2013 Group. Zavod po proizvodstvu i zashchite pishchevykh produktov deleniya i sel'skogo khozyaystva Organizatsii Ob"edinennykh Natsiy* [Development of Agricultural Engineering: an Overview of Models and Progress of All Over the World: the Integrated Management of Vol.20-2013 Group. Food Fission Fragments and Agriculture Manufacturing and Protective Plant of the United Nations Organization]. Rome, 2013.

5. Shuplyakov S.M. *Kolebaniya i nagruzhennost' transmissii avtomobilya* [Vibrations and Vehicle Transmission Loading]. Moscow, 1974. 328 p.

6. Code K. *The Soft Science of Road Racing Motorcycles: the Technical Procedures and Workbook for Road Racing Motorcycles*. US, 1986. 166 p.

7. Code K. *A Twist of the Wrist. Volume I. The Motorcycle Roadracers Handbook*. US, 1983. 128 p.

Received on March 22, 2016

УДК 634.378

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.141

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАВАЮЩЕГО ТРАНСПОРТНОГО ПАКЕТА КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ

С.В. Посыпанов, канд. техн. наук, доц.

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

Применение предложенных нами пакетных двухярусных сплоченных единиц создает предпосылки для эффективного экологичного лесотранспорта по средним и малым рекам, обеспечивает возможность использования преимуществ водного транспорта даже небольшими лесозаготовительными предприятиями. Геометрические и прочностные параметры этих единиц зависят от геометрических характеристик составляющих их пакетов, в том числе и при нахождении их на плаву. Известные методики определения указанных характеристик плавающих пакетов в существующем виде не позволяют получать результаты с точностью, приемлемой для научных исследований, и не могут быть применены к двухярусным сплоченным единицам. С использованием эластиковой теории из параметрических уравнений гибких оболочек, заполненных сыпучей средой, получили замкнутую, ориентированную на численное решение, систему уравнений для точного определения геометрических параметров плавающего пакета. Его обвязку рассматривали как комбинацию двух кривых: подводной и надводной. Каждая из них – фрагмент бесперегибной эластики второго рода. Предполагалось, что конфигурация комбинированной оболочки формируется под давлением двух несмешивающихся видов сыпучей среды разной плотности. Граница между средами проходит по поверхности воды. В связи с невозможностью аналитического и недостаточной точностью и неудобством в применении графического решений применили численный метод. Разработали алгоритм точного определения геометрических параметров плавающего пакета численным методом, ориентированный на использование при последующей доработке применительно к двухярусным пакетным сплоченным единицам. Реализовали его на персональном компьютере. Выполнили расчеты по разработанному алгоритму для диапазонов факторов, встречающихся на практике. Для уменьшения объема вычислений задачу привели к безразмерному виду. Используя результаты вычислений, подобрали аппроксимирующие зависимости, которые, кроме предложенного численного метода, при несколько меньших требованиях к точности можно применять для определения рассматриваемых характеристик в научных исследованиях и практических расчетах. Выполнили экспериментальную проверку на физических моделях, в результате которой убедились в достоверности полученных результатов.

Для цитирования: Посыпанов С.В. Определение геометрических параметров плавающего транспортного пакета круглых лесоматериалов численным методом // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 141–153. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.141

Ключевые слова: лесосплав, лесоматериалы, пакет, сплоточная единица, эластика, геометрические параметры, численный метод.

Введение

Сравнительно недавно появился новый вид сплоточных единиц – пакетные двухярусные пучки (рис. 1). Их применение создает предпосылки для эффективного экологически щадящего лесотранспорта по средним и малым рекам, а также предоставляет возможность воспользоваться преимуществами водного транспорта даже небольшим лесозаготовителям [6, 8]. Хотя указанные сплоточные единицы уже начали внедряться в производство [8], их характеристики еще исследуются. В данной статье рассмотрены геометрические параметры, которые важны сами по себе, при этом еще определяются прочностные характеристики сплоточных единиц. Упомянутая сплоточная единица состоит из четырех пакетов, уложенных в два яруса. Очевидно, что ее параметры зависят от характеристик составляющих ее пакетов. Предпочтительно, чтобы при определении параметров пакетов и сплоточных единиц использовались аналогичными методами. Информация должна быть достаточно точной, так как ее применение предполагается в научных исследованиях. С учетом изложенного отметим, что основная часть работ, посвященных исследованию пакетов или пучков круглых лесоматериалов, представляет для нас лишь косвенный интерес, поскольку в них изначально форму поперечного сечения пакета принимали аналогичной одной из простейших геометрических фигур, чаще эллипсу или овалу. При произвольном выборе формы указанного сечения нельзя ожидать высокой точности определения его геометрических параметров и, что не менее важно, нельзя получить корректные теоретические решения по установлению прочностных характеристик пакета. Кроме того, имеется в виду, что во время укладки в сплоточную единицу пакет деформируется, и его поперечное сечение еще более отличается от упомянутых фигур.

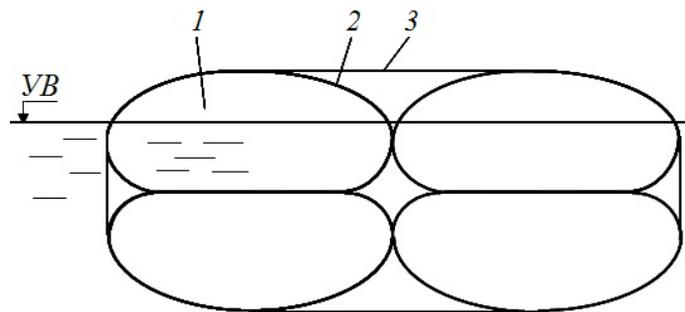


Рис. 1. Схема пакетного двухярусного пучка круглых лесоматериалов: 1 – пакет; 2 – обвязка пакета; 3 – внешняя обвязка пучка (УВ – уровень воды)

Получение более точных геометрических параметров пакетов предполагается при определении реальной формы их поперечного сечения в результате решения дифференциального уравнения равновесия их обвязок. Основанную на этом теорию называют эластиковой [2]. До настоящего времени ее использование можно считать удачным только применительно к пакету, уложенному на горизонтальное основание. В результате выполнения ряда работ (с их постепенным совершенствованием для указанного случая) удалось получить аналитическое решение и удобные в практическом применении аппроксимирующие зависимости для достаточно точного определения геометрических характеристик пакетов [7]. Определенный вклад в это внесен и нами [5].

Исследования по определению геометрических характеристик плавающих пакетов с использованием эластиковой теории [1, 3] немногочисленны и менее успешны. Вероятно, это объясняется сложностью задачи. Авторы указанных работ, отметив проблематичность аналитического решения, прибегли к графическим методам. При этом было предложено в каждом конкретном случае строить целый ряд графиков [3] или использовать готовый комплект довольно сложных в применении номограмм [1], корректность которых вызвала у нас определенные сомнения, подтвердившиеся в процессе дальнейших исследований. Упомянутые графические методы не только неудобны в применении, но и не обеспечивают необходимой точности.

Изложенные факты и обусловили потребность в данной работе.

Цель исследования – разработка алгоритма численного решения системы аналитических выражений, обеспечивающего точное определение геометрических параметров плавающего пакета круглых лесоматериалов, и получение аппроксимирующих зависимостей для менее трудоемкого расчета указанных характеристик.

Объекты и методы исследований

Нами был принят теоретический метод исследования с последующей экспериментальной проверкой результатов.

В связи с необходимостью получения точных результатов и обеспечения возможности корректного теоретического решения вопросов прочности была использована эластиковая теория. Выяснив, что предложенная система уравнений является замкнутой, но не решаемой аналитически, сочли наиболее целесообразным применить численный метод, обеспечивающий высокую точность результатов.

Плавающий пакет круглых лесоматериалов (рис. 2) рассматривали как гибкую невесомую оболочку, заполненную двумя несмешивающимися видами «пакетной среды». Граница между ними проходит по поверхности воды. Плотность среды в надводной части

$$\rho_n = \rho_l \eta, \quad (1)$$

в подводной

$$\rho_{\Pi} = (\rho - \rho_{\text{л}}) \eta, \quad (2)$$

где $\rho_{\text{л}}$ – плотность лесоматериалов;

ρ – плотность воды;

η – коэффициент полнодревесности пакета.

Надводная часть пакета находится под действием силы тяжести, на подводную часть, кроме силы тяжести, действует еще и сила Архимеда. Результирующая сила подводной части направлена вертикально вверх, т. е. навстречу силе надводной части. Указанные силы вызывают вертикальное сжатие пакета, что приводит к возникновению горизонтальных сил распора, уравновешиваемых реакциями оболочки.

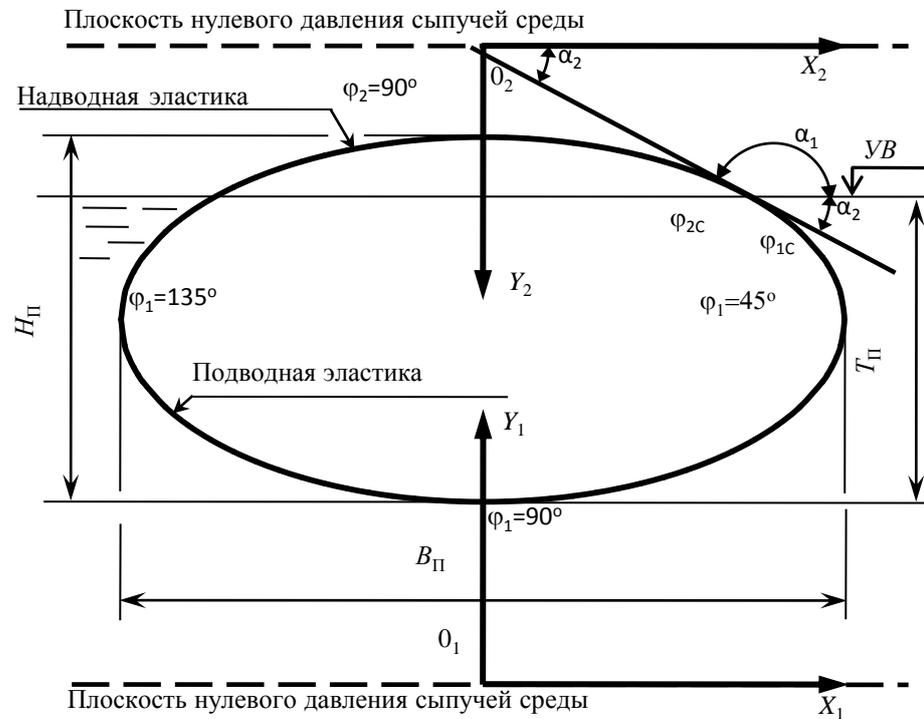


Рис. 2. Расчетная схема плавающего пакета

Обвязку пакета рассматривали как комбинацию двух кривых: подводной и надводной. Каждая из них является фрагментом бесперегибной элаستيку второго рода. Впервые такие кривые были описаны еще Л. Эйлером. Подводную эластику рассматривали в системе координат $X_1O_1Y_1$, надводную – в $X_2O_2Y_2$. Точки отсчета систем координат O_1 и O_2 расположены соответственно в подводной и надводной плоскостях нулевого давления «пакетных сред».

При подобных исследованиях пакетов круглых лесоматериалов, размещенных на горизонтальном основании, установлено, что силы внутреннего трения сыпучей среды, существенно сказываясь на силовых характеристиках, практически не влияют на геометрические параметры в диапазоне углов внутреннего трения, характерных для круглых лесоматериалов [7]. При этом формы гибких оболочек, заполненных сыпучей средой [10] и жидкостью такой же плотности, при прочих равных условиях практически не отличаются, что несколько упрощает задачу. В таких случаях можно использовать параметрические уравнения бесперегибных эластик второго рода в указанных системах координат, полученные еще в XIX в. Беером и Рэнкиным [11]:

$$x_i = \frac{1}{4} H_i f_i; \quad (3)$$

$$y_i = H_i \Delta_i, \quad (4)$$

где

x_i и y_i – абсцисса и ордината данной точки i -й элаستيки;

i – номер элаستيки, для подводной – $i = 1$, для надводной – $i = 2$;

H_i – характерная высота;

$$f_i = f(\Theta_i, \varphi_i) = 2 \left[(2 - \sin^2 \Theta_i) (K(\Theta_i) - F(\Theta_i, \varphi_i)) - 2(E(\Theta_i) - E(\Theta_i, \varphi_i)) \right]; \quad (5)$$

Θ_i – модулярный угол;

φ_i – параметр элаستيки [2];

$K(\Theta_i)$ и $F(\Theta_i, \varphi_i)$; $E(\Theta_i)$ и $E(\Theta_i, \varphi_i)$ – полный и неполный эллиптические интегралы соответственно первого и второго рода [4, 9, 12]:

$$\Delta_i = \Delta(\Theta_i, \varphi_i) = \sqrt{1 - \sin^2 \Theta_i \sin^2 \varphi_i}; \quad (6)$$

Модулярный угол определяет форму элаستيки. Характерная высота H_i задает размер полной элаستيки. Она равна расстоянию по вертикали от основания полной элаستيки до ее плоскости нулевого давления. Указанные величины постоянны для данной кривой. Параметр φ_i меняется вдоль кривой полной элаستيки от 0° до 180° . На рис. 2 указаны только некоторые характерные значения углов φ_i , поскольку на нем изображены лишь фрагменты эластик. Основанием элаستيки в данном случае является горизонтальная прямая, проходящая через точки кривой, соответствующие углам φ_i : 0° и 180° .

Используя приведенные параметрические уравнения, получаем ряд математических выражений для геометрических характеристик поперечного сечения плавающего пакета. Приводим лишь те из них (в совокупности с сопутствующими формулами), которые потребовались нам в описываемых расчетах. На рис. 2 видно, что ширина пакета равна удвоенной абсциссе точки нижней элаستيки, соответствующей углу $\varphi_1 = 45^\circ$. С учетом (3) и (5) запишем:

$$B_{\Pi} = H_1 \left[(2 - \sin^2 \Theta_1) (K(\Theta_1) - F(\Theta_1, 45^\circ)) - 2(E(\Theta_1) - E(\Theta_1, 45^\circ)) \right]; \quad (7)$$

Осадка пакета T_{Π} равна разности ординат точек нижней эластике с параметрами 90° и φ_{1C} . Точка, соответствующая углу φ_{1C} , находится на поверхности воды. В ней происходит сопряжение нижней и верхней эластик. Таким образом, в соответствии с формулами (4) и (6):

$$T_{\Pi} = H_1 \left(\sqrt{1 - \sin^2 \Theta_1} \sin^2 \varphi_{1C} - \sqrt{1 - \sin^2 \Theta_1} \right). \quad (8)$$

На основании аналогичных рассуждений для верхней эластике получим формулу для нахождения высоты надводной части пакета:

$$H_{\Pi} = H_2 \left(\sqrt{1 - \sin^2 \Theta_2} \sin^2 \varphi_{2C} - \sqrt{1 - \sin^2 \Theta_2} \right), \quad (9)$$

где φ_{2C} – параметр верхней эластике в точке сопряжения кривых.

Определим:

высоту пакета

$$H_{\Pi} = T_{\Pi} + H_{\Pi}; \quad (10)$$

коэффициент формы пакета

$$C = \frac{B_{\Pi}}{H_{\Pi}}; \quad (11)$$

коэффициент непропорциональности между высотой и осадкой пакета

$$\zeta = \frac{T_{\Pi}}{H_{\Pi} \rho_0}, \quad (12)$$

где ρ_0 – относительная плотность лесоматериалов,

$$\rho_0 = \frac{\rho_{\text{л}}}{\rho}. \quad (13)$$

Использование параметрических уравнений (3), (4) и известных в математике приемов [12] позволило получить формулы для вычисления площади сегмента эластике (14) и соответствующей ему длины дуги (15). Ниже приведены эти формулы для сегментов, ограниченных соответствующей эластикой и поверхностью воды:

$$\omega_i = 0,5 H_i^2 \left(f(\Theta_i, \varphi_{iC}) \Delta(\Theta_i, \varphi_{iC}) - \sin^2 \Theta_i \sin^2 \varphi_{iC} \right); \quad (14)$$

$$L_i = H_i \left(K(\Theta_i) - F(\Theta_i, \varphi_{iC}) \right) \sin^2 \Theta_i. \quad (15)$$

Очевидно, что площадь поперечного сечения пакета

$$\omega = \omega_1 + \omega_2. \quad (16)$$

Периметр этого сечения (или рабочая длина обвязки)

$$L_{\text{р.об}} = L_1 + L_2. \quad (17)$$

В точках сопряжения касательные к нижней эластике должны быть таковыми, как и к верхней (рис. 2). Определение dy_i/dx_i из свойств касательных и формул (3) и (4) позволило установить зависимость между параметрами φ_{1C} и φ_{2C} :

$$\varphi_{2C} = 90^\circ - \varphi_{1C}. \quad (18)$$

При реализации численного метода определение эллиптических интегралов с помощью таблиц связано с некоторыми неудобствами. Кроме того, при промежуточных значениях модулярного угла и параметра эластичности линейная интерполяция в данном случае приводит к существенным погрешностям. В связи с этим указанные интегралы вычисляли с помощью различных рядов [4, 9]. Например, для определения значений неполных эллиптических интегралов первого рода использовали следующий ряд:

$$F(\varphi, k) = A_0 + \frac{1}{2} A_1 k^2 + \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} A_2 k^4 + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6} A_3 k^6 \dots, \quad (19)$$

где k – модуль эллиптического интеграла,

$$k = \sin \Theta; \quad (20)$$

$$A_0 = \varphi; \quad (21)$$

A_n – коэффициент, определяемый по рекуррентной формуле

$$A_n = \frac{2n-1}{2n} A_{n-1} - \frac{1}{2n} \cos \varphi \sin^{2n-1} \varphi; \quad (22)$$

$n = 0, 1, 2, \dots$

Для уменьшения объема вычислений задачу привели к безразмерному виду. Расчеты выполняли для единичной площади поперечного сечения пакета. Безразмерные линейные характеристики пакета связаны с соответствующими размерными параметрами выражением

$$z = \frac{Z}{\sqrt{\omega}}, \quad (23)$$

где z и Z – соответственно безразмерная (или относительная) и размерная линейные характеристики.

В результате анализа установили, что теоретически форма поперечного сечения плавающего пакета круглых лесоматериалов в отличие от лежащего на горизонтальном основании определяется не только его коэффициентом формы или соотношением площади указанного сечения и рабочей длины обвязок, но и относительной плотностью лесоматериалов. Однако в рассматриваемых расчетах коэффициент формы, как и означенное соотношение, являются выходными величинами. При выполнении этих расчетов форма поперечного сечения пакета определяется модулярными углами эластик Θ_1 , Θ_2 и параметром одной из них, например φ_{1C} , в точке сопряжения. Соотношение между Θ_1 и соответствующим сочетанием Θ_2 и φ_{1C} зависит от ρ_0 . Размер сечения может быть задан его площадью или одной из линейных характеристик.

Для реализации численного метода решения данной задачи был разработан следующий алгоритм. В начале задавали относительную плотность лесоматериалов ρ_0 , которую варьировали в диапазоне 0,65...0,90 с интервалом 0,05. Согласно закону Архимеда при единичной площади ω площадь подводной части сечения $\omega_1 = \rho_0$, соответствующая ей надводная площадь

$$\omega_2 = 1 - \omega_1. \quad (24)$$

Далее задавали модулярный угол Θ_1 для подводной элаستي, начиная с 55° . Максимальное значение этого угла $88,7^\circ$. При принятом угле Θ_1 задавали различные сочетания φ_{1C} и Θ_2 . Параметр φ_{1C} варьировал в диапазоне $18...38^\circ$, угол $\Theta_2 - 65...90^\circ$. Шаг изменения этих величин может меняться в зависимости от требуемой точности вычислений. Соответствующее данному φ_{1C} значение φ_{2C} определяли по формуле (18). По ω_i , Θ_i и φ_{iC} вычисляли характерные высоты для подводной и надводной эластик с помощью выражения, полученного из (14):

$$H_i = \sqrt{\frac{2\omega_i}{f(\Theta_i, \varphi_{iC})\Delta(\Theta_i, \varphi_{iC}) - \sin^2 \Theta_i \sin^2 \varphi_{iC}}}. \quad (25)$$

Абсциссы обеих эластик в точках сопряжения должны быть одинаковыми, т. е. в соответствии с (3) должно выполняться равенство

$$H_1 f(\Theta_1, \varphi_{1C}) = H_2 f(\Theta_2, \varphi_{2C}). \quad (26)$$

Кроме того, принимали к сведению, что вертикальное давление в точках надводной части пакета может быть определено по формуле

$$P_H = \rho_H g y_H, \quad (27)$$

в подводной –

$$P_{II} = \rho_{II} g y_{II}. \quad (28)$$

где g – ускорение свободного падения;

y_H и y_{II} – ординаты точек соответственно в системах координат $X_2O_2Y_2$ и $X_1O_1Y_1$.

Давления сыпучей среды сверху и снизу в любой ее точке (в том числе на уровне поверхности воды) равны между собой, т. е. в соответствии с (1), (2), (4), (6), (27), (28) должно выполняться равенство

$$H_1(\rho - \rho_{л})\sqrt{1 - \sin^2 \Theta_1 \sin^2 \varphi_{1C}} = H_2 \rho_{л} \sqrt{1 - \sin^2 \Theta_2 \sin^2 \varphi_{2C}}. \quad (29)$$

При расчетах выбор останавливали на том сочетании φ_{1C} и Θ_2 , при котором условия (26) и (29) выполнялись с наибольшей точностью.

Для заданных ρ_0 и Θ_1 , подобранных φ_{1C} , Θ_2 и соответствующих им φ_{2C} , H_1 , H_2 вычисляли с использованием формул (4), (6), (7)–(12), (15), (17) представленные в их левой части геометрические характеристики. Далее увеличивали Θ_1 и все расчеты повторяли, действуя так до тех пор, пока коэффициент формы пакета C не становился больше максимально допустимого значения, равного 3. Затем задавали следующее значение относительной плотности лесоматериалов ρ_0 и действовали аналогично. Расчеты прекращали после прохождения всего диапазона ρ_0 .

Результаты и их обсуждение

Вычисления по предложенному методу рекомендуются при необходимости иметь точные результаты. Кроме того, нами получен ряд сочетаний ρ_0 и C , определяющих форму плавающего пакета, и соответствующие им значения

его ширины b_{Π} , осадки t_{Π} , высоты h_{Π} , рабочей длины обвязки $l_{p,об}$ при единичной площади поперечного сечения пакета, а также значения коэффициента непропорциональности между его высотой и осадкой ζ , отношения превышения поверхности воды над нижней плоскостью нулевого давления сыпучей среды к указанной осадке h_r . Для рабочей длины обвязки и площади поперечного сечения пакета выполнен перерасчет с единичной площади на единичную высоту, в результате чего получены соответствующие значения длин $l_{p,об h}$ и площадей ω_h при высоте пакета, равной 1. На основании этих данных подобраны соответствующие аппроксимирующие выражения.

Аппроксимация двухфакторных зависимостей от ρ_0 и C не позволяет получать результаты с высокой точностью. Поэтому для научных целей подобраны аппроксимирующие зависимости от C при различных значениях ρ_0 . Достоверность аппроксимации R^2 у полученных выражений не менее 0,999. Анализ показал, что влияние ρ_0 на вычисляемые величины очень незначительно. Установлено, что уменьшение ρ_0 от 0,80 до 0,65 или увеличение до 0,90 (при прочих равных условиях) в диапазоне $C = 1,25 \dots 3,00$ приводит к изменению h_r не более, чем на 4,2 %, ζ – на 1,6 %, ω_h – на 1,2 %, $l_{p,об h}$ – на 0,8 %, $l_{p,об}$ – на 0,3 %, h_{Π} и соответственно b_{Π} – на 0,6 %. Для случаев, когда такие погрешности приемлемы для всего диапазона ρ_0 (0,65...0,90) нами рекомендованы несколько упрощенные формулы соответствующей точности, полученные при обычно используемом значении $\rho_0 = 0,8$.

Для озерных условий при $C = 1,25 \dots 1,50$:

$$h_r = -13,36C^3 + 74,56C^2 - 114,48C + 60,63; \quad (30)$$

для речных условий при $C = 1,60 \dots 3,00$:

$$h_r = -0,18C^3 + 1,45C^2 - 3,95C + 4,72; \quad (31)$$

на всем диапазоне $C = 1,25 \dots 3,00$:

$$H_{\Pi} = 1,137C^{-0,543} \sqrt{\omega}; \quad (32)$$

$$L_{p,об} = (0,030C^2 + 0,302C + 3,152) \sqrt{\omega}; \quad (33)$$

$$L_{p,об} = (1,91C + 1,15)H_{\Pi}; \quad (34)$$

$$\omega = (0,895C - 0,141)H_{\Pi}; \quad (35)$$

$$\zeta = -0,013C^2 + 0,082C + 0,864. \quad (36)$$

Заметим, что ω связана с объемом лесоматериалов в пакете V_{Π} следующим выражением:

$$\omega = \frac{V_{\Pi}}{L\eta}, \quad (37)$$

где L – длина пакета.

Сравнение результатов расчетов, полученных численным методом с помощью эластиковой теории и с помощью наиболее часто используемых формул, предполагающих аналогию поперечного сечения плавающего пакета с эллипсом, показало, что различия между ними возрастают с увеличением коэффициента формы C . По некоторым характеристикам при больших C указанные различия существенны даже для практических расчетов. При упомянутой аналогии с эллипсом в диапазоне $C = 2,5 \dots 3,0$ рабочая длина обвязки, например, занижается на 7...9 %, площадь поперечного сечения пакета, а значит, и его объем – на 6...8 %, коэффициент непропорциональности ζ , а следовательно, и осадка – примерно на 5 %, что тоже может быть значимым в условиях малых и средних рек. Достоверность полученных нами результатов подтверждена экспериментально на модельных сплотовых единицах, выполненных в масштабе 1:20. Критериями подобия при моделировании являлись факторы C и ρ_0 .

Более существенно то, что предлагаемые разработки позволяют определить положение плоскостей нулевого давления сыпучей среды, без чего попытки теоретического определения прочностных характеристик рассматриваемого пакета являются несостоятельными. Наиболее точно это можно сделать описанным численным методом, с несколько меньшей точностью – с помощью формул (12), (13), (27), (28), а также (30), (31), (32), (36) или их более точных аналогов, полученных для различных ρ_0 .

Не менее важно, что разработанный и апробированный алгоритм точного определения геометрических параметров плавающего пакета численным методом может быть использован (при некоторой доработке) применительно к двухрусным сплотовым единицам для решения подобных задач, в которых упомянутая аналогия с эллипсом неприемлема, как было отмечено, хотя бы из-за деформации пакетов в такой сплотовой единице.

Заключение

На основе приведенной системы аналитических выражений разработан алгоритм численного метода определения геометрических характеристик плавающего пакета круглых лесоматериалов, обеспечивающий высокую точность вычислений. На основании результатов выполненных расчетов получены аппроксимирующие зависимости, позволяющие при менее высоких требованиях к точности определять указанные характеристики наиболее простым способом. Достоверность результатов теоретических разработок подтверждена экспериментально.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вальков Ю.И. Определение длины обвязки пучка // Лесн. журн. 1966. № 2. С. 21–25. (Изв. высш. учеб. заведений).

2. Воробьев А.Г. О расчете по эластической теории пучков пучковых плотов для случая нахождения их на суше // Лесн. журн. 1958. № 4. С. 93–98. (Изв. высш. учеб. заведений).

3. Воробьев А.Г. О расчете по эластической теории сигар и пучков пучковых плотов для случая нахождения их наплаву // Лесн. журн. 1958. № 6. С. 93–105. (Изв. высш. учеб. заведений).

4. Журавский А.М. Справочник по эллиптическим функциям. М.; Л: АН СССР, 1941. 235 с.

5. Посыпанов С.В. Комбинированный метод расчета пакета круглых лесоматериалов, уложенного на горизонтальном основании // Лесн. журн. 2011. № 1. С. 47–52. (Изв. высш. учеб. заведений).

6. Посыпанов С.В. Экологические и экономические аспекты транспорта древесины из удаленных лесных массивов // Эколого- и ресурсосберегающие технологии и системы в лесном и сельском хозяйстве: сб. науч. тр. по материалам междунар. заоч. науч.-практ. конф. Вып. № 3, ч. 4 (8–4). Воронеж: ВГЛТА, 2014. С. 135–139.

7. Реутов Ю.М. Расчеты пучков (пакетов) круглых лесоматериалов. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 152 с.

8. Харитонов В.Я., Посыпанов С.В. Опыт внедрения единого транспортного пакета вместо молевого лесосплава // Лесн. журн. 2007. № 1. С. 45–52. (Изв. высш. учеб. заведений).

9. Byrd P.F., Friedman M.D. *Handbook of Elliptic Integrals for Engineers and Scientists*. New York; Heidelberg; Berlin, 1971, vol. 67. 360 p.

10. Craig R.F. *Soil Mechanics*. London; New York, 1997. 485 p.

11. Rankine W.J.M. *A Manual of Applied Mechanics*. London, 1858. 680 p.

12. Whittaker E.T., Watson G.N. *A Course of Modern Analysis*. UK, Cambridge, 2009. 620 p.

Поступила 16.11.16

UDC 634.378

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.141

Numerical Determination of the Geometric Parameters of a Transport Floating Roundwood Bundle

S.V. Posypanov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

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

Severnaya Dvina, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: s.posypanov@narfu.ru

The use of proposed packaged bilevel rafting units creates prerequisites for efficient, environmentally friendly transportation of forest products along the minor and small rivers, for

For citation: Posypanov S.V. Numerical Determination of the Geometric Parameters of Transport Floating Roundwood Bundle. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1, pp. 141–153. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.141

the use of water transport advantages even by the small logging companies. Geometric and strength parameters of these units depend on the geometric characteristics of their bundles, including the bundles being afloat. The known methods for determining these characteristics of rafting units in their current form do not provide the results with accuracy, acceptable to the scientific research, and cannot be applied to the bilevel rafting units. The closed equation system, focused on the numerical solution, for the accurate determination of the geometric parameters of a floating bundle is obtained with the use of the elastic theory from the parametric equations of flexible shells filled with a granular medium. Its binding is considered as a combination of underwater and surface curves. Each of them is a fragment of non-inflexive second order elasticity. The configuration of the combined shell is considered to be formed under the pressure of two immiscible types of a granular medium of different density. The boundary between the media passes over the water surface. Due to the unsatisfactory results of the analytical and graphical methods, the numerical method is applied. The algorithm for the exact geometric parameters determination of a float unit by the numerical method adjusted for bilevel rafting units is developed. It is implemented on PC. The calculations by the developed algorithm for the factor ranges, encountered in practice, are carried out within the practical data span in the dimensionless form. Using the results of calculations, we develop the approximating dependences, which in addition to the proposed numerical method, with the lower accuracy requirements can be used to determine the considered characteristics for theoretical investigations and practical activities. The reliability of the results is proved via the physical models experiments.

Keywords: timber rafting, timber, bundle, float unit, elastic, geometric parameter, numerical method.

REFERENCES

1. Val'kov Yu.I. Opredelenie dliny obvyazki puchka [Bundle Strapping Length Determination]. *Lesnoy zhurnal*, 1966, no. 2, pp. 21–25.
2. Vorob'ev A.G. O raschete po elastikovoy teorii puchkov puchkovykh plotov dlya sluchaya nakhozheniya ikh na sushe [Application of the Elastic Theory in the Bundle Rafts Bundles Calculation in Case of Finding Them on Land]. *Lesnoy zhurnal*, 1958, no. 4, pp. 93–98.
3. Vorob'ev A.G. O raschete po elastikovoy teorii sigar i puchkov puchkovykh plotov dlya sluchaya nakhozheniya ikh naplavu [Application of the Elastic Theory in the Floating Cigars and Bundle Rafts Bundles Calculation]. *Lesnoy zhurnal*, 1958, no. 6, pp. 93–105.
4. Zhuravskiy A.M. *Spravochnik po ellipticheskim funktsiyam* [Elliptical Functions Reference]. Moscow; Leningrad, 1941. 235 p.
5. Posypanov S.V. Kombinirovanny metod rascheta paketa kruglykh lesomaterialov, ulozhennogo na gorizonta'nom osnovanii [Combined Calculating Method of Round Timber Pile Stacked on Horizontal Foundation]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 1, pp. 47–52.
6. Posypanov S.V. Ekologicheskie i ekonomicheskie aspekty transporta drevesiny iz udalennykh lesnykh massivov [Ecological and Economic Aspects of Forest Products Transportation from the Remote Woodlands]. *Ekologo- i resursoberegayushchie tekhnologii i sistemy v lesnom i sel'skom khozyaystve: sb. nauch. tr. po materialam mezhdunar. zaoch. nauch.-prakt. konf.* [Ecological and Resource-Saving Technologies and Systems in Forestry

and Agriculture: Proc. Intern. Sci. Prac. Conf. with Virtual Participation. Iss. 3, part 4 (8–4)]. Voronezh, 2014, pp. 135–139.

7. Reutov Yu.M. *Raschety puchkov (paketov) kruglykh lesomaterialov* [Roundwood Bundles Calculations]. Moscow, 1975. 152 p.

8. Kharitonov V.Ya., Posypanov S.V. Opyt vnedreniya edinogo transportnogo paketa vmesto molevogo lesosplava [Experience of Introducing Transport Package instead of Drift Floating]. *Lesnoy zhurnal*, 2007, no. 1, pp. 45–52.

9. Byrd P.F., Friedman M.D. *Handbook of Elliptic Integrals for Engineers and Scientists*. New York; Heidelberg; Berlin, 1971, vol. 67. 360 p.

10. Craig R.F. *Soil Mechanics*. London; New York, 1997. 485 p.

11. Rankine W.J.M. *A Manual of Applied Mechanics*. London, 1858. 680 p.

12. Whittaker E.T., Watson G.N. *A Course of Modern Analysis*. UK, Cambridge, 2009. 620 p.

Received on November 16, 2016





МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.311

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.154

**НОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ,
ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЛЕСОПИЛЬНЫМИ РАМАМИ**

С.П. Агеев, д-р техн. наук, доц.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;
e-mail: doctor.mart11@mail.ru

Нормирование удельных расходов энергии на деревообрабатывающих предприятиях строится в соответствии с расчленением производства, с одной стороны, на отдельные операции и процессы по видам производимой продукции, с другой – на отдельные участки (агрегаты, цехи, предприятие в целом). В соответствии с этим различают операционные (по отдельным операциям) и суммарные (по отдельным производственным процессам) нормы удельного расхода электроэнергии. Целью настоящей статьи является разработка подхода к составлению энергетического баланса и установлению операционной нормы удельного расхода электроэнергии на выполнение операций рамного пиления древесины. Энергетические свойства электропривода лесопильных рам исследуют в направлении, при котором потери и полезное потребление энергии определяют через коэффициенты потерь и производительность агрегата. В результате исследований получены аналитические зависимости между потребляемой мощностью, удельным потреблением электроэнергии и производительностью механизма резания лесопильных рам, получившие название энергетических характеристик, а также составлен энергетический баланс лесопильной рамы. Предложенный метод позволяет выразить полезную нагрузку на агрегат через производительность – показатель, по которому практически оцениваются результаты работы агрегата, участка, цеха и т. д. Наличие энергетических характеристик позволяет более качественно подойти к вопросу планирования удельных расходов энергии по каждому типоразмеру сортиментов и производству в целом. Установлено, что энергетические характеристики потребляемой мощности лесопильных рам имеют нелинейный характер. Выявлены основные технологические факторы и параметры оборудования и сырья, влияющие на удельное электропотребление лесопильных рам.

Ключевые слова: лесопильная рама, производительность, энергетическая характеристика, потребляемая мощность, энергетический баланс, удельный расход электроэнергии, потери электроэнергии, операционная норма удельного расхода энергии.

Для цитирования: Агеев С.П. Нормирование электроэнергии, потребляемой лесопильными рамами // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 154–165. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.154

Введение

Вопросы рационального использования энергетических ресурсов приобретают в настоящее время все большее значение в различных отраслях промышленности. Лесопиление, являясь основополагающим в механической обработке древесины, представляет собой сложный энергоемкий процесс. Энергозатраты на производство пилопродукции иногда необоснованно завышены и могут существенно отличаться от нормативных, что во многом определяется несогласованностью энергетических свойств оборудования с технологическими операциями. Следует отметить, что большая (до 82... 86 %) часть пиломатериалов вырабатывается с применением лесопильных рам, существенно меньшая – с использованием фрезерно-пильных агрегатов, круглопильных, ленточнопильных станков.

Объекты и методы исследования

Нормирование удельных расходов электроэнергии на деревообрабатывающих предприятиях строится в соответствии с расчленением производства, с одной стороны, на отдельные операции и процессы по видам производимой продукции, с другой – на отдельные участки (агрегаты, цехи, предприятие в целом). В соответствии с этим различают операционные (по отдельным операциям) и суммарные (по отдельным производственным процессам) удельные нормы.

Основным методом разработки норм расхода электроэнергии на деревообрабатывающих предприятиях является расчетно-аналитический [3]. Этот метод предполагает выполнение технических расчетов составляющих энергобаланса операций исходя из паспортных технических характеристик оборудования, нормализованных технологических и энергетических параметров операций, различных физических и эмпирических коэффициентов, а также из укрупненных нормативов удельного полезного потребления, удельных потерь энергии и нормативов времени операционного цикла.

Энергетические свойства механизмов с электроприводом можно изучать по двум принципиально различным направлениям. В первом направлении потери энергии определяются через коэффициент полезного действия, который изменяется в функции нагрузки на валу приводного двигателя. Способы измерения этой нагрузки могут быть различными, но при этом всегда требуется соответствующее аппаратное сопровождение, так как непосредственно в производственных условиях нагрузку на валу обычно не измеряют.

Во втором направлении, предложенном чл.-корр. РАН В.И. Вейцем, потери и полезное потребление энергии определяются через некоторые коэффициенты потерь и производительность агрегата. В результате получают аналитические зависимости между потребляемой мощностью (или удельным потреблением электроэнергии) и производительностью исследуемого механизма, получившие название энергетических характеристик [1, 2]. В данной ра-

боте использован второй метод, так как он позволяет выразить полезную нагрузку на агрегат через производительность – показатель, по которому на практике оцениваются результаты работы агрегата, участка, цеха и т. д.

Решению указанных задач посвящен ряд работ [10–13 и др.], в которых использованы различные подходы.

Первичным звеном в производстве и электропотреблении деревообрабатывающего предприятия является отдельная технологическая операция, осуществляемая на определенном механизме – приемнике электроэнергии. Без изучения энергетических балансов отдельных механизмов в связи с физико-механическими основами соответствующих операций и процессов и техническими свойствами самих механизмов невозможно осуществлять нормирование и планирование электропотребления отдельных производств и предприятия в целом.

Энергетический баланс рабочей машины состоит из двух численно равных друг другу частей – приходной и расходной. Приходная часть баланса включает в себя электроэнергию, потребляемую электроприводом механизма. В расходной части баланса показывается полезная электроэнергия и потери энергии. Под полезной энергией понимают ту ее часть, которая затрачивается непосредственно на основной процесс; потери энергии связаны с ее рассеянием в окружающую среду (потери на нагрев обмоток электрических машин, магнитные потери в сердечниках электродвигателей, потери трения в движущихся и вращающихся частях машин, станков и т. д.).

Целью настоящей статьи явилось составление энергетического баланса и установление операционной нормы удельного расхода электроэнергии на выполнение операций распиловки древесины на лесопильных рамах (ЛР). Эффективность балансового метода состоит в том, что он позволяет учитывать все основные факторы, влияющие на норму расхода (типоразмеры сырья и продукции, параметры технологического процесса, состояние оборудования и др.), что обеспечивает установление прогрессивных, и в то же время реальных, норм расхода энергии [5].

Энергетический баланс процесса распиловки может быть выражен следующим уравнением:

$$w_{\text{потр}} = w_{\text{пол}} + \Delta w_{\text{пот}},$$

где $w_{\text{потр}}$ – потребляемая электроэнергия, кВт·ч;

$w_{\text{пол}}$ – полезно потребляемая электроэнергия, кВт·ч;

$\Delta w_{\text{пот}}$ – потери электроэнергии, кВт·ч.

Энергетические балансы всегда относят к определенным значениям производительности (нагрузки) и условиям работы машин. При изменении последних изменяются как абсолютные значения $w_{\text{потр}}$, $w_{\text{пол}}$, $\Delta w_{\text{пот}}$, так и соотношения между ними.

Экономичность технологических процессов с энергетической точки зрения чаще всего оценивают посредством анализа удельных расходов энер-

гии. Структуру операционной нормы удельного расхода энергии можно представить схемой, показанной на рис. 1.

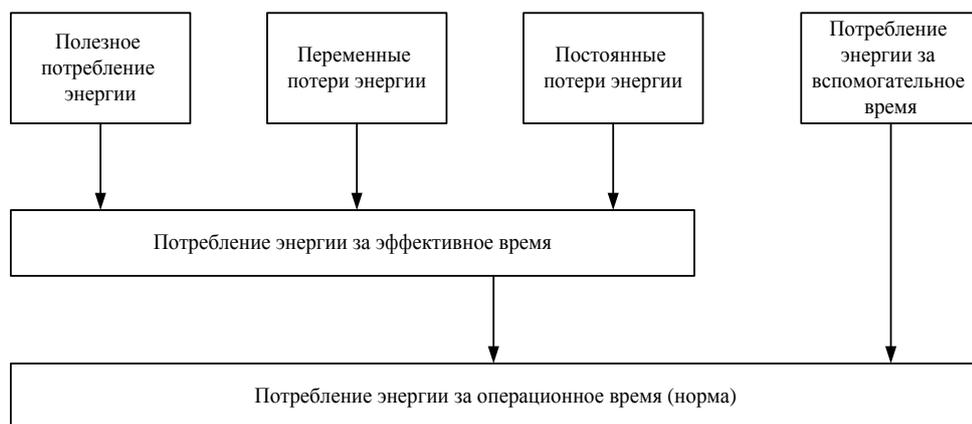


Рис. 1. Структурная схема операционной нормы удельного расхода электроэнергии

Согласно [4] расход электроэнергии за операционное время относят непосредственно на единицу пилопродукции. Расход определяется энергетическим балансом ЛР, отнесенным к операционному времени.

Составим энергетический баланс механизма резания лесопильных рам 2Р75-1/2, приводимого в движение асинхронным двигателем. Схема передачи мощности в механизме резания представлена на рис. 2. Лесопильные рамы установлены в потоке, на котором осуществляется распиловка бревен с брусковкой. На распиловку поступает хвойный пиловочник (ель) диаметром 22 см, средняя длина $L = 6$ м. Схемы раскря сортиментов: 16-25-150-25-16 (1-й проход), 16-16-44-44-44-16-16 (2-й проход).

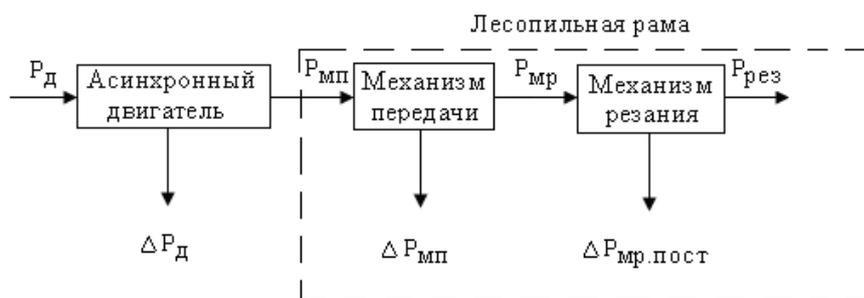


Рис. 2. Структурная схема передачи мощности в механизме резания лесопильной рамы

Технические данные механизма резания приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические данные механизма резания лесопильной рамы

Показатель	Значение показателя
Мощность приводного двигателя $P_{д.ном}$, кВт	110
КПД двигателя $\eta_{д.ном}$	0,91
КПД механизма передачи $\eta_{мп.ном}$	0,96
Частота вращения коленчатого вала n , об/мин	325
Инструкционная посылка Δ_p , мм/об	42
Число пил Z_p	6
Толщина пил s_p , мм	2,2
Ход пильной рамки H , мм	600
Шаг зубьев t_z , мм	26
Развод зубьев на строну Δs , мм	0,6
Коэффициент трения при подшипниках скольжения f	0,013
Вес возвратно-движущихся частей G_b , Н	5820
Радиус кривошипа r , м	0,3

Расчет технологических показателей процесса резания

1. Расчет часовой производительности A лесопильного потока выполняем согласно методике, изложенной в [6]. Эта производительность соответствует производительности лесопильной рамы 1-го ряда и учитывает как цикловые, так и суммарные внецикловые потери времени в течение рабочей смены. В результате $A = 26,61 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Дальнейший расчет технологических и энергетических показателей процесса резания выполняем по методикам, изложенным в [1, 2, 7].

2. Средняя подача на зуб

$$S_z = \frac{\Delta_p t_z}{H} = \frac{42 \cdot 26}{600} = 1,82 \text{ мм.}$$

3. Общий поправочный коэффициент

$$a_{\text{попр}} = a_{\text{пр}} a_{\text{р}} = 0,95 \cdot 1,3 = 1,235,$$

где $a_{\text{пр}}$ и $a_{\text{р}}$ – коэффициенты, учитывающие соответственно плотность древесины и затупление резцов.

4. Скорость подачи

$$u = \frac{\Delta_p n H}{60 \cdot 1000 \cdot 60} = \frac{42 \cdot 325 \cdot 600}{3\,600\,000} = 0,2275 \text{ м/с.}$$

5. Средняя толщина срезаемого слоя

$$a_{\text{ср}} = S_z = 1,82 \text{ мм.}$$

6. Ширина пропила

$$B_{\text{пр}} = s_p + 2\Delta s = 2,2 + 2 \cdot 0,6 = 3,4 \text{ мм.}$$

7. Средний диаметр бревна

$$D_{\text{ср}} = d_b + 0,5sL = 22 + 0,5 \cdot 1 \cdot 6 = 25 \text{ см,}$$

где d_v – вершинный диаметр бревна, см;
 s – средний сбеги бревен данного диаметра, см.

8. Средняя высота пропила

$$H_{cp} = 10D_{cp}a_1 = 10 \cdot 25 \cdot 0.8 = 200 \text{ мм.}$$

Здесь a_1 – коэффициент постова, принимаемый в зависимости от вида распиловки.

9. Продолжительность распиловки бревна

$$t_p = \frac{L}{u} = \frac{6}{0,2275} = 26,37 \text{ с.}$$

где L – средняя длина бревна, м.

Расчет энергетических показателей процесса резания

10. Значение удельной работы при нормированных условиях резания выбираем в зависимости от средней толщины срезаемого слоя и средней высоты пропила по таблице, приведенной в [7]:

$$K_T = 58000 \text{ кДж/м}^3.$$

11. Коэффициент энергоемкости механизма резания

$$c_{mp} = 2K_T B_{пр} Z_{п} \frac{a_{попр} a_1 \sqrt{u}}{60 \cdot 1000 \sqrt{\pi}} = 2 \cdot 58000 \cdot 3,4 \cdot 6 \frac{1,235 \cdot 0,8 \sqrt{0,2275}}{60 \cdot 1000 \sqrt{\pi}} = 10,486 \text{ кДж/(м}^{1,5} \cdot \text{ч}^{0,5}\text{)}.$$

12. Средняя мощность резания

$$P_{рез} = c_{mp} \sqrt{A} = 10,486 \cdot \sqrt{26,61} = 54,1 \text{ кВт.}$$

13. Мощность холостого хода

$$P_{xx} = f G_B n^2 r 10^{-5} = 0,013 \cdot 5820 \cdot 325^2 \cdot 0,3 \cdot 10^{-5} = 23,97 \text{ кВт.}$$

14. Мощность постоянных потерь энергии в механизме резания

$$\Delta P_{mr.пост} = 1,1 P_{xx} = 1,1 \cdot 23,97 = 26,37 \text{ кВт.}$$

15. Мощность, подводимая к механизму резания при фактической нагрузке,

$$P_{mp} = P_{рез} + \Delta P_{mr.пост} = 54,1 + 26,37 = 80,47 \text{ кВт.}$$

16. Мощность, подводимая к механизму резания при номинальной нагрузке приводного двигателя,

$$P_{mr.ном} = P_{ном.д} \eta_{мп.ном} = 110 \cdot 0,96 = 105,6 \text{ кВт.}$$

17. Мощность потерь энергии в механизме передачи содержит две составляющие: переменную, пропорциональную передаваемой мощности, и постоянную (мощность постоянных потерь). Будем считать, что изменение нагрузки не связано с изменением скорости или связано с таким ее изменением, что практически не нарушается пропорциональность между потребляемой мощностью и переменными потерями, при этом постоянные потери считаются неизменными. Потери мощности в передаточном механизме учитываются при помощи коэффициентов потерь, т. е. в долях от мощности, подводимой к

механизму резания. При этом различают коэффициент постоянных $a_{мп}$ и переменных $b_{мп}$ потерь. Принимая для простой кинематической схемы отношение потерь $\chi_{мп} = 1$, для клиноременной передачи имеем:

$$a_{мп} = b_{мп} = \frac{1 - \eta_{мп.ном}}{2\eta_{мп.ном}} = \frac{1 - 0,96}{2 \cdot 0,96} = 0,021.$$

18. Мощность постоянных потерь энергии в механизме передачи

$$\Delta P_{мп.пост} = a_{мп} P_{мп.ном} = 0,021 \cdot 105,6 = 2,22 \text{ кВт.}$$

19. Мощность переменных потерь энергии в механизме передачи

$$\Delta P_{мп.пер} = b_{мп} P_{мп} = 0,021 \cdot 80,47 = 1,69 \text{ кВт.}$$

20. Мощность, подводимая к механизму передачи при действительной нагрузке,

$$P_{мп} = P_{мп} + \Delta P_{мп.пост} + \Delta P_{мп.пер} = 80,47 + 2,22 + 1,69 = 84,38 \text{ кВт.}$$

21. Находим коэффициенты потерь энергии в двигателе. Для рассматриваемого двигателя отношение потерь $\chi_d = 0,35$ [5]. Тогда коэффициент переменных потерь энергии

$$b_d = \frac{1 - \eta_{д.ном}}{1,35\eta_{д.ном}} = \frac{1 - 0,91}{1,35 \cdot 0,91} = 0,0733;$$

коэффициент постоянных потерь энергии

$$a_d = \chi_d b_d = 0,35 \cdot 0,0733 = 0,0256.$$

22. Мощность постоянных потерь энергии в электродвигателе (механические потери в роторе и магнитные потери в сердечнике статора) выражаем в долях от номинальной мощности двигателя через коэффициент постоянных потерь a_d :

$$\Delta P_{д.пост} = a_d P_{д.ном} = 0,0256 \cdot 110 = 2,82 \text{ кВт.}$$

23. Учитывая, что мощность переменных потерь энергии в обмотках двигателя изменяется пропорционально второй степени нагрузки, получаем

$$\Delta P_{д.пер} = k_n^2 b_d P_{д.ном} = 0,767^2 \cdot 0,0733 \cdot 110 = 4,74 \text{ кВт,}$$

где k_n – коэффициент нагрузки двигателя,

$$k_n = P_{мп} / P_{д.ном} = 84,38 / 110 = 0,767.$$

24. Среднесменная мощность, потребляемая асинхронным двигателем из сети,

$$P_d = P_{мп} + \Delta P_{д.пер} + \Delta P_{д.пост} = 84,38 + 4,74 + 2,82 = 91,94 \text{ кВт.}$$

На основании полученных результатов составляем энергетический баланс ЛР № 1 за операционное время цикла распиловки одного бревна (табл. 2).

Таблица 2

Энергетический баланс лесопильной рамы

Статья расхода энергии	Мощность, кВт	Расход энергии	
		кВт·ч	%
<i>Первого ряда</i>			
На обработку	54,10	0,396	57,74
Постоянные потери	31,41	0,230	33,52
Переменные потери	6,43	0,047	6,85
Вспомогательное время	23,97	0,013	1,89
<i>Итого</i>		0,686	100
<i>Второго ряда</i>			
На обработку	84,90	0,568	65,59
Постоянные потери	31,39	0,210	24,26
Переменные потери	11,25	0,075	8,69
Вспомогательное время	23,97	0,013	1,46
<i>Итого</i>		0,866	100

Покажем порядок заполнения табл. 2.

Расход электроэнергии на распиловку бревен (полезно потребляемая электроэнергия) в течение рабочего цикла

$$w_p = P_{\text{рез}} t_p = \frac{54,1 \cdot 26,37}{3600} = 0,396 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Постоянные потери энергии за время распиловки бревен (эффективное время цикла)

$$\begin{aligned} \Delta w_{\text{пост}} &= (\Delta P_{\text{мр.пост}} + \Delta P_{\text{мп.пост}} + \Delta P_{\text{д.пост}}) t_p = \frac{(26,37 + 2,22 + 2,82) \cdot 26,37}{3600} = \\ &= \frac{31,41 \cdot 26,37}{3600} = 0,230 \text{ кВт} \cdot \text{ч.} \end{aligned}$$

Переменные потери энергии за эффективное время цикла

$$\begin{aligned} \Delta w_{\text{пер}} &= (\Delta P_{\text{мп.пер}} + \Delta P_{\text{д.пер}}) t_p = \frac{(1,69 + 4,74)}{3600} 26,37 = \frac{6,43 \cdot 26,37}{3600} = \\ &= 0,047 \text{ кВт} \cdot \text{ч.} \end{aligned}$$

Согласно рис. 1, потребление электроэнергии за эффективное время цикла

$$w_3 = w_p + \Delta w_{\text{пост}} + \Delta w_{\text{пер}} = 0,396 + 0,230 + 0,047 = 0,673 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Принимая вспомогательное время (время межторцовых разрывов) $t_{\text{всп}} = 1,9$ с, определяем потери электроэнергии за вспомогательное время цикла:

$$\Delta w_{\text{всп}} = P_{\text{хх}} t_{\text{всп}} = \frac{23,97 \cdot 1,9}{3600} = 0,013 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Уравнение энергетического баланса процесса распиловки бревен за операционное время цикла

$$w_{\text{опер}} = w_{\text{пол}} + \Delta w_{\text{пот}} = w_p + (\Delta w_{\text{пост}} + \Delta w_{\text{пер}} + \Delta w_{\text{всп}}) = 0,396 + (0,230 + 0,047 + 0,013) = 0,396 + 0,290 = 0,686 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Относительные потери энергии

$$\Delta w_{\text{пот}} = \frac{\Delta w_{\text{пот}}}{w_{\text{потр}}} 100 \% = \frac{0,290}{0,686} 100 \% = 42,3 \%$$

Аналогично составляем энергобаланс ЛР № 2 за операционное время цикла распиловки одного бруса. Полученные нами данные (табл. 2) позволяют сделать вывод о больших потерях энергии в электроприводе лесопильной рамы при распиловке брусьев (34,41 %).

25. Результаты расчета постова и распиливания бревен с брусовкой, взятые из примера [8], представлены в табл. 3.

Нормы удельного расхода энергии на выполнение операций распиловки бревен и брусьев определяем с учетом приведения расчетного объема P_p выхода пиломатериалов к фактическому P_ϕ , что позволяет учесть рассеивание размеров длин и ширин обрезных досок при раскросе бревен [9].

Таблица 3

Расчет постова и распиливания бревен с брусовкой

Постав		Номинальные размеры досок		Объем одной доски, м ³	Объемный выход пиломатериалов		
Количество досок, шт.	Толщина, мм	Ширина, мм	Длина, м		м ³	P_p	P_ϕ
				%			
1	150	158	6,00	–	–	–	
2	25	100	4,25	0,0106	0,0212	7,60	
2	16	75	1,5	0,0018	0,0036	1,29	
1	44	150	6,00	0,0396	0,0396	14,14	
2	44	150	6,00	0,0396	0,0792	28,28	
2	16	125	5,75	0,0115	0,0230	8,22	
2	16	75	3,50	0,0042	0,0084	3,00	
<i>Итого</i>					0,1750	62,50	61,73

Принимая поправочный коэффициент при выработке пиломатериалов $K = 0,96$, получаем следующие значения удельных расходов энергии:

при распиловке бревен

$$d_{\text{брв}} = \frac{W}{P_p \cdot K} = \frac{W}{P_\phi} = \frac{0,686}{0,175 \cdot 0,96} = 4,08 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3;$$

при распиловке брусьев

$$d_{\text{брс}} = \frac{W}{P_p \cdot K} = \frac{W}{P_\phi} = \frac{0,866}{0,175 \cdot 0,96} = 5,15 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3.$$

Аналогично могут быть получены операционные нормы удельного расхода энергии и для других диаметров бревен и схем поставов.

Заключение

В результате исследований получены аналитические зависимости между потребляемой мощностью, удельным потреблением электроэнергии и производительностью механизма резания лесопильных рам, получившие название энергетических характеристик, а также составлен энергетический баланс лесопильной рамы. Установлено, что энергетические характеристики потребляемой мощности лесопильных рам носят нелинейный характер. Наличие энергетических характеристик позволит более качественно подойти к вопросу планирования и нормирования удельных расходов энергии по каждому типу-размеру сортиментов и производству в целом.

Выявлены основные технологические факторы и параметры оборудования и сырья, влияющие на удельное электропотребление лесопильных рам.

Используемый метод дает возможность выразить полезную нагрузку на агрегат через производительность – показатель, по которому практически оцениваются результаты работы агрегата, участка, цеха и т.д.

На основании энергетического баланса лесопильной рамы сделан вывод о больших потерях энергии в электроприводе лесопильной рамы при распиловке брусьев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агеев С.П.* Энергетическая характеристика механизма резания лесопильной рамы // Лесн. журн. 2009. № 1. С. 95–100. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Агеев С.П.* Энергетическая характеристика электропривода механизма резания лесопильной рамы // Лесн. журн. 2009. № 2. С. 96–101. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Алексин М.В., Синев В.С., Пижурич П.А., Коперин И.Ф., Головкин С.И., Павлюк В.А.* Экономия энергоресурсов в лесной и деревообрабатывающей промышленности. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 216 с.
4. Временная инструкция по нормированию расхода тепловой и электрической энергии в производстве пиломатериалов. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1980. 60 с.
5. *Гофман И.В.* Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий. М.: Энергия, 1966. 319 с.
6. Инструкция по расчету производственной мощности лесопильного предприятия. Архангельск: ЦНИИМОД, 1986. 65 с.
7. *Любченко В.И.* Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1986. 296 с.
8. *Рыкунин С.Н., Пятков В.Е.* Методы составления и расчета поставок: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2002. 69 с.
9. *Рыкунин С.Н., Тюкина Ю.П., Шалаев В.С.* Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств: учеб. пособие для вузов. 3-е изд. М.: МГУЛ, 2007. 225 с.
10. Kreisel K., Jochem E. Druckluft rationell erzeugen und nutzen. *Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Storm". Wirtschaftsministerium Baden-Wurtemberg*, 1996.

11. Matthews M.B., Leber J.F. Neurale Netzwerke: Ein Übersicht. *Bulletin of the Swiss Electronics Society (SEV)*, 1989, vol. 15, pp. 923–932.
12. Tonsing E. Stromsparende Beleuchtungssysteme – mehr Licht für weniger Kosten. *Fachartikel im Rahmen der Initiative “Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Storm”*. Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1996.
13. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning Representations by Back-Propagating Errors. *Nature*, 1986, vol. 323, pp. 533–536.

Поступила 17.02.16

UDC 621.311[□]

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.154

Rationing of Electricity Consumed by Saw Frames

S.P. Ageev, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya
Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;
e-mail: doctor.mart11@mail.ru

Rationing of specific energy consumption in woodworking enterprises is constructed in accordance with the decomposition of production into the partial operations and processes by types of products and into particular areas (units, shops, enterprises). Due to this fact the operating (by partial operations) and total (by separate manufacturing processes) specific energy consumption standards are distinguished. The purpose of this article is to develop an approach to the energy balance preparation and the establishment of the operating rate of specific energy consumption to perform framed woodsawing operations. Energy properties of the electric drive of saw frames are examined in the direction in which the losses and useful energy consumption are determined by loss factors and the performance of the unit. As a result of research we obtained the analytic dependences between power consumption, specific power consumption and performance of cutting mechanism of saw frames, known as energetic characteristics, and made up the energy balance of a saw frame. The proposed method allows us to express the payload to the unit through the performance – an indicator of evaluation of the working results of the unit, site, shop, etc. The presence of power characteristics is a way to the more qualitative approach to the planning of specific energy consumption for each standard size of assortments and production. The energetic characteristics of power consumption of saw frames are nonlinear. The basic technological factors and parameters of equipment and raw materials affecting specific power consumption of saw frames are determined.

Keywords: saw frame, productivity, energetic characteristic, power consumption, energy balance, specific energy consumption, electric loss, operating rate of specific energy consumption.

For citation: Ageev S.P. Rationing of Electricity Consumed by Saw Frames. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1, pp.154–165. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.154

REFERENCES

1. Ageev S.P. Energeticheskaya kharakteristika mekhanizma rezaniya lesopil'noy ramy [Energetic Characteristic of Cutting Mechanism of Frame Saw]. *Lesnoy zhurnal*, 2009, no. 1, pp. 95–100.
2. Ageev S.P. Energeticheskaya kharakteristika elektroprivoda mekhanizma rezaniya lesopil'noy ramy [Energy Characteristic of Electric Drive for Cutting Mechanism of Saw Frame]. *Lesnoy zhurnal*, 2009, no. 2, pp. 96–101.
3. Aleksin M.V., Sinev V.S., Pizhurin P.A., Koperin I.F., Golovkov S.I., Pavlosyuk V.A. *Ekonomiya energoresursov v lesnoy i derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti* [Energy Savings in the Timber and Woodworking Industry]. Moscow, 1982. 216 p.
4. *Vremennaya instruktsiya po normirovaniyu raskhoda teplovoy i elektricheskoy energii v proizvodstve pilomaterialov* [Temporary Instructions on the Heat and Electricity Flow Rationing in the Production of Lumber]. Moscow, 1980. 60 p.
5. Gofman I.V. *Normirovanie potrebleniya energii i energeticheskie balansy promyshlennykh predpriyatiy* [Rationing of Energy Consumption and Energy Balances of Industrial Enterprises]. Moscow, 1966. 319 p.
6. *Instruktsiya po raschetu proizvodstvennoy moshchnosti lesopil'nogo predpriyatiya* [Instructions on the Calculation of the Sawmill Production Capacity]. Arkhangelsk, 1986. 65 p.
7. Lyubchenko V.I. *Rezanie drevesiny i drevesnykh materialov: ucheb. posobie dlya vuzov* [Wood and Wood Materials Cutting]. Moscow, 1986. 296 p.
8. Rykunin S.N., Pyatkov V.E. *Metody sostavleniya i rascheta postavov: ucheb. posobie* [Designing and Calculation Methods of Sawing Patterns]. Moscow, 2002. 69 p.
9. Rykunin S.N., Tyukina Yu.P., Shalaev V.S. *Tekhnologiya lesopil'no-derevoobrabatyvayushchikh proizvodstv: ucheb. posobie dlya vuzov* [Technology of Woodworking Industries]. Moscow, 2007. 225 p.
10. Kreisel K., Jochem E. Druckluft rationell erzeugen und nutzen. *Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Storm"*. Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1996.
11. Matthews M.B., Leber J.F. Neurale Netzwerke: Ein Übersicht. *Bulletin of the Swiss Electronics Society (SEV)*, 1989. Bd. 15. Ss. 923–932.
12. Tonsing E. Stromsparende Beleuchtungssysteme – mehr Licht für weniger Kosten. *Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Storm"*. Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1996.
13. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning Representations by Back-Propagating Errors. *Nature*, 1986, vol. 323, pp. 533–536.

Received on February 17, 2016

УДК 674.023

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.166

**ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРИ ОБРАБОТКЕ ЛИТЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СТАНКАХ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ***

Ф.В. Черепенин, канд. техн. наук, проф.

С.М. Сквпень, канд. техн. наук, проф.

Д.А. Ульяничев, асп.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, филиал в г. Северодвинске, ул. Капитана Воронина, д. 6, г. Северодвинск, Россия, 164500; e-mail: ulyanichevda@gmail.com

Высокие требования к качеству и срокам изготовления продукции, выпускаемой судостроительной промышленностью, вызывают необходимость совершенствования технологий на всех этапах ее изготовления, начиная с получения литых заготовок. Модельную оснастку для крупногабаритных отливок в условиях единичного и мелкосерийного производства изготавливают из древесины и древесных материалов, что связано с большим разбросом типоразмерных характеристик при значительной номенклатуре изделий. Механическую обработку таких литейных моделей в виде тел вращения со сложным осевым профилем производят на станках токарной группы с единым электромеханическим копировальным приводом по двум осям. Замена копировальной системы управления на числовую позволила не только модернизировать станок, но и изменить технологию подготовки производства и сам процесс обработки литейной модели на станке. Нами создана цифровая модель осевого профиля изделия, состоящая из математического описания номинального контура, в виде дискретного набора точек и алгоритма слежения системой числового программного управления за точностью его воспроизведения режущим инструментом во время обработки на основе использования принципов широтно-импульсного управления электромагнитной муфтой главного привода станка. На специально разработанной микропроцессорной модели станка 1525 в лабораторных условиях протестировано программное обеспечение, реализующее цифровую модель осевого профиля поверхности вращения литейной модели из древесины. Использование разработанной цифровой модели при замене копировальной системы управления станком на числовое программное управление позволяет значительно снизить технологическую трудоемкость и затраты на изго-

*Работа выполнена в Северном (Арктическом) федеральном университете им. М.В. Ломоносова по проекту № 3625 «Совершенствование конструкций и технологий изготовления элементов судовых пропульсивных систем с использованием методов сквозной автоматизации и информационной поддержки их производственного цикла».

Для цитирования: Черепенин Ф.В., Сквпень С.М., Ульяничев Д.А. Цифровое моделирование при обработке литейных моделей из древесины и древесных материалов на станках токарной группы // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 166–176. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.166

товление из древесины и древесно-композитных материалов крупногабаритных литейных моделей с поверхностями вращения.

Ключевые слова: литейная модель из древесины, одноприводные копировальные станки, числовое программное управление, широтно-импульсное управление, дискретное описание профиля.

С каждым годом на отечественных промышленных предприятиях увеличивается доля новых станков с числовым программным управлением (ЧПУ), которые приходят на смену морально и физически устаревшему оборудованию [2, 5, 12]. Обновление станочного парка российских предприятий идет достаточно медленно, поскольку требует значительных капиталовложений, особенно когда речь идет о крупногабаритных уникальных станках, созданных в 70–80-е гг. прошлого века. Наименее затратным путем решения проблемы расширения функциональных и технологических возможностей таких станков является тот, который предполагает существенную модернизацию устаревших систем управления [1, 6, 7, 10]. Это позволяет повысить точность, гибкость и надежность оборудования, а также снизить технологическую трудоемкость создания литейных моделей в условиях мелкосерийного производства [3, 4].

Для изготовления крупногабаритных литейных моделей в виде тел вращения в условиях судостроительного производства используются копировальные станки токарной группы. Так, станок модели 1525 имеет один главный асинхронный электропривод, механическую коробку скоростей и электромеханическое копировальное устройство [11]. Жесткая система копиров и электромеханическая система слежения за обрабатываемым профилем существенно снижают функциональные возможности станка, увеличивая производственную трудоемкость из-за необходимости изготовления копиров при переходе на новое изделие.

В рамках проводимых научно-технических работ (Центр судостроения «Звездочка») по модернизации станка модели 1525, используемого для механической обработки обтекателей гребных винтов, разработана и внедрена цифровая система управления (ЦСУ) суппортом, которая включает: устройство ЧПУ NC-201M [8]; датчики положения рабочего органа по трем координатам; модули входов и выходов; дополнительное оборудование (выносной пульт управления, соединительные коробки, информационные и силовые кабельные трассы, элементы защиты). Замена копировальной системы управления на ЧПУ позволила отказаться от использования жестких механических копиров и электромеханической системы слежения за профилем, что существенно изменило технологию подготовки производства и сам процесс обработки литейных моделей в направлении необходимости создания цифрового профиля обрабатываемой заготовки на основе чертежа будущего готового изделия. В простейшем случае модель профиля может быть создана вручную или получена с помощью современных компьютерных CAD-систем: AutoCAD, КОМПАС, Tflex CAD и др.

В качестве основной системы координат для математического описания профиля поверхности вращения принята система, связанная со станком (рис. 1). Положительное направление оси абсцисс X соответствует движению режущего инструмента от центра планшайбы, положительное направление оси ординат Z – движению инструмента вдоль оси вращения детали от планшайбы.

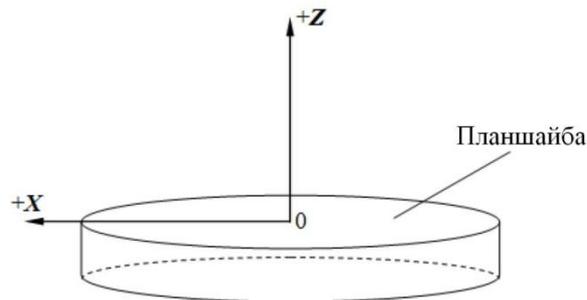


Рис. 1. Координатные оси токарно-карусельного станка 1525

Цифровая модель осевого профиля поверхности вращения состоит из математического описания номинального контура профиля, взятого с чертежа, и алгоритма слежения за точностью его воспроизведения при движении режущего инструмента во время обработки с учетом особенностей одиночного электропривода с автоматической коробкой скоростей.

Создание цифровой модели профиля начинается с построения непрерывного контура детали в координатах (X, Z) станка 1525 (рис. 1) относительно базовой плоскости, совпадающей с поверхностью планшайбы. Далее с помощью встроенных в CAD-систему функций полученный контур разбивается на требуемое количество равных отрезков. Количеством отрезков разбиения определяется точность обработки, минимальная величина отрезка ограничена только технологическими возможностями привода рабочих подач станка. В качестве примера на рис. 2 показан теоретический контур произвольной формы, разбитый на n элементарных отрезков. Каждый i -й отрезок задается начальной и конечной точками в форме декартовых координат: $(X_{1i}; Z_{1i})$ и $(X_{2i}; Z_{2i})$. Совокупность точек разбиения, представляющая собой дискретный аналог осевого профиля обрабатываемой поверхности вращения, является профилем в станочной системе координат.

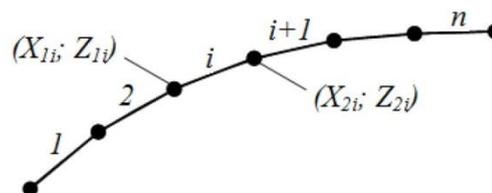


Рис. 2. Контур детали, разбитый на n элементарных отрезков

Для сохранения цифровой модели в виде точек используется текстовый формат IGES, поддерживаемый всеми современными CAD-системами. Преобразование полученного IGES-файла в форматный файл системы ЧПУ выполняется специальной программой-конвертором, преобразующей данные о координатах точек из файла формата IGES. Файл состоит из текстовых строк. Каждая строка, кроме первой, имеет 128 символов, включая специальные символы возврата строки и перевода каретки. Таким образом, файл цифровой модели профиля имеет $(n + 3)$ текстовых строк. Формат файла представлен в таблице.

Формат файла программы-конвертора, преобразующей данные о координатах точек из файла формата IGES

№ строки	Содержание строки	Описание строки
1	OL♦L♦L♦L♦IL♦	Строка символов, определяющая формат всех последующих строк файла
2	+nnnn.0000+0.0000+0.0000+0.0000+0+0.0000	nnnn – количество элементарных отрезков, на которые разбит контур детали
3	±xxxx.xxx±zzzz.zzzz±xxxx.xxx+0.0000+0+0.0000	±xxxx.xxx±zzzz.zzzz±xxxx.xxx – ограничение контура по осям X и Z: X_{\min} , Z_{\min} , X_{\max}
4	±xxxx.xxx±zzzz.zzzz±xxxx.xxx±zzzz.zzzz+r+aaa.aaaa	±xxxx.xxx±zzzz.zzzz±xxxx.xxx±zzzz.zzzz – координаты точек начала и конца 1-го элементарного отрезка; r – номер сектора, которому принадлежит отрезок; aaa.aaaa – угол наклона α_1 элементарного отрезка
5	±xxxx.xxx±zzzz.zzzz±xxxx.xxx±zzzz.zzzz+r+aaa.aaaa	То же для i-го отрезка
...
n + 3	±xxxx.xxx±zzzz.zzzz±xxxx.xxx±zzzz.zzzz+r+aaa.aaaa	То же для n-го отрезка, где $n = nnnn$

Процесс обработки детали под управлением ЧПУ в общем случае заключается в следующем. В цикле управляющей программы черновой или чистовой обработки из файла цифровой модели считываются координаты точек i-го элементарного отрезка. В зависимости от угла наклона i-го отрезка α_i вы-

полняется движение режущего инструмента вдоль отрезка в определенном секторе (рис. 3). Далее осуществляется переход к следующему элементарному отрезку, и процесс слежения продолжается до тех пор, пока не будут обработаны все заданные отрезки теоретического контура или не будет получена команда принудительной остановки работы ЦСУ или станка.

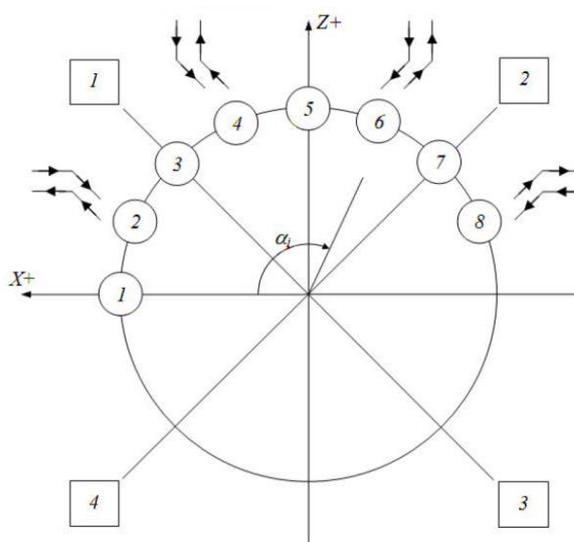


Рис. 3. Распределение квадрантов (номер обозначен в квадратике) и секторов (номер – в кружке) в координатах станка

Движение режущего инструмента в процессе слежения определяется особенностью однодвигательного привода осей станка модели 1525, не позволяющего осуществлять раздельное управление осями X и Z с разной скоростью подачи. Привод станка дает возможность реализовать только следующие виды движения: горизонтальное – по оси X , вертикальное – по оси Z , а также под углом, кратным 45° , при одновременном движении по осям X и Z . При этом в зависимости от угла α_i одна ось, включенная постоянно, будет ведущей, другая, включаемая периодически, – следящей.

Исходя из возможностей одиночного привода станка, слежение за теоретическим контуром можно реализовать в виде ступенчатого движения, происходящего вдоль заданного контура детали. При этом инструмент по ведущей оси будет двигаться непрерывно, по следящей – прерывисто, т. е. постоянно включаться и выключаться.

При слежении, с учетом 4 квадрантов, возможны 16 вариантов движений вдоль отрезка: 8 вариантов движения по ведущей и следящей осям (секторы 2, 4, 6 и 8) и 8 вариантов при одновременном движении по обеим осям (секторы 3 и 7) или только по одной оси (секторы 1 и 5).

До начала программной обработки детали выполняется ввод заглабления вершины резца по оси X или Z , после чего рассчитывается отступ δ контура при черновой обработке от теоретического (рис. 4), который определяет припуск на последующую обработку. Отступ δ , равный длине отрезка AB , определяется с учетом направления и заглабления $\Delta Z_{\text{загл}}$ (или $\Delta X_{\text{загл}}$) относительно точки касания резца. Точка касания фиксируется оператором вручную в момент касания вершиной резца поверхности детали.

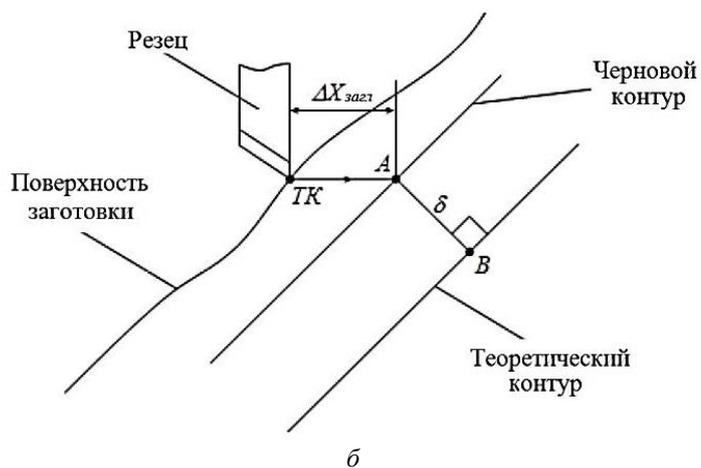
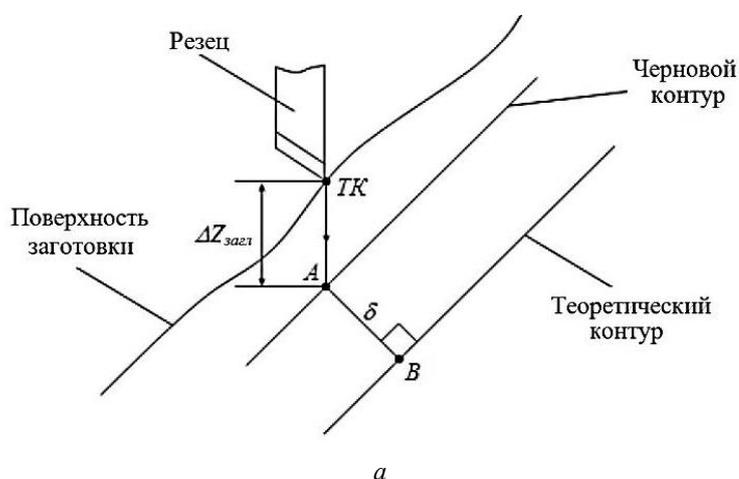


Рис. 4. Определение отступа черного контура от теоретического при заглаблении по осям Z и X

На рис. 5 в качестве примера приведен упрощенный алгоритм работы программы слежения на элементарном отрезке для 4-го сектора и 3-го квадранта. Координаты элементарного отрезка $(X_{1i}; Z_{1i})$ и $(X_{2i}; Z_{2i})$ считываются из файла цифровой модели профиля детали. По ним рассчитываются 2 параметра уравнения траектории в виде прямой линии: коэффициент наклона k и смещение b . Далее включается движение по оси Z и выполняется заглубление по оси Z до точки начала слежения $Z_{теор}$. При этом переход к циклу слежения происходит с небольшим упреждением – за 1 мкм до целевой точки $Z_{теор}$.

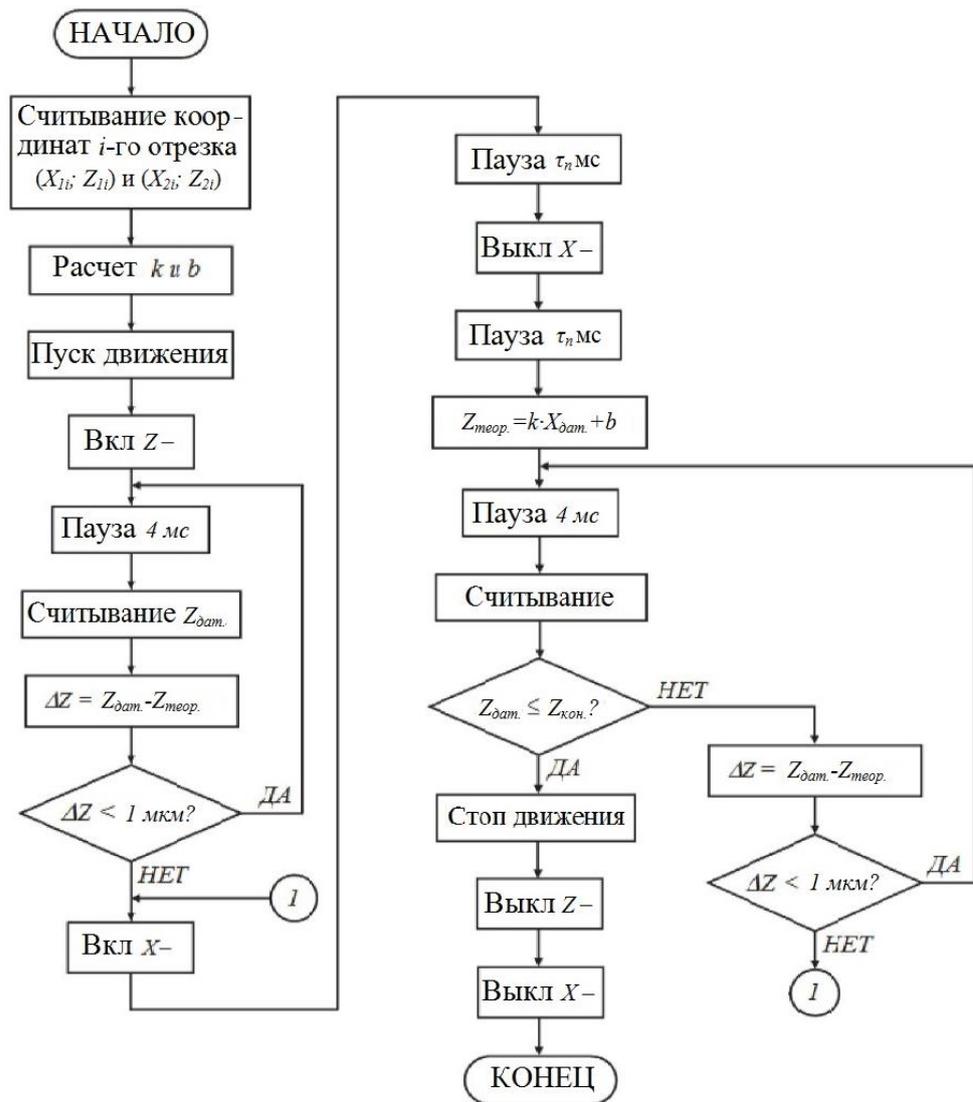


Рис. 5. Блок-схема алгоритма обработки по цифровой модели профиля

В цикле слежения выполняется периодическое включение движения X . После каждого включения и выключения оси X дается пауза τ_p , длительность которой определяется скоростью рабочей подачи, т. е. реализуется принцип широтно-импульсного управления током электромагнитной муфты следящей подачи. Затем рассчитывается новое значение координаты $Z_{\text{теор}}$ и выполняется движение по оси Z до этой точки. В цикле движения по оси Z проверяется условие достижения конечной координаты обработки $Z_{\text{кон}}$. Если оно выполняется, то работа программы завершается. При достижении целевой точки $Z_{\text{теор}}$ (с учетом упреждения в 1 мкм) выполняется переход к началу цикла слежения, все действия повторяются.

Программное обеспечение, реализующее все функции управления левым суппортом в режиме слежения, было отлажено на микропроцессорной модели станка 1525 [9], которая была специально разработана для проведения лабораторных испытаний ЦСУ.

Таким образом, в результате выполнения работ с учетом особенностей базового программного обеспечения устройства ЧПУ NC-201M и одиночного привода станка 1525 разработана цифровая модель профилей деталей, состоящая из математического описания номинального осевого профиля литейной модели и алгоритма его воспроизведения с помощью системы ЧПУ, учитывающей особенности станка с одним приводом.

Использование разработанной цифровой модели при замене электромеханической копировальной системы управления станком на ЧПУ позволяет значительно снизить технологическую трудоемкость и затраты, связанные с подготовкой и изготовлением жестких механических копиров, при механической обработке литейных моделей из древесины и древесно-композитных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амалицкий В.В., Санев В.И. Оборудование и инструмент деревообрабатывающих предприятий. М.: Экология, 1992. 480 с.
2. Глебов И.Т. Резание древесины. Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. 228 с.
3. Кремлева Л.В., Варенников И.Л., Харитonenko В.Т. Функциональная модель САПР технологических процессов изготовления деревянных модельных комплектов // Лесн. журн. 2010. № 1. С. 71–77. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Кремлева Л.В., Малыгин В.И., Вареников И.Л. Влияние технико-экономических показателей деревообрабатывающего модельного производства на методологию автоматизации его технической подготовки // Лесн. журн. 2010. № 5. С. 70–74. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). СПб.: Питер, 2004. 560 с.
6. Малыгин В.И., Черепенин Ф.В., Скoвпeнь С.М., Лoбaнoв Н.В. Интеллектуальные системы управления копировальных станков с асинхронным электроприводом // Вестн. СПбО АИН. 2010. № 7. С. 272–283.

7. Малыгин В.И., Черепенин Ф.В., Сковпень С.М., Лобанов Н.В. Повышение качества управления фрезерным станком модели 2А656Ф11 // Технология машиностроения. 2015. № 5. С. 26–28.

8. Устройство числового программного управления NC-201М. Руководство по эксплуатации. СПб.: Балт-Систем, 2009. 132 с.

9. Черепенин Ф.В., Сковпень С.М. Микропроцессорная модель карусельного станка 1525 для отладки программного обеспечения УЧПУ NC-201М // Вопросы технологии, эффективности и надежности. 2010. Вып. № 23. С. 60–66.

10. Malygin V.I., Cherepenin F.V., Skovpen' S.M., Lobanov N.V. Modernizing the Control System of the 2A656F11 Milling and Boring Machine. *Russian Engineering Research*, 2014, vol. 34, no. 10, pp. 637–640.

11. Malygin V.I., Cherepenin F.V., Skovpen' S.M., Ul'yanichev D.A. Control of Metal-Cutting Machines with a Single Primary Drive and an Automatic Gearbox. *Russian Engineering Research*, 2014, vol. 34, no. 3, pp. 163–167.

12. Sotiris L. Omirou. Space Curve Interpolation for CNC Machines. *J. of Materials Processing Technology*, 2003, vol. 141(3), pp. 343–350.

Поступила 24.10.16

UDC 674.023

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.166

Digital Simulation when Wood and Wood-Based Materials Casting Patterns Processing on the Turning Lathes

F.V. Cherepenin, Candidate of Engineering Sciences, Professor

S.M. Skovpen', Candidate of Engineering Sciences, Professor

D.A. Ul'yanichev, Postgraduate Student

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Severodvinsk Branch, Kapitana Voronina ul., 6, Severodvinsk, 164500, Russian Federation; e-mail: ulyanichevda@gmail.com

High standards of quality and time of manufacturing of the shipbuilding industry products cause the need to improve technologies at all stages of production, starting from the casting blocks obtaining. Pattern equipment for large-sized castings in terms of single piece and limited production is made from wood and wood-based materials, because of the large differences in standard characteristics with a significant range of products. The mechanical treatment of such casting models in the form of bodies of revolution with a complex axial profile is produced on the machines of the turning group with a single electromechanical stylus drive in two axes. The replacement of the LMFC system by the digital control system allows upgrading the machine and changing the technology of production preparation and

For citation: Cherepenin F.V., Skovpen' S.M., Ul'yanichev D.A. Digital Simulation when Wood and Wood-Based Materials Casting Patterns Processing on the Turning Lathes. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1, pp. 166–176. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.166

the processing of a casting pattern on the machine. The paper presents the digital model of an product axial profile consisting of a mathematical description of the nominal contour in the form of a discrete set of points and the tracking algorithm of a CNC system for the play-back accuracy of a cutting tool during processing on the basis of the pulse-width control principles of the electromagnetic clutch of the main drive gear. The software implementing a digital model of the axial profile of a revolution surface of a wood casting pattern is tested on a specially developed microprocessor-based machine of the 1525 model in the laboratory conditions. The use of the developed digital model when replacing the LMFC system by the CNC can significantly reduce the technological complexity and costs associated with the manufacturing of large-sized casting patterns with wood and wood-based materials revolution surfaces.

Keywords: wood casting pattern, single primary drive, copying lathe, computerized numerical control (CNC), pulse-width control, discrete profile description.

REFERENCES

1. Amalitskiy V.V., Sanev V.I. *Oborudovanie i instrument derevoobrabatyvayushchikh predpriyatiy* [Equipment and Tools of Woodworking Enterprises]. Moscow, 1992. 480 p.
2. Glebov I.T. *Rezanie drevesiny* [Wood Cutting]. Yekaterinburg, 2007. 228 p.
3. Malygin V.I., Kremleva L.V., Kharitonenko V.T., Varenikov I.L. Funktsional'naya model' SAPR tekhnologicheskikh protsessov izgotovleniya derevyannykh model'nykh kompletov [Functional Model of CAD Engineering Processes for Manufacturing Wooden Prototyping Kits]. *Lesnoy zhurnal*, 2010, no. 1, pp. 71–77.
4. Malygin V.I., Kremleva L.V., Kharitonenko V.T. Vliyaniye tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley derevoobrabatyvayushchego model'nogo proizvodstva na metodologiyu avtomatizatsii ego tekhnicheskoy podgotovki [Influence of Engineering-and-Economical Performance of Woodworking Model Enterprise on Automation Methodology of its Manufacturing System]. *Lesnoy zhurnal*, 2010, no. 2, pp. 70–74.
5. Li K. *Osnovy SAPR (CAD/CAM/CAE)* [Fundamentals of CAD (CAD / CAM / CAE)]. Saint Petersburg, 2004. 560 p.
6. Malygin V.I., Cherepenin, F.V., Skovpen' S.M., Lobanov N.V. Intellektual'nye sistemy upravleniya kopiroval'nykh stankov s asinkhronnym elektroprivodom [Intelligent Copying Machine Control Systems with Asynchronous Drive]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo otdeleniya Akademii inzhenernykh nauk* [Bulletin of the St. Petersburg Branch of the Academy of Engineering Sciences], 2010, no. 7, pp. 272–283.
7. Malygin V.I., Cherepenin F.V., Skovpen' S.M., Lobanov N.V. Povysheniye kachestva upravleniya frezernym stankom modeli 2A656F11 [Improving the Control Quality by a Milling Machine of the Model 2A656F11]. *Tekhnologiya mashinostroeniya*, 2015, no. 5, pp. 26–28.
8. *Ustroystvo chislovogo programmogo upravleniya NC-201M. Rukovodstvo po ekspluatatsii* [Numerical Control Unit NC-201M]. Saint Petersburg, 2009. 132 p.
9. Cherepenin F.V., Skovpen' S.M. Mikroprotssornaya model' karusel'nogo stanka 1525 dlya otladki programmogo obespecheniya UChPU NC-201M [Microprocessor Model of a Carousel Machine 1525 for CNC NC-201M Software Debugging]. *Voprosy tekhnologii, effektivnosti i nadezhnosti*, 2010, no. 23, pp. 60–66.

10. Malygin V.I., Cherepenin F.V., Skovpen' S.M., Lobanov N.V. Modernizing the Control System of the 2A656F11 Milling and Boring Machine. *Russian Engineering Research*, 2014, vol. 34, no. 10, pp. 637–640.

11. Malygin V.I., Cherepenin F.V., Skovpen' S.M., Ul'anichev D.A. Control of Metal-Cutting Machines with a Single Primary Drive and an Automatic Gearbox. *Russian Engineering Research*, 2014, vol. 34, no. 3, pp. 163–167.

12. Sotiris L. Omirou. Space Curve Interpolation for CNC Machines. *J. of Materials Processing Technology*, 2003, vol. 141(3), pp. 343–350.

Received on October 24, 2016



УДК 547.599.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.177

ОЧИСТКА СУЛЬФАТНОГО СКИПИДАРА-СЫРЦА ОТ СЕРАСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ*

Е.С. Тюрмина², канд. хим. наук

И.С. Ильичев¹, канд. хим. наук

А.Б. Радбиль¹, д-р техн. наук

Л.Л. Семенычева², д-р хим. наук

М.А. Лазарев¹, канд. хим. наук

Е.А. Маврина², асп.

А.А. Шалашова², асп.

¹ Управляющая компания Биохимического холдинга «Оргхим», пр. Гагарина, д. 29-д, г. Нижний Новгород, Россия, 603057; e-mail: i.ilichev@orgkhim.com

² НИИ химии Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, пр. Гагарина, д. 23, г. Нижний Новгород, Россия, 603950; e-mail: e.tyurmina@orgkhim.com

Растительное сырье представляет собой уникальный возобновляемый природный комплекс органических соединений. Правильное использование всех компонентов растительного сырья открывает широкие возможности для химической промышленности, поэтому проблемы комплексной переработки и рационального использования лесохимических продуктов особенно актуальны в настоящее время. Сульфатный скипидар является побочным продуктом при производстве сульфатной целлюлозы. Он выделяется из сдувок в ходе пропарки щепы и из варочного котла сульфатно-целлюлозного производства. Скипидар-сырец сульфатный выпускается по ТУ 13-0281078-55–89. Вследствие резкого неприятного запаха, связанного с присутствием соединений серы, он не находит квалифицированного применения и нуждается в очистке. Значительные объемы сульфатно-целлюлозного производства и возможность осуществления обессеривания сульфатного скипидара позволяют рассматривать его как крупный источник терпеновых соединений. В настоящее время ставится задача добиться такой степени очистки от серасодержащих соединений, которая позволила бы повысить качество сульфатного скипидара до сопоставимого с живичным. В лите-

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0073) в Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского.

Для цитирования: Тюрмина Е.С., Ильичев И.С., Радбиль А.Б., Семенычева Л.Л., Лазарев М.А., Маврина Е.А., Шалашова А.А. Очистка сульфатного скипидара-сырца от серасодержащих соединений* // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 177–185. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.177

ратуре описаны различные способы обессеривания: химические, физические и физико-химические. Скипидар-сырец различных производителей имеет неодинаковый состав по содержанию серы и основного составляющего (α -пинена). В связи с этим разработка методов очистки скипидара-сырца на конкретном виде сырья для решения проблемы получения качественных продуктов вторичной переработки актуальна. При очистке скипидара-сырца от серосодержащих компонентов были опробованы растворы окислителей: пероксида водорода, персульфата аммония, гидроксида натрия и др. Очищенный химическими реагентами скипидар подвергали ректификации. Получены образцы с содержанием общей серы на уровне 100 ppm.

Ключевые слова: скипидар, терпеновые углеводороды, серосодержащие соединения, пероксид водорода.

Введение

Состав скипидара-сырца определяется породой перерабатываемой древесины, технологией и аппаратным оформлением процесса производства целлюлозы. Отличительным признаком сульфатного скипидара является наличие сернистых соединений (CH_3SH , $(\text{CH}_3)_2\text{S}$, $(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$ и др.), присутствие которых даже в незначительных количествах ограничивает применение скипидара для органического синтеза (из-за его неприятного запаха и «отравления» используемых в каталитических процессах катализаторов) [2, 10, 11]. Требования, предъявляемые к очищенному сульфатному скипидару, определяются техническими условиями ТУ 13-028-1078-36–89: содержание серы для скипидара 2-го сорта не должно превышать 500 ppm, для скипидара высшего сорта – 200 ppm. Очищенный от сопутствующих сернистых соединений сульфатный скипидар может успешно конкурировать с живичным во многих отраслях промышленности. В связи со значительным падением производства живичного скипидара в нашей стране и за рубежом очищенный сульфатный скипидар заменяет живичный в лакокрасочной промышленности, где применяется в качестве растворителя.

Более ценным его назначением является использование в производстве душистых веществ, камфоры, соснового масла, терпинеола и др. Массовое производство таких веществ налажено в США, Франции, Индии. В России производят лишь сосновое масло (АО «Сибирский лесохимический завод» Биохимического холдинга «Оргхим», г. Лесосибирск Красноярского края) и камфен (АО «Оргсинтез», г. Нижний Новгород). Развитие производства высокомаржинальных продуктов на основе скипидара (α -пинена) тормозит отсутствие сырьевой базы по очищенному сульфатному скипидару в нашей стране. Единственным производителем его является Усть-Илимский лесоперерабатывающий комплекс (ОАО «Группа Илим», филиал в г. Усть-Илимске). Поэтому вопрос очистки скипидара-сырца весьма актуален.

Очистку скипидара от сернистых соединений можно осуществить химическими, физическими и физико-химическими способами: адсорбцией скипидара [7]; обработкой металлами, оксидами, солями металлов [3, 4]; экстрак-

цией селективными растворителями [6]; обработкой кислотами и щелочами [1]; разрушением или осаждением сернистых соединений окисляющими агентами [5]; вакуумной ректификацией [8, 9].

Цель данной работы – получение очищенного сульфатного скипидара с низким содержанием сернистых соединений, отвечающего всем требованиям ТУ 13-0281078-36–89.

Объекты и методы исследования

В экспериментах использовали сульфатный скипидар-сырец Сегежского целлюлозно-бумажного комбината (СТО 51321438-016–2008) с содержанием сернистых соединений в пересчете на серу 18 000...20 000 ppm (1,8... 2,0 %).

Очистка сульфатного скипидара раствором пероксида водорода (H_2O_2). В реактор, снабженный верхнеприводной мешалкой и термопарой, загружали сульфатный скипидар-сырец и 5 %-й водный раствор H_2O_2 в соотношении 1:1 по массе. Реакционную смесь постоянно перемешивали в течение 2 ч при температуре 90 °С. После чего ее отстаивали, сливали водный слой, органический слой промывали дистиллированной водой и отбирали пробу на анализ.

Очистка сульфатного скипидара раствором хлорамина Б (бензолсульфохлорамида натрия). В реактор загружали по 100 г скипидара и 2,5 %-го раствора хлорамина Б. Добавляли гидроксид натрия (NaOH) в сухом виде до pH 12. Обработывали скипидар при температуре 90 °С в течение 2 ч, промывали водой и отбирали пробу на анализ.

Очистка сульфатного скипидара раствором персульфата аммония ($(NH_4)_2S_2O_8$). В реактор загружали в количестве 1:1 (по массе) сульфатный скипидар и 20 %-й раствор $(NH_4)_2S_2O_8$. Перемешивали в течение 3 ч при температуре 90 °С. На делительной воронке отделяли скипидарный слой от водного и отбирали пробу на анализ.

Щелочная обработка скипидара-сырца. В реактор загружали 150 мл скипидара и 75 мл 10 %-го раствора NaOH. Смесь перемешивали в течение 5 ч при кипячении (температура 95...110 °С). Далее ее отстаивали, сливали щелочной слой и промывали скипидар дистиллированной водой. После этого пробу отбирали и анализировали ее на содержание серы.

Ректификация. Для ректификации скипидара-сырца использовали классическую периодическую схему, работающую под вакуумом: куб-испаритель; ректификационная колонна; система конденсации; узел разделения потоков: флегма-отбор, вакуум-приемник; сборники фракций; вакуум-насосное обеспечение (не менее 0,9 кг/см²). В куб-испаритель загружали скипидар-сырец, очищенный 5 %-м раствором H_2O_2 , нагревали его до кипения (температура 155...165 °С). При появлении в верхней части колонны парожидкостного потока устанавливали режим работы колонны на минимальный отбор фракций в количестве около 8...10 % по объему (головная фракция), далее работу колонны переключали на отбор основной (пиненовой) фракции.

Определение содержания серы. Количественное содержание серы в исследуемых образцах определяли на автоматическом анализаторе Elementar Trace SN Cube (завод изготовитель: «Elementar Analysensysteme GmbH», Германия), оснащенный УФ-флуоресцентным детектором HORIBA AP5A-370, а также на газовом хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000» с пламенно-фотометрическим детектором.

Определение состава разогнанных дистиллятов. Состав определяли на газовом хроматографе «Хроматэк-Кристалл 4000», снабженным пламенно-ионизационным детектором, капиллярной колонкой с полиметилсилоксановой неподвижной фазой SE-30 (30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм). При определении скипидарных компонентов пробоподготовку и температурную программу нагрева колонки осуществляли по ASTM D6387 (50 °C × 5 мин; 5 °C/мин × 40 мин; 250 °C × 10 мин).

Результаты и их обсуждение

Многие методы очистки и дезодорации скипидара базируются на применении различных окисляющих агентов – оксидов азота, азотной кислоты, пероксида водорода, гипохлоритов и т. д. Применение этих реагентов имеет целью окислить присутствующие в скипидаре меркаптаны и сульфиды с переводом их в сульфокислоты и сульфоны [2].

В качестве реагентов использованы H₂O₂, хлорамин Б, (NH₄)₂S₂O₈ и NaOH и азот (N₂). Данный выбор обусловлен доступностью и относительной дешевизной реагентов.

Как видно из данных табл. 1, каждый из представленных химических реагентов практически в равной степени способен очистить сульфатный скипидар от сернистых соединений, снижая их содержание на порядок.

Таблица 1

Результаты очистки скипидара-сырца от серосодержащих компонентов

№ опыта	Реагент	Температура, °C	Время обработки, ч	Содержание серы, ppm
Исходный	–	–	–	20 000
1	H ₂ O ₂	90	2	2 800
2	Хлорамин Б	90	2	2 430
3	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈	90	3	2 300
4	NaOH	90	5	2 000
	NaOH + N ₂	90	5	900

Известный способ очистки сульфатного скипидара-сырца от сернистых соединений путем обработки его 15 %-м раствором хлорамина Б [8] (белый или слегка желтоватый кристаллический порошок, содержащий 25...29 % активного хлора) был опробован нами при очистке сульфатного скипидара-сырца Сегежского ЦБК. В результате обработки удалось снизить количество

серасодержащих компонентов до 2 430 ppm (опыт № 2), что на порядок меньше исходных значений. Однако использовать 15 %-й раствор хлорамина Б в заводских условиях нежелательно в связи с тем, что все хлорамины ароматического ряда в воде гидролизуются до амидов и хлорноватистой кислоты (HClO). В процессе обработки скипидара при температуре 90 °С происходит образование крупных кристаллов бледно-розового цвета – амида бензолсульфокислоты (C₆H₅SO₂NH₂), растворимых в ацетоне.

В качестве еще одного агента очистки скипидара-сырца от сернистых соединений был предложен сильный окислитель – (NH₄)₂S₂O₈ (опыт № 3). В результате удалось добиться снижения содержания серы до 2 300 ppm. Но и этот способ имеет свои недостатки: при обработке скипидара персульфатом аммония в колбе образуется черный маслянистый осадок (происходит осмоление). К тому же 5-ступенчатый процесс достаточно длителен и ресурсозатратен.

Одним из известных способов очистки скипидара-сырца от серасодержащих соединений является обработка щелочным раствором и карбонильным соединением (общая формула R-C(O)H, или R-C(O)R, где R-H – метил- (например, ацетон), этил-, пропил-, изо-бутил-) с последующей ректификацией. Очищенный этим способом скипидар содержит не более 0,02 масс. % (200 ppm) серы [6]. Однако сульфатный скипидар-сырец с содержанием серы более 1,00 % (10 000 ppm) данным способом можно очистить только на 40...50 %.

Обработка скипидара 10 %-м раствором NaOH при температуре 90 °С в течение 5 ч снизила содержание серы до 2 000 ppm. Полуочищенный скипидар подвергали дополнительной обработке новой порцией щелочного раствора с одновременной отдувкой N₂. В итоге удалось снизить содержание серы в образце скипидара с 20 000 до 900 ppm (опыт № 4). Однако при щелочной очистке образуются трудно утилизируемые сернисто-щелочные стоки.

Согласно полученным результатам, каждый из предложенных реагентов на порядок снижает содержание сернистых соединений в сульфатном скипидаре-сырце, причем наиболее рациональными и эффективными способами очистки являются обработки скипидара слабым раствором H₂O₂ или NaOH в атмосфере N₂. Однако этого не достаточно для того, чтобы получить скипидар, по качеству приближенный к требованиям Технических условий для очищенного сульфатного скипидара, согласно которым содержание серы в продукте должно быть не выше 500 ppm.

Во второй части работы проведена ректификация полуочищенного скипидара. Образец – скипидар, очищенный 5 %-м раствором H₂O₂. Его подвергали ректификации под вакуумом для дополнительной очистки от сернистых соединений.

Использование процесса ректификации предусмотрено из следующих соображений: получение конечного продукта с низким содержанием серасодержащих соединений и с высоким содержанием α-пинена.

Результаты, представленные в табл. 2, свидетельствуют, что ректификация полуочищенного скипидара позволила снизить концентрацию сернистых

соединений в 40 раз (до 70 ppm). Все полученные в ходе ректификации фракции и полуочищенный скипидар проанализированы для установления состава входящих в них компонентов соединений и содержания серы.

Таблица 2

Состав сульфатного скипидара-сырца после химической обработки и ректификации*

Компонент	Содержание компонента, % от массы фракций			
	после обработки 5 %-м H ₂ O ₂	после ректификации		
		Головная фракция	Основная фракция	Куб
Трициклен	0,2	0,6	0,2	–
α-Пинен	59,0	96,5	74,1	–
Камфен	1,3	1,0	1,5	–
β-Пинен	4,5	0,9	6,4	–
Мирцен	0,7	–	–	–
Δ ³ -Карен	17,8	0,4	14,8	30,7
α-Терпинен	0,3	–	0,1	1,0
Пара-цимол	0,3	–	0,1	0,4
1,8-Цинеол	1,0	–	0,3	4,1
Дипентен	3,6	0,02	1,0	12,0
γ-Терпинен	0,3	–	0,01	1,3
Терпинолен	1,9	–	0,01	8,5
Углеводороды	91,4	100	100	60,5
Спирты	–	–	–	40,7
Терпины	–	–	–	–
Содержание серы, ppm:	2 800	4 980	70	1 540

*Условия ректификации: температура паров – 90...105 °С; температура куба – 99...123 °С; давление – 100 мБар.

Из данных табл. 2 видно, что при ректификации происходит перераспределение сернистых соединений. Основная доля серасодержащих веществ концентрируется в головной фракции, которая имеет самую высокую концентрацию α-пинена (более 90 %), поэтому из-за высокого содержания сернистых соединений данная фракция не может быть использована в производстве продуктов на основе скипидара. Головную фракцию, обогащенную α-пиненом, можно направлять на повторную ректификацию для дополнительной очистки и получения пиненового концентрата.

Таким образом, в результате химической обработки 5%-м раствором H₂O₂ и последующей ректификации из сульфатного скипидара-сырца с содержанием серы 20 000 ppm можно получать основную пиненовую фракцию с выходом 80,5 % от сульфатного скипидара-сырца, содержащую 70 ppm серы.

Выводы

Проведена очистка сульфатного скипидара-сырца от серасодержащих компонентов с применением растворов пероксида водорода, бисульфита натрия, персульфата аммония, хлорамина Б и гидроксида натрия.

Установлено, что пероксид водорода является наиболее эффективным и приемлемым с точки зрения применения в производственных условиях очищающим агентом, который позволяет получать полуочищенный продукт с содержанием серы ~3000 ppm.

Применение ректификации способствует получению очищенного скипидара с содержанием серы 70 ppm, что соответствует требованиям Технических условий на сульфатный скипидар очищенный.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богомолов Б.Д., Сапотницкий С.А., Соколов О.М., Соколова А.А., Филиппов Б.С., Мариев А.Л., Тиранов П.Л., Третьяков С.И., Новожилов Е.В., Гельфанд Е.Д., Селянина Л.И., Борисов Г.В. Переработка сульфатного и сульфитного щелоков: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 360 с.
2. Богомолов Б.Д., Соколова А.А. Побочные продукты целлюлозно-бумажного производства. М.: Гослесбумиздат, 1962. 435 с.
3. Ильичев И.С., Радбиль А.Б., Шалашова А.А., Маврина Е.А., Козлов И.А., Игнатов А.В., Семеньева Л.Л. Глубокая очистка скипидара от сернистых соединений // Вестн. Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. 2014. № 1 (1). С.110–114.
4. Козлов А.И., Беспалов А.В., Грунский В.Н., Козлов И.А., Новоселов А.С., Долгинский Т.И. Очистка сульфатного скипидара от сероорганических соединений // Успехи в химии и химической технологии. 2009. Т. 23, № 2 (95). С. 71–74.
5. Рубцова С.А. Терпены и их производные сульфатного скипидара и камфорного масла: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Н. Новгород, 1996. 20 с.
6. Способ очистки высокосернистого сульфатного скипидара: пат. РФ 21264335. МПК С 09 F3/02 / Кучин А.В., Карманова Л.П., Попова Г.Н., Рубцова С.А., Толстикова Г.А. / Ин-т химии Коми НЦ РАН. Заявл. 28.04.1998. Опубл. 20.02.1999.
7. Способ очистки сульфатного пиненсодержащего продукта: пат. РФ 2099379. С 09 F3/02 / Злобин О.В., Пашин В.А., Падерин В.Я., Казаков В.К., Горюнова Т.Г., Смирнова Л.И., Горбунова Т.П., Андрушкевич С.И., Трошкин Е.С. / АО «Оргсинтез». Заявл. 17.06.1996. Опубл. 20.12.1997.
8. Способ очистки терпеновых углеводородов от серы: пат. РФ 2139845. МПК С 07 С 7/148 / Старостина Е.Б., Седелников А.И., Радбиль Б.А., Золин Б.А., Климанский В.И., Заикина Н.В. / Науч.-внедр. фирма «Лесма». Заявл. 25.03.1998. Опубл. 20.10.1999.
9. Фейгус Э.И., Матюнина Н.Н. Производство очищенного скипидара из одорированного скипидара-сырца в ПО «Усть-Илимский ЛПК» // Гидролизн. и лесохим. пром-сть. 1991. № 2. С. 28–30.
10. Isaacson W.B. *Hydrodesulphurization of Sulfate Turpentine*: Dr. Philosophy in Chem. Eng. Diss. Abs. Montana, 1963. 100 p.
11. Masten S., Haneke K. Turpentine (Turpentine Oil, Wood Turpentine, Sulfate Turpentine, Sulfite Turpentine). *Review of Toxicological Literature*. US, North Carolina, 2002. 88 p.

Поступила 10.12.15

UDC 547.599.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.177

The Raw Sulfate Turpentine Purification from Sulfur-Containing Compounds*

*E.S. Tyurmina*², *Candidate of Chemical Sciences*

*I.S. Il'ichev*¹, *Candidate of Chemical Sciences*

*A.B. Radbil'*¹, *Doctor of Engineering Sciences*

*L.L. Semenycheva*², *Doctor of Chemical Sciences*

*M.A. Lazarev*¹, *Candidate of Chemical Sciences*

*E.A. Mavrina*², *Postgraduate Student*

*A.A. Shalashova*², *Postgraduate Student*

¹Management company of the Biochemical holding "Orgkhim", Gagarina pr., 29d, Nizhny Novgorod, 603057, Russian Federation; e-mail: i.ilichev@orgkhim.com

²Research Institute of Chemistry, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Gagarina pr., 29d, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: e.tyurmina@orgkhim.com

The plant raw material is a unique renewable natural complex of organic compounds. The proper use of all components of plant raw material offers great opportunities for the chemical industry; so the problem of complex processing and rational use of wood chemical products is particularly relevant at this time. Sulfate turpentine is a by-product in the sulphate and pulp manufacturing. It stands out from the blowdown during the chips steaming and from the digester of the sulphate and pulp production. Raw sulfate turpentine is produced according to the technic specifications 13-0281078-55–89. Due to the sharp odor associated with the presence of the sulfur compounds, it is not used efficiently and needs to be cleaned. Significant amounts of sulphate and pulp production and the possibility of desulfurization of sulfate turpentine allow us to consider turpentine as a major source of terpene compounds. At present, the task is to achieve such a degree of purification from the sulfur-containing compounds as to improve the quality of sulphate turpentine up to comparable spirit of turpentine. The literature describes various methods for desulfurization: chemical, physical and physicochemical. Raw turpentine of various manufacturers has an uneven composition of the sulfur content and the main constituent (α -pinene). In this connection, the development of methods for purification of raw turpentine at a particular raw material for the solution of the problem of the high quality recycling products obtaining is relevant. During the raw turpentine purification from sulfur-containing components the solutions of the following oxidants were tested: hydrogen peroxide, ammonium persulphate, sodium hydroxide and others. Turpentine purified by chemicals was subjected to rectification. The samples of total sulfur content of 100 ppm were obtained.

Keywords: turpentine, terpene hydrocarbons, sulfur-containing compound, hydrogen peroxide.

*For citation: Tyurmina E.S., Il'ichev I.S., Radbil' A.B., Semenycheva L.L., Lazarev M.A., Mavrina E.A., Shalashova A.A. The Raw Sulfate Turpentine Purification from Sulfur-Containing Compounds. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1, pp. 177–185. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.177

REFERENCES

1. Bogomolov B.D., Sapotnitskiy S.A., Sokolov O.M., Sokolova A.A., Filippov B.S., Mariev A.L., Tiranov P.L., Tret'yakov S.I., Novozhilov E.V., Gel'fand E.D., Selyanina L.I., Borisov G.V. *Pererabotka sul'fatnogo i sul'fitnogo shchelokov: ucheb. dlya vuzov* [Processing of Sulfate and Sulfite Liquors]. Moscow, 1962. 435 p.
2. Bogomolov B.D., Sokolova A.A. *Pobochnye produkty tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva* [By-Products of the Pulp and Paper Production]. Moscow, 1962. 435 p.
3. Il'ichev I.S., Radbil' A.B., Shalashova A.A., Mavrina E.A., Kozlov I.A., Ignatov A.V., Semenycheva L.L. Glubokaya ochistka skipidara ot sernistykh soedineniy [Deep Turpentine Desulfurization]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo* [Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod], 2014, no. 1(1), pp. 110–114.
4. Kozlov A.I., Bepalov A.V., Grunskiy V.N., Kozlov I.A., Novoselov A.S., Dolinskiy T.I. Ochistka sul'fatnogo skipidara ot seroorganicheskikh soedineniy [Sulfate Turpentine Cleaning from Organic Sulfur Compounds]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Advances in Chemistry and Chemical Technology], 2009, vol. 23, no. 2(95), pp. 71–74.
5. Rubtsova S.A. *Terpeny i ikh proizvodnye sul'fatnogo skipidara i kamfornogo masla: avtoref. dis. ... kand. khim. nauk* [Terpenes and Their Sulfate Turpentine and Camphor Oil Derivatives: Cand. Chem. Sci. Diss. Abs.]. Nizhny Novgorod, 1996. 20 p.
6. Kuchin A.V., Karmanova L.P., Popova G.N., Rubtsova S.A., Tolstikov G.A. *Sposob ochistki vysokosernistogo sul'fatnogo skipidara* [A Purifying Method of Sour Sulfate Turpentine]. Patent RF, no. 21264335.
7. Zlobin O.V., Pashin V.A., Paderin V.Ya., Kazakov V.K., Goryunova T.G., Smirnova L.I., Gorbunova T.P., Andrushkevich S.I., Troshkin E.S. *Sposob ochistki sul'fatnogo pinensoderzhashchego produkta* [A Purifying Method of Sulfate Pinene-Containing Product]. Patent RF, no. 2099379, 1997.
8. Starostina E.B., Sedel'nikov A.I., Radbil' B.A., Zolin B.A., Klimanskiy V.I., Zaikina N.V. *Sposob ochistki terpenovykh uglevodorodov ot sery* [A Method of Terpene Hydrocarbons Desulfurization]. Patent RF, no. 2139845, 1998.
9. Feygus E.I., Matyunina N.N. Proizvodstvo ochishchennogo skipidara iz odorirovannogo skipidara-syrtsa v PO "Ust'-Ilimskiy LPK" [Production of Refined Turpentine from Odorized Raw Turpentine in the Production Enterprise "Ust'-Ilim Forest-Industry Complex"]. *Gidroliznaya i lesokhimicheskaya promyshlennost'*, 1991, no. 2, pp. 28–30.
10. Isaacson W.B. *Hydrodesulphurization of Sulfate Turpentine: Dr. Philosophy in Chem. Eng. Diss. Abs.* Montana, 1963. 100 p.
11. Masten S., Haneke K. Turpentine (Turpentine Oil, Wood Turpentine, Sulfate Turpentine, Sulfite Turpentine). *Review of Toxicological Literature*. US, North Carolina, 2002. 88 p.

Received on December 10, 2015

УДК 66.067.125:628.16
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.186

ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН С БИОПОЛИМЕРНЫМ СЛОЕМ*

О.С. Бровка¹, канд. хим. наук, доц., вед. науч. сотр.

И.А. Паламарчук¹, канд. хим. наук

Н.В. Сысоева², канд. техн. наук, доц.

Н.А. Вальчук¹, асп.

Т.А. Бойцова¹, канд. хим. наук

К.Г. Боголицын^{1,2}, д-р хим. наук, проф.

В.К. Дубовый², д-р техн. наук, проф.

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163000;
e-mail: valchuk.natalia@mail.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;
e-mail: k.bogolitsin@narfu.ru

На основе минеральных волокон и полиэлектролитного комплекса получены композиционные фильтрующие материалы. Для усиления удержания мембранного слоя на подложке и повышения ее гидрофобности в композицию введена модифицированная кремнийорганическая добавка, добавление которой позволяет получить поверхностный биополиэлектролитный слой в виде мембраны, не проникающий в глубь подложки. Полиэлектролитные комплексы альгинат–хитозан и лигносульфонат–хитозан готовили, смешивая в определенном объемном соотношении водные растворы анионных полиэлектролитов лигносульфоната или альгината и уксуснокислотные (концентрация кислоты – 2 %) растворы катионного полиэлектролита хитозана концентрацией 2,5 г/л. Образующиеся в ходе реакции интерполимерного комплексообразования комплексы-осадки отделяли центрифугированием и наносили на минеральную подложку валковым способом с последующей сушкой при постоянной влажности и комнатной температуре. Удержание полиэлектролитного комплекса в структуре композита при работе в различных, в том числе и агрессивных средах (рН 2–11), оценивали по количеству вымываемого из композитного материала анионного компонента в течение суток, эксплуатационные характеристики (эффективность фильтрации, фильтру-

*Исследования выполнены при финансовой поддержке ФАНО России в рамках проекта № 0410-2014-0029 «Физико-химические основы изучения основных закономерностей фундаментального цикла «строение–функциональная природа–свойства» природных матриц арктических экосистем» на оборудовании ЦКП КТ РФ «Арктика» (ИЭПС, ИФПА УрО РАН).

Для цитирования: Бровка О.С., Паламарчук И.А., Сысоева Н.В., Вальчук Н.А., Бойцова Т.А., Боголицын К.Г., Дубовый В.К. Фильтрующие материалы на основе минеральных волокон с биополимерным слоем // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 186–194. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.186

ющая способность) композиционных фильтрующих материалов – с применением модельной 1 %-й суспензии каолина, которую фильтровали через исследуемые композиции. Анализ результатов эксперимента показал, что полученные композиционные мембраны устойчивы к действию агрессивных сред в широком диапазоне pH и могут быть использованы для очистки различных сточных и природных вод. Установлено, что эффективность фильтрации и фильтрующая способность в значительной мере определяются типом и составом мембранных слоев. Для обоих комплексов максимальная эффективность и скорость фильтрации наблюдаются при нанесении на образцы минеральной подложки на основе микротонкого стеклянного волокна стехиометрического биополиэлектролитного комплекса эквимолярного состава. Разработанная композиция полученных фильтрующих материалов позволяет увеличить эффективность фильтрации на 15 %.

Ключевые слова: фильтрующие материалы, минеральные волокна, полиэлектролитный комплекс, хитозан, альгинат и лигносульфонат натрия.

Мембранные материалы на основе полиэлектролитных комплексов (ПЭК) различной природы характеризуются чрезвычайно высокой селективностью и используются для очистки различных сред от загрязнений и примесей, в том числе в процессах диализа и первапорации [1]. Эти материалы имеют различный композиционный состав, основным элементом которого является ПЭК, содержащий в своей структуре ионогенные функциональные группы, обеспечивающие благодаря ион-ионным и ион-дипольным взаимодействиям высокую селективность очистки от загрязнений различной природы. Для улучшения прочностных характеристик используют различные подложки, при этом материал подложки должен соответствовать ряду требований: экологическая безопасность, устойчивость к агрессивным средам, хорошее удержание мембранного слоя [6].

Цель настоящей работы – получение полифункционального композиционного материала на основе биополимерного комплекса и минерально-волокнуистой подложки.

Объекты и методика исследования

Для создания подложки использовали:

микротонкое штапельное стеклянное волокно (ОАО «Новгородский завод стекловолокна», ТУ 6-19-062-63–87), изготовленное из стеклошариков марки ШСЦ-20 (ТУ 21-23-92–76) способом раздува элементарных нитей потоком горячих газов. Диаметр волокна – 0,25 мкм, содержание неволокнуистых включений – не более 1 % [2];

сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (ГОСТ 3758–75); в качестве связующего применяли продукты гидролиза, осажденные при pH 7,5.

Для создания биополимерного слоя использовали:

лигносульфонат натрия – ЛС (ОАО «Группа «Илим» в г. Коряжме, ТУ 13-0281036-029–94), очищенный методом ультрафильтрации с использованием полупроницаемых полисульфоновых мембран ПС-70; молекулярная масса ЛС, определенная методом гель-проникающей хроматографии (ГПХ) на

колонке с гелем Молселект М-75 (элюент: буферный раствор с рН 6,2 состава 1М NaCl + 0,0546М Na₂PO₄ + 0,018М NaOH), составила 24 кДа;

альгинат натрия пищевой – АЛ (ОАО «Архангельский опытный водорослевый комбинат»); молекулярная масса АЛ, определенная методом ГПХ (элюент: 0,153 М NaCl), составила 70 кДа;

хитозан – ХТ (ТУ 9289-002-11418234–99), выделенный из панциря дальневосточного краба на ЗАО «Биопрогресс» (Московская область) и протонированный в 2%-й уксусной кислоте; молекулярная масса ХТ, определенная вискозиметрическим методом с расчетом по уравнению Марка–Куна–Хаувинка, составила 87 кДа, степень деацетилирования, определенная методом кондуктометрического титрования [4], – 85 %.

ПЭК альгинат–хитозан (АЛ–ХТ) и лигносульфонат–хитозан (ЛС–ХТ) получали, смешивая в определенном объемном соотношении водные растворы анионных полиэлектролитов ЛС или АЛ и уксуснокислотные (концентрация кислоты 2 %) растворы катионного полиэлектролита ХТ концентрацией 2,5 г/л. Эквивалентный состав реакционной смеси (Z , моль/моль) рассчитывали по формуле

$$Z = \frac{C_{ХТ}^{СМ}}{C_{ЛС(АЛ)}^{СМ}}, \quad (1)$$

где $C^{СМ}$ – мольная концентрация компонента в смеси, рассчитанная с учетом условного грамм-эквивалента полиэлектролита [5].

Образующиеся в ходе реакции интерполимерного комплексобразования комплексы-осадки отделяли центрифугированием и наносили на поверхность подложки валковым способом.

Удержание ПЭК в структуре композита при работе в различных, в том числе и агрессивных средах (рН 2–11), оценивали по количеству вымываемого из композитного материала анионного компонента ПЭК в течение суток. Образец материала выдерживали в растворах с заданным значением рН, периодически отбирая пробы для спектрального анализа. Концентрацию ЛС (АЛ) в растворе определяли спектральным методом на UV-1800 («Shimadzu», Япония) с расчетом по калибровочному уравнению зависимости оптической плотности от концентрации анионного компонента ПЭК в ультрафиолетовой (видимой) области спектра при длине волны 270 (800) нм. Концентрацию (массу) анионного компонента определяли с учетом холостого опыта, который проводили, помещая образец подложки без ПЭК в соответствующий раствор. При этом было установлено, что доля вымываемых из подложки минеральных компонентов не превышает 2 %. Долю ПЭК (D , %), вымываемого из композитного материала, рассчитывали по уравнению

$$D = \frac{m^P}{m^П} 100 \%, \quad (2)$$

где m^P и $m^П$ – соответственно масса анионного компонента ПЭК, перешедшего в раствор и нанесенного на подложку, г.

Прочность и жесткость при растяжении подложки и композитной мембраны определяли по ГОСТ ИСО 1924-1-96. Эксплуатационные характеристики (эффективность фильтрации, фильтрующая способность) оценивали с применением модельной 1 %-й суспензии каолина, которую фильтровали через исследуемые композиционные материалы. Эффективность фильтрации по взвешенным веществам оценивали по показателю мутности, который определяли по ГОСТ 3351-74 фотометрическим методом на UV-1800 («Shimadzu», Япония) по коэффициенту пропускания фильтрата (T , %) при длине волны $\lambda = 530$ нм. Фильтрующую способность оценивали по ГОСТ 7584-89 по продолжительности (τ) фильтрования 25 мл суспензии каолина через исследуемый материал.

Обсуждение результатов

Композиция подложки, на которую нанесен ПЭК, состоит из микротонкого стеклянного волокна номинальным диаметром 0,25 мкм и связующего ($Al_2(SO_4)_3$, расход 20 %). Масса 1 м² подложки – 100 г. Для усиления удержания мембранного слоя на подложке и повышения ее гидрофобности в композицию вводили модифицированную кремнийорганическую добавку, что позволяет получать на подложке поверхностный биополиэлектролитный слой в виде мембраны. При этом слой не проникает в глубь подложки и не разрушает ее структуру, как это имеет место при использовании подложки без добавки. Толщина наносимого полимерного слоя варьируется в зависимости от технологии нанесения и свойств комплекса.

Процесс формирования композиционной мембраны сопровождается взаимодействием дисперсии ПЭК с твердой поверхностью подложки и оказывает влияние на структуру и свойства фильтрующего материала. Таким образом, структура композитной мембраны, а следовательно, и ее функциональные характеристики определяются в первую очередь сродством между ПЭК и подложкой. Адгезионные силы сцепления, возникающие при взаимодействии ПЭК ЛС-ХТ (АЛ-ХТ) с твердой поверхностью, обусловлены развитой сеткой водородных связей, которые образуются с участием соответствующих функциональных групп, присутствующих в структуре ПЭК и минеральной подложки из микротонкого стеклянного волокна.

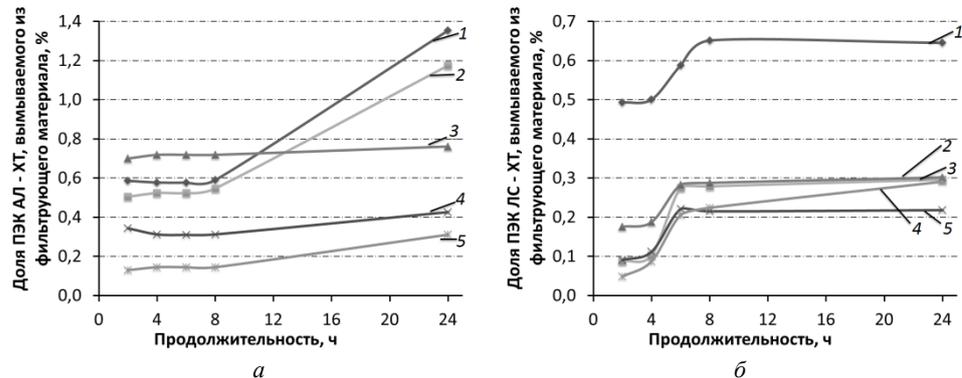
Формирующиеся на поверхности подложки пленкообразные мембраны ПЭК не способны сопротивляться растягивающим нагрузкам, что подтверждается снижением способности к удлинению и прочности композитных мембран с ПЭК ЛС-ХТ (АЛ-ХТ) по сравнению с подложкой без комплекса (табл. 1). При этом высокие значения жесткости и модуля упругости сохраняются при нанесении ПЭК АЛ-ХТ на подложку, что, безусловно, связано с его гелеобразной структурой, тогда как в результате приложения растягивающих нагрузок к композиту с ПЭК ЛС-ХТ наблюдается хрупкое разрушение образца с характерным растрескиванием поверхности мембранного слоя.

Таблица 1

Влияния типа ПЭК на прочность композита

Показатель	Значение показателя		
	для подложки	для композита с ПЭК	
		ЛС–ХТ	АЛ–ХТ
Предел прочности, МПа	1,82	0,46	0,53
Способность к удлинению, %	0,93	0,56	0,74
Жесткость при растяжении, кН/м	150	41,4	153
Модуль упругости, МПа	253	43,0	152
Характер разрушения	Вязко-пластичное	Хрупкое	Вязко-пластичное

Устойчивость фильтровальных материалов к агрессивным средам является важной характеристикой, которая во многом определяет направления их использования. Исследование устойчивости композита в агрессивных средах показало, что наибольшее вымывание ПЭК из фильтрующего материала (см. рисунок) происходит в сильно щелочной среде (рН 11). Для ПЭК АЛ–ХТ это составляет 1,4 %, что в 2 раза больше, чем для комплекса ЛС–ХТ. В кислой среде вымывание обоих ПЭК из фильтрующего материала не превышает 0,4 %.



Динамика вымывания ПЭК АЛ–ХТ (а) и ЛС–ХТ (б) из образцов фильтрующего материала в зависимости от рН среды: 1 – 11; 2 – 8; 3 – 6; 4 – 4; 5 – 2

Тот факт, что удержание ПЭК на подложке в щелочной среде ухудшается, соответствует представлениям об особенностях интерполимерного комплексообразования в исследуемых полимерных системах. Так, ПЭК ЛС–ХТ устойчив в области рН 2,0–4,5, при переходе в щелочную область происходит его частичное разрушение [3]. Кроме того, известно, что стеклянные волокна также менее устойчивы к действию щелочей. Анализ результатов эксперимента показал высокую устойчивость композиционных мембран к действию агрессивных сред в широком диапазоне рН и возможность их использования для очистки различных сточных, а также природных вод.

Немаловажную роль при создании композиционного фильтрующего материала играет подбор оптимального соотношения полимеров при синтезе ПЭК мембранного слоя. Зависимость эксплуатационных характеристик композита от состава ПЭК представлена в табл. 2.

Таблица 2

Влияние состава ПЭК на эксплуатационные характеристики композита

№ образца	Эквимолярный состав Z, моль/моль		Эффективность фильтрации T, %			Продолжительность фильтрации τ		
	АЛ-ХТ	ЛС-ХТ	АЛ-ХТ	ЛС-ХТ	Подложка без комплекса	АЛ-ХТ, мин	Подложка без комплекса	
							с	
1	0,91	0,89	25	83	82	5	56	32
2	0,97	0,98	4	97	82	5	58	32
3	1,03	1,07	95	89	82	8	54	32
4	1,10	1,16	94	87	82	63	49	32
5	1,14	–	1	–	82	1	–	32

Установлено, что наиболее высокая эффективность фильтрации ($T = 95\%$) наблюдается у образца с ПЭК АЛ-ХТ эквимолярного состава ($Z=1,0$), что на 9 % выше, чем для исходного образца подложки без полимерного слоя. По фильтрующей способности для данного композиционного материала также получен оптимальный результат, который составил 8 мин. Достаточно высокая эффективность фильтрации ($T = 94\%$) отмечена и для образца с ПЭК состава, близкого к эквимолярному ($Z = 1,1$), однако по фильтрующей способности данный образец показал худший результат, что связано с особенностями молекулярной организации поликомплексов различных составов [3]. С изменением состава ПЭК АЛ-ХТ от эквимолярного в большую или меньшую сторону фильтрующая способность и эффективность фильтрации значительно снижаются, что также обусловлено особенностями пленкообразования данного комплекса.

Ранее нами установлено, что при $0,1 < Z < 1,0$ в системе АЛ-ХТ осадок формируется в виде геля и образуется внешний водный раствор, содержащий неорганические противоионы (коллапс геля). При $Z > 1,0$ в системе формируется сплошная гелеобразная структура (система с незавершенным разделением), действующая по принципу структурно-механического барьера [3].

После высыхания нанесенный на подложку ПЭК (неэквимолярного состава) сжимается, и на поверхности полимерного слоя могут образовываться трещины, разрушающие целостность минеральной подложки, что ухудшает эксплуатационные характеристики композиционного материала (образец № 5 с ПЭК АЛ-ХТ, табл. 2).

Для подложек с нанесенным ПЭК ЛС-ХТ максимальная эффективность фильтрации наблюдается также для образца с ПЭК эквимолярного состава

($Z = 1,0$), для которого коэффициент пропускания фильтрата ($T = 97\%$) на 15 % выше, чем для исходного образца подложки без нанесенного комплекса. Фильтрующая способность для всех образцов с ПЭК ЛС–ХТ незначительно превышает фильтрующую способность подложки без комплекса.

Следовательно, эффективность фильтрации и фильтрующая способность в значительной мере определяются типом и составом мембранных слоев. Максимальная эффективность и скорость фильтрации отмечены для композитов с нанесенным ПЭК эквимольного состава.

По эффективности фильтрации фильтрующие материалы как с ПЭК АЛ–ХТ, так и с ЛС–ХТ показали близкий результат (97 и 95 % соответственно), однако фильтрующая способность для материала с полимерным слоем на основе ПЭК АЛ–ХТ в 8 раз ниже, чем для комплекса ЛС–ХТ, что обусловлено особенностями комплексообразования данных полимеров. ПЭК ЛС–ХТ эквимольного состава формируется в виде гидрофобных сферических частиц и представляет собой пасту, в то время как ПЭК АЛ–ХТ имеет гелеобразную структуру и образует на поверхности подложки пленку, что затрудняет фильтрацию.

Разрабатываемые мембраны по степени очистки и размеру удаляемых частиц можно отнести к ультра- или микрофильтрационным, т. е. сегменты возможного применения разрабатываемых мембранных фильтров не ограничиваются только очисткой сточных вод.

Таким образом, установлено, что нанесение полиэлектролитных комплексов на минеральную подложку позволяет увеличить эффективность фильтрации для получаемого композита. Нанесение биополимерного слоя при эквимольном соотношении компонентов повышает эффективность фильтрации по взвешенным веществам до 15 %. Полученные новые фильтрующие материалы обладают высокой устойчивостью по отношению к агрессивным средам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бровко О.С., Казаков Я.В., Бойцова Т.А., Паламарчук И.А., Тормосина Д.А., Боголицын К.Г. Влияние состава композиции и молекулярных масс лигносульфонатов и хитозана на деформационно-прочностные свойства полимерных пленок на их основе // Лесн. журн. 2013. № 6. С. 120–128. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Маты марки М20-МТВ-0,25. Режим доступа: <http://nzsv.ru/katalog/maty-marki-m20-mtv-0-25.html>. Новгородский завод стекловолокна.
3. Brovko O.S., Palamarchuk I.A., Boitsova T.A., Bogolitsyn K.G., Val'chuk N.A., Chukhchin D.G. Influence of the Conformation of Biopolyelectrolytes on the Morphological Structure of their Interpolymer Complexes. *Macromolecular Research*, 2015, vol. 23, iss. 11, pp. 1059–1067. doi:10.1007/s13233-015-3140-z
4. Pogodina N.V., Pavlov G.M., Bushin S.V., Mel'nikov A.B., Lysenko Ye.B., Nudga L., Marsheva V.N., Marchenko G.N., Tsvetkov V.N. Conformational Characteristics of Chitosan Molecules as Demonstrated by Diffusion-Sedimentation Analysis and Viscometry. *Polymer Science U.S.S.R.*, 1986, vol. 28(2), pp. 251–259.

5. Raymond L., Morin F.G., Marchessault R.H. Degree of Deacetylation of Chitosan Using Conductometric Titration and Solid-State NMR. *Carbohydr. Res.*, 1993, vol. 246, pp. 331–336.

6. Wang J., Zhou X., Ma J. Preparation and Characteristics of a Paper-Based Ultra-filtration Membrane. *Bioresource Technology*, 2012, vol. 7(1), pp. 545–553.

Поступила 09.02.16

UDC 66.067.125:628.16

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.186

Filter Materials Based on Mineral Fibers with Biopolymer Layer

*O.S. Brovko*¹, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Senior Research Scientist

*I.A. Palamarchuk*¹, Candidate of Chemical Sciences

*N.V. Sysoeva*², Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

*N.A. Val'chuk*¹, Postgraduate Student

*T.A. Boytsova*¹, Candidate of Chemical Sciences

K.G. Bogolitsyn^{1,2}, Doctor of Chemical Sciences, Professor

*V.K. Dubovyy*², Doctor of Engineering Sciences, Professor

¹ Federal Center for Intergrated Arctic Research, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: valchuk.natalia@mail.ru

² Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: k.bogolitsin@narfu.ru

The composite filter materials based on the mineral fibers and the polyelectrolyte complex were obtained. The modified organosilicone additive was introduced into the composition to enhance the retention of the membrane layer on the substrate and its hydrophobicity. This allowed us to obtain the surface biopolyelectrolyte layer in the form of membrane, which did not penetrate deep into the substrate. The alginate–chitosan and lignosulphonate–chitosan polyelectrolyte complexes were prepared by mixing in a certain volume ratio of aqueous solutions of anionic polyelectrolytes of lignosulphate or alginate and the acetic acid (the acid concentration is 2 %) solutions of cationic chitosan polyelectrolyte with the concentration of 2.5 g/l. The complexes-sediments formed during the interpolymer complexing reaction were separated by centrifugation and were applied to a mineral substrate by the roller method with the subsequent drying process at constant humidity and room temperature. The PEC retention in the composite structure during operation in different, including excited environments (pH 2–11) was evaluated by the quantity of anionic component eluted from the composite material within 24 hours. Performance characteristics (filtration efficiency, filtering capacity) of composite filtering materials were assessed using the model 1 % kaolin suspension, filtered through the composites. The obtained composite membranes are resistant to aggressive environments in a wide pH range and can be used for wastewater

For citation: Brovko O.S., Palamarchuk I.A., Sysoeva N.V., Val'chuk N.A., Boytsova T.A., Bogolitsyn K.G., Dubovyy V.K. Filter Materials Based on Mineral Fibers with Biopolymer Layer. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 1, pp. 186–194

and natural water purification. The filtration efficiency and filtering capacity to a large extent are determined by the type and composition of the membrane layers. Maximum efficiency and filtration rate are observed at the equimolar composition applying on the mineral substrate samples based on microfine glass fiber of the stoichiometrical biopolyelectrolyte complex. The developed composition of obtained filter materials increases the filtration efficiency by 15 %.

Keywords: filter material, mineral fiber, polyelectrolyte complex, chitosan, sodium alginate, sodium lignosulfonate.

REFERENCES

1. Brovko O.S., Kazakov Ya.V., Boytsova T.A., Palamarchuk I.A., Tormosina D.A., Bogolitsyn K.G. Vliyanie sostava kompozitsii i molekulyarnykh mass lignosul'fonatov i khitozana na deformatsionno-prochnostnye svoystva polimernykh plenok na ikh osnove [Effect of the Composition and Molecular Weight of Lignosulfonates and Chitosan on the Physical and Mechanical Properties of Polymer Films on their Basis]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 6, pp. 120–128.
2. *Maty marki M20-MTV-0,25* [Mats of the Brand of M20-MTB-0,25]. Available at: <http://nzsv.ru/katalog/maty-marki-m20-mtv-0-25.html>.
3. Brovko O.S., Palamarchuk I.A., Boitsova T.A., Bogolitsyn K.G., Val'chuk N.A., Chukhchin D.G. Influence of the Conformation of Biopolyelectrolytes on the Morphological Structure of their Interpolymer Complexes. *Macromolecular Research*, 2015, vol. 23, iss. 11, pp. 1059–1067. doi:10.1007/s13233-015-3140-z
4. Pogodina N.V., Pavlov G.M., Bushin S.V., Mel'nikov A.B., Lysenko Ye.B., Nudga L., Marsheva V.N., Marchenko G.N., Tsvetkov V.N. Conformational Characteristics of Chitosan Molecules as Demonstrated by Diffusion-Sedimentation Analysis and Viscometry. *Polymer Science U.S.S.R.*, 1986, vol. 28(2), pp. 251–259.
5. Raymond L., Morin F.G., Marchessault R.H. Degree of Deacetylation of Chitosan Using Conductometric Titration and Solid-State NMR. *Carbohydr. Res.*, 1993, vol. 246, pp. 331–336.
6. Wang J., Zhou X., Ma J. Preparation and Characteristics of a Paper-Based Ultra-filtration Membrane. *Bioresource Technology*, 2012, vol. 7(1), pp. 545–553.

Received on February 09, 2016

«Лесной журнал» публикует научные статьи по всем отраслям лесного дела, сообщения о внедрении законченных исследований в производство, о передовом опыте в лесном хозяйстве и лесной промышленности, информацию о научной жизни высших учебных заведений, рекламные материалы и объявления. Предназначается для научных работников, аспирантов, инженеров лесного хозяйства и лесной промышленности, преподавателей и студентов.

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 1/355

Подписной индекс: 70368, 93510

Выпускающий редактор И.В. Кузнецова, редактор Л.С. Окулова
Компьютерная верстка О.В. Деревцовой, Е.Б. Красновой
Перевод Е.Г. Кузнецовой

Сдан в набор 02.12.2016. Подписан в печать 24.01.2017. Заказ № 5027
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 16,672.
Уч.-изд. л. 11,579. Тираж 1000 экз.
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,
тел./факс: +7 (818-2) 28-76-18,
e-mail: forest@narfu.ru, <http://lesnoizhurnal.ru/>

Свидетельство о регистрации средств массовой информации ПИ № ФС77-68484 от 27.01.2017.

Издательский дом им. В.Н. Булатова САФУ
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, 56

© ИВУЗ, «Лесной журнал», 2017

“Lesnoi Zhurnal” publishes scientific articles covering all areas of forestry, updates its readers on the use of completed research in production and on the best practice in forest industry and management. On its pages you can also find information about scientific activities at higher educational institutions, as well as advertisements and announcements. The journal is intended for scientists, PhD students, forestry engineers, university and college faculty, and students.

BULLETIN OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS
“LESNOY ZHURNAL” no. 1/355

Subscription index: 70368, 93510

Executive editor I.V. Kuznetsova, editor L.S. Okulova
Make-up by O.V. Derevtsova, E.B. Krasnova
Translator E.G. Kuznetsova

Sent to the printer's 02.12.2016. Signed in print 24.01.2017. Order no. 5027
Paper format 70×108 1/16. Times Font. Conv. printer's sh. 16.672.
Acad. publ. sh. 11.579. Circulation 1000 copies.
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Contacts: 17 Naberezhnaya Severnoy Dviny, Akhangelsk, 163002, Russia,
phone/fax +7 (8182) 28-76-18,
e-mail: forest@narfu.ru, <http://lesnoizhurnal.ru/>

Registration certificate ПИ № ФС77-68484 issued on 27.01.2017.

NArFU Publishing House under name of V.N. Bulatov
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov”
56 Uritskogo St., Arkhangelsk, 163060



© IVUZ, “Lesnoy Zhurnal”, 2017

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«Лесной журнал»

СЕНТЯБРЬ 5–7 КРАСНОЯРСК
SEPTEMBER KRASNOYARSK

ВЕДУЩИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ ПО ДЕРЕВООБРАБОТКЕ В РОССИИ!



ХIХ МЕЖДУНАРОДНАЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

**ExpoDrev
Russia 17**
KRASNOYARSK
INTERNATIONAL SPECIALIZED EXHIBITION

ИТОГИ
ВЫСТАВКИ 2016:

Площадь экспозиции: **6850** кв. м.
Количество экспонентов: **111**, из них **28** зарубежных компаний.
География экспонентов: **14** стран и **19** регионов России.

- ОБОРУДОВАНИЕ
- ТЕХНОЛОГИИ
- ИНСТРУМЕНТ
- ОСНАСТКА
ДЛЯ ДЕРЕВООБРАБОТКИ,
ЛЕСОЗАГОТОВКИ,
МЕБЕЛЬНЫХ
ПРОИЗВОДСТВ

0+

МВДЦ «Сибирь»
г. Красноярск, ул. Авиаторов, 19
тел.: (391) 22-88-561, 22-88-611
expodrev@krasfair.ru



Организатор:



Официальные партнеры:



Государственный информационный партнер:



Подписка на II полугодие 2017 г.
на «Лесной журнал» принимается по каталогам
Агентства «Роспечать» «Газеты. Журналы»(индекс 70368),
«Пресса России»,
серия «Известия высших учебных заведений»(индекс 93510).

Адрес редакции: 163002, Россия,
г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17.
Тел./факс: (818-2) 28-76-18
E-mail: forest@narfu.ru

ISSN 0536 – 1036
DOI:10.17238/issn0536-1036
Изв. вузов. Лесной журнал, № 1, 1 – 194