

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Научный журнал

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

6/354

2016

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

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

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

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

BULLETIN
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Lesnoy Zhurnal
(Forestry journal)

Scientific journal

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

6/354

2016

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

EDITORIAL STAFF:

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL STAFF:

Besschetnov V.P., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Nizhny Novgorod)
Bogdanovich N.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Van Heiningen A., PhD, Prof. (USA, Orono)
Voronin A.V., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Petrozavodsk)
Kamusin A.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Kishchenko I.T., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Petrozavodsk)
Kozhukhov N.I., Doctor of Economics, Prof., Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)
Kurov V.S., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Malygin V.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Severodvinsk)
Matveeva R.N., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Krasnoyarsk)
Merzlenko M.D., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Moscow)
Moiseev N.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)
Niemz P., PhD, Prof. (Switzerland, Zürich)
Oblivin A.N., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Onegin V.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Pamfilov E.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Bryansk)
Romanov E.M., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Saksa T., Doctor of Agriculture, Senior Researcher (Finland, Helsinki)
Sanaev V.G., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Selikhovkin A.V., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Sergeevichev V.V., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Sørensen O.J., PhD, Prof. (Norway, Steinkjer)
Sigurðsson B.D., PhD, Prof. (Iceland, Hvanneyri)
Tarakanov A.M., Doctor of Agriculture, Chief Research Scientist (Russia, Arkhangelsk)
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>Н.А. Моисеев.</i> Финансовый кризис в лесном хозяйстве и пути выхода из него....	9
<i>Г.А. Иванова, С.В. Жила, Е.А. Кукавская, В.А. Иванов.</i> Постпирогенная трансформация фитомассы древостоя в насаждениях Нижнего Приангарья.....	17
<i>К.Г. Боголицын, М.В. Сурсо, М.А. Гусакова, И.Н. Зубов.</i> Влияние стрессовых воздействий на компонентный состав и строение древесины можжевельника	33
<i>А.И. Соколов, А.Н. Пеккоев, В.А. Харитонов.</i> Влияние многолетнего применения минеральных удобрений на рост сосны в толщину в посевах на паловых вырубках с песчаными почвами. I. Последствие 30-летнего ежегодного применения калийных удобрений на рост сосны в толщину и качество древесины.....	42
<i>Н.А. Дружинин, Ф.Н. Дружинин, С.Е. Грибов.</i> Влияние выборочных форм рубок на качественные показатели древесины подпологовой ели.....	56
<i>В.П. Иванов, А.В. Ерохин, Т.Г. Колосова.</i> Анализ естественного лесовозобновления на основе парцеллярной структуры в сосново-еловых насаждениях после выборочных санитарных рубок.....	65
<i>Ф.Э. Гулиева.</i> Исследование взаимосвязи степеней разнообразия земляного покрова и литологии и влияния антропогенного фактора на лесной покров в горной местности.....	76
<i>В.А. Брынцев, А.А. Коженкова.</i> Географическая изменчивость сосны кедровой сибирской (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour) при интродукции.....	89

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>К.Л. Михайлов, В.А. Гуцин, А.М. Тараканов.</i> Организация сбора и переработки лесосечных отходов и дров на лесосеке.....	98
<i>Ю.В. Максимук, В.С. Крук, З.А. Антонова, Д.А. Понамареv, А.В. Сушкова.</i> Расчет теплоты сгорания древесного топлива по элементному составу.....	110

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>А.М. Буглаев, М.П. Бокачева, В.В. Сиваков.</i> Станки для обработки круглых сортиментов.....	122
---	-----

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>С. Бакиев, Э. Байко, Н.В. Черная, В.Л. Флейшер.</i> Альтернативный способ получения сосновой живицы методом сверхкритической экстракции диоксидом углерода.....	130
--	-----

<i>С.В. Гаврилов, А.В. Канарский, Е.В. Скворцов, Ю.В. Севастьянова.</i> Ферментативная активность мицелиального гриба <i>Trichoderma reesei</i> M18 при культивировании на питательной среде из целлюлигина торфа.....	142
<i>К.С. Болотова, Д.Г. Чухчин, Л.В. Майер, А.А. Гурьянова.</i> Морфологические особенности фибриллярной структуры растительной и бактериальной целлюлозы.....	153
<i>В.П. Сиваков, А.П. Панычев, И.А. Партин, И.К. Кашипов.</i> Мощность привода насоса загрузочной циркуляции варочного котла, расходуемая на деформацию суспензии в питателе.....	166

ЮБИЛЕИ

<i>В.И. Мелехов, В.В. Быков, П.Г. Пыриков.</i> Юбилей профессора Евгения Анатольевича Памфилова.....	175
--	-----

НЕКРОЛОГИ

<i>М.Н. Неруш.</i> Памяти Евгения Сергеевича Мурахтанова.....	178
Указатель статей, помещенных в «Лесном журнале» в 2016 г.	180



CONTENTS

FORESTRY

<i>N.A. Moiseev.</i> Financial Crisis in Forestry and Its Measures.....	9
<i>G.A. Ivanova, S.V. Zhila, E.A. Kukavskaya, V.A. Ivanov.</i> The Post-Fire Transformation of Forest Stand Phytomass in Plantations of the Lower Angara Region.....	17
<i>K.G. Bogolitsyn, M.V. Surso, M.A. Gusakova, I.N. Zubov.</i> The Influence of Stresses on the Component Composition and Structure of Juniper Wood.....	33
<i>A.I. Sokolov, A.N. Pekkoev, V.A. Kharitonov.</i> The Effect of Long-Term Mineral Fertilizers Treatment on the Pine Diameter Growth at Plantings in the Burnt Clear-Cuts with Sandy Soils. I. The Consequence of the 30-Year Annual Treatment of Potash Fertilizers on the Pine Diameter Growth and Wood Quality.....	42
<i>N.A. Druzhinin, F.N. Druzhinin, S.E. Gribov.</i> The Influence of Selective Cutting on the Wood Quality Indicators of Understory Spruce.....	56
<i>V.P. Ivanov, A.V. Erokhin, T.G. Kolosova.</i> Analysis of Natural Reforestation on the Basis of Parcel Structure in Pine and Spruce Forests After Selective Sanitary Felling	65
<i>F.E. Gulieva.</i> Interrelation of Diversity Levels of Land Cover and Lithology and the Anthropogenic Impact on Canopy Cover in the Mountainous Area.....	76
<i>V.A. Bryntsev, A.A. Kozhenkova.</i> Geographic Variability of Siberian Stone Pine (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour) at the Introduction.....	89

WOOD EXPLOITATION

<i>K.L. Mikhaylov, V.A. Gushchin, A.M. Tarakanov.</i> Collection and Processing of Logging Residual and Firewood in a Felling Area.....	98
<i>Yu.V. Maksimuk, V.S. Kruk, Z.A. Antonova, D.A. Ponomarev, A.V. Sushkova.</i> Calculation of the Heating Value of Wood Fuel from the Elemental Composition.....	110

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

<i>A.M. Buglaev, M.P. Bokacheva, V.V. Sivakov.</i> The Roundwood Assortment Machines	122
--	-----

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>S. Bakier, E. Bayko, N.V. Chernaya, V.L. Fleysher.</i> Alternative Method for the Pine Turpentine Production by Supercritical Carbon Dioxide Extraction.....	130
<i>S.V. Gavrilov, A.V. Kanarskiy, E.V. Skvortsov, Yu.V. Sevast'yanova.</i> Enzymatic Activity of Filamentous Fungus <i>Trichoderma reesei</i> M18 in Culture in the Nutrient Solution Based on Peat Lignocellulose.....	142

<i>K.S. Bolotova, D.G. Chukhchin, L.V. Mayer, A.A. Gur'yanova. Morphological Features of the Fibrillar Structure of Plant and Bacterial Cellulose.....</i>	153
<i>V.P. Sivakov, A.P. Panychev, I.A. Partin, I.K. Kashapov. Driving Power of the Digester Load Circulation Pump for the Slurry Deformation in a Feeder.....</i>	166
<i>JUBILEES</i>	
<i>V.I. Melekhov, B.B. Bykov, P.G. Pyrikov. The Anniversary of Professor Evgeniy A. Pamfilov.....</i>	175
<i>OBITUARIES</i>	
<i>M.N. Nerush. In Memory of Evgeniy S. Murakhtanov.....</i>	178
<i>Index of Articles Issued by “Lesnoi Zhurnal” in 2016.....</i>	180



ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*61

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.9

ФИНАНСОВЫЙ КРИЗИС В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ПУТИ ВЫХОДА ИЗ НЕГО

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

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

В статье приведены краткий анализ финансового кризиса в лесном хозяйстве и предложения по выходу из него. Общей причиной названного кризиса явилось то обстоятельство, что в управлении лесным хозяйством до сих пор не организован переход к устойчивому развитию с учетом требований рыночной экономики, в условиях которой политика ценообразования на ресурсы и услуги леса должна определяться соотношением спроса и предложения на них, а доходы должны покрывать затраты, чтобы обеспечивать безубыточную деятельность. Однако действующие платежи за древесину на корню под видом арендной платы не имеют никакой связи с рыночными ценами, по сути они определяются административным путем, что приводит к недопустимо заниженному лесному доходу, который даже и на треть не обеспечивает простое воспроизводство используемых ресурсов. Для нормализации положения дел с финансированием лесного хозяйства требуется прежде всего перейти к отпуску леса по рыночным ценам с учетом рентообразующих факторов; формируемый при этом лесной доход следует распределить по финансовым потокам, так чтобы он обеспечил баланс экономических интересов всех взаимосвязанных субъектов лесных отношений. Необходимо, чтобы та часть лесного дохода, которая должна обеспечивать воспроизводство используемых ресурсов, оставалась на счетах тех субъектов, на которых возложены обязанности ведения лесного хозяйства. Сам институт «субвенций» не выполняет своей роли при решении главной задачи организации устойчивого и эффективного лесного хозяйства и лесопользования.

Ключевые слова: субвенции, лесной доход, устойчивое управление лесами и ведение лесного хозяйства.

Для цитирования: Моисеев Н.А. Финансовый кризис в лесном хозяйстве и пути выхода из него // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 9–16. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.9

Общей причиной всех бед в лесном хозяйстве, в том числе экономического и финансового кризиса в этой отрасли, явился принятый в декабре 2006 г. и ныне действующий «Лесной кодекс РФ» [4], который лишь усилил дисбаланс в экономических и иных лесных отношениях между основными его субъектами. Об этом мы уже писали в недавно опубликованной в «Лесной газете» статье «Кризис в управлении и пользовании лесами и возможные пути выхода из него» [5].

Как известно, первой статьей этого кодекса провозглашается требование организации устойчивого управления и пользования лесами. Однако все последующее содержание кодекса не только не обеспечивает, но и противоречит этому требованию. Выполнение его означает не только не истощительное использование лесных ресурсов, но и безусловное обеспечение их полноценного воспроизводства и увеличение их потенциала для сохранения и последующего лесопользования с гарантией адекватного и необходимого для этого объема финансирования лесного хозяйства. Последнее предполагает необходимые затраты на соответствующие региональные системы лесохозяйственных мероприятий, включая меры по возобновлению леса, уходу за формирующимися молодняками, охране лесов от лесонарушений, пожаров, вредителей, болезней и иные меры, которые способствуют экологической устойчивости формируемых лесов и сохранению биоразнообразия.

Главным источником для финансирования названных затрат должен быть лесной доход, основными статьями образования которого в условиях рыночной экономики должны быть рыночные цены древесины на корню и на другие рыночные ресурсы леса, пользующиеся спросом на лесных рынках. Главной мотивацией организации пользования лесами и хозяйства в них должна быть ориентация на повышение доходности лесов. При этом распределение консолидированного лесного дохода по финансовым потокам должно обеспечивать баланс экономических интересов основных субъектов лесных отношений, без чего не может быть обеспечена реализация требования устойчивого лесопользования.

К сожалению, ни одно из перечисленных требований для организации устойчивого пользования лесами на практике не выполняется, что и порождает кризис в лесных отношениях со всеми сопровождающими его негативными последствиями, включая истощение экономически доступных ресурсов леса, массовую смену хозяйственно ценных пород малоценными, лесонарушения, доходящие в отдельные годы до катастрофических масштабов, лесные пожары, очаги вредителей и болезней и в целом прогрессирующее ухудшение качества лесов при резком снижении потенциала экономически доступных ресурсов леса.

Весьма усугубили положение лесных дел на практике и навязанные неоллибералами негативные реформы по лесопользованию: ликвидация в 2000 г. Федеральной службы лесного хозяйства; передача в 2005 г. полномочий по управлению федеральными лесами субъектам РФ без должного обеспечения их финансированием; возложение на арендаторов, как главных лесопользователей в стране, обязанностей по ведению лесного хозяйства, но при этом за их счет;

ликвидация лесоустройства, признанного в мировой и отечественной практике в качестве важнейшего инструмента управления лесами и повышения его доходности; самоустранение государства (в лице его органов управления) от стоимостной оценки по рыночным ценам древостоев, отводимых арендаторам в рубку; ликвидация исторически существовавшей в России государственной лесной охраны.

Для здравомыслящего человека, знакомого с отраслевой спецификой ведения лесного хозяйства на практике, не требуется пояснять, что можно ожидать от перечисленных выше реформ. По существу, Русский лес как объект управления, находящийся в государственной федеральной собственности, в результате реформ, лишился «хозяина» и соответствующего к себе внимания. Об этом, хотя и в сглаженной форме, сказал Президент России В.В. Путин на заседании Президиума Госсовета в Улан-Удэ в 2013 г. при оценке положения лесных дел в стране. Вот выдержки из его доклада: «Наша сегодняшняя дискуссия в несколько часов показала, что, к сожалению, ни государственные органы, ни хозяйствующие субъекты, явно на это высокое звание хозяина леса пока не тянут. ...В обозначенных вопросах есть одна общая тема, одна общая проблема... – это устаревшие, постоянно тормозящие весь процесс управленческие решения. ...Есть и другие данные, которые говорят о том, что отрасль в целом находится в критическом состоянии» [6].

Трагизм положения у этой критической черты состоит в том, что нынешний Лесной кодекс, принятый 10 лет назад, лишь числится как нормативно-правовой документ, но несмотря на периодический «косметический ремонт», он давно уже не работает и является главным тормозом для развития не только лесного хозяйства, но и всего лесного сектора экономики. Неоднократные предложения профессионалов о необходимости его кардинальной переработки не допускает олигархическое лобби, засевшее во всех ветвях власти и терпеливо ожидающее, когда же власть, наконец исполнит первоначальный замысел главного монопольного конструктора этого кодекса – господина Грефа, о передаче арендаторам взятых по договору в частную собственность лесов. Наиболее влиятельные их представители в кругах, близких к правительству, уже задавали этот вопрос даже первому лицу государства, но получили ответ, что они еще не продемонстрировали должного ведения хозяйства в своих лесах.

Почему об этом приходится говорить? Да потому, что в кодексе отсутствуют главные рычаги и механизмы для эффективного устойчивого управления и пользования лесами, а их реализация возможна только на законодательной основе. Это имеет прямое отношение и к вопросу о финансовом состоянии лесного хозяйства.

Начнем с того, что в нынешнем кодексе отсутствуют само понятие лесного хозяйства, его система управления и финансирования. Это же нонсенс! Все эти вопросы хорошо или плохо, но рассматривались в предшествующем Лесном кодексе 1997 г. [3]. Недаром даже отдельные представители руководства органов управления лесами высказываются, что надо бы отдельные статьи прошлого кодекса реанимировать в нынешнем.

В кодексе должно быть восстановлено понятие лесного хозяйства, как отрасли материального производства с определением его содержания и назначения, как главного средства управления лесами на практике, как объекта лесных отношений и основного средства производства лесных ресурсов, как продуктов труда. Последние должны иметь рыночную цену с учетом спроса и предложения на них и себестоимость их воспроизводства. Стартовые рыночные цены древесины на корню определяются при лесоустройстве на основе известных рентообразующих факторов и являются основой для определения экономически доступных ресурсов в составе расчетной лесосеки. Разрабатываемые при лесоустройстве лесные планы в виде программ использования и воспроизводства лесных ресурсов должны быть экономически обоснованными и представлять взаимосогласованные доходы и расходы, а также рентабельность последних. Такова была практика дореволюционного лесоустройства, отраженная и в Лесоустроительной инструкции 1926 г. Вспоминать лесоустройство, упраздненное Лесным кодексом РФ 2006 г., необходимо, ибо без него немыслимо планирование и организация устойчивого управления и неистощительного пользования лесами с учетом бесprecedентно длительной специфики лесовыращивания.

Ликвидация лесоустройства привела к хаосу в управлении лесами и пользованию ими, к истощению рентабельных ресурсов леса и «бросовым ценам» на них. Известно, что нынешние цены на древесину на корню под видом арендной платы не имеют никакого отношения к рыночным ценам древесины на корню. Последние 10 лет средняя цена обезличенного кубометра составляет около 50 р., и, как следствие, приводит к мизерному лесному доходу, который на треть не покрывает затраты даже на простое воспроизводство используемых ресурсов.

Между тем в соседних зарубежных странах рыночная цена древесины на корню на один-два порядка выше и покрывает не только все затраты на лесное хозяйство, но и дает значимый доход. Так было и в дореволюционной России.

В нынешней же практике в России арендаторы, которым дано право самим составлять проект освоения лесов [4, ст. 88], государство при этом самоустранилось от стоимостной оценки древостоев, отводимых в рубку по рыночным ценам, в первую очередь вырубает самые рентабельные ресурсы леса, присваивая при этом ренту, которая должна отчисляться в государственный лесной доход. Это и приводит к преждевременному истощению рентабельных ресурсов леса и недопустимо заниженному лесному доходу.

При нормальном порядке финансирование затрат на ведение лесного хозяйства должно предусматриваться за счет лесного дохода, и его часть, как фонд воспроизводства, должна оставаться на счетах тех органов, на которых возложена обязанность ведения лесного хозяйства, будь это арендатор или орган управления лесами, не переданными в аренду. При нынешнем примитивном механизме финансирования лесного хозяйства арендатор должен якобы за свой счет вести лесное хозяйство, не регламентируя, какие мероприятия имеются в виду. Проконтролировать, как он справляется с обязанностями ведения лесного хозяйства за свой счет, практически невозможно.

Для выполнения полномочий субъектов РФ по управлению федеральными лесами «придуман» институт субвенций, которые по определению представляются как «денежное пособие». Выглядит это издевательски. Зачем субъекту РФ, как инвалиду или безработному, пособие в размере ниже экономически доступного для выживания, если этому субъекту по кодексу переданы полномочия по управлению лесами, в том числе по планированию и организации пользования лесами, их охране и защите, что должно мотивировать на повышение доходности лесов, в счет чего субъект должен располагать и средствами для использования этих полномочий, не испрашивая пособия. При этом надо иметь в виду, что до сих пор нет даже удовлетворительной методики для расчета этих субвенций. То, что записано в ст. 89, п. 4, Лесного кодекса нельзя принимать за достоверность для предлагаемого метода расчета. Все последующие уточнения не внесли ясности.

Ликвидация государственной лесной охраны привела к беспрецедентному всплеску массовых лесонарушений в ныне «безнадзорных лесах», широкомасштабным пожарам, средства борьбы с которыми и ущерб от которых в стоимостной форме превосходят ту «липовую» экономию, которую стремились составители кодекса получить за счет 3-кратного сокращения численности работников лесного хозяйства.

Хотелось бы надеяться, что нынешнее руководство Федерального агентства лесного хозяйства с весьма усеченными функциями вместе с Министерством природных ресурсов и экологии РФ, пользуясь периодическими контактами с первыми лицами государства, доведут до их сведения и, главное, убедят их в том, что пришло время спасать Русский лес от тех беспорядков, в которые он ввергнут из-за порочного Лесного кодекса. Время исправлять положение, ибо наши леса будут доведены до такого состояния, когда они уже никому не будут нужны. А в подтверждение этого полезно вернуться к имевшимся в России историческим урокам.

После преждевременной кончины великого преобразователя и государственника Петра I его супруга Екатерина I, чтобы упрочить свое положение, решила «потрафить» воеводам и своим указом от 30.12.1726 г. передала для управления казенные леса в ведение воевод. Екатерина II из тех же побуждений 18.02.1762 г. издала указ о «вольности дворянства». Император Павел I хотел восстановить введенный великим прадедом порядок в управлении лесами и даже в 1798 г. создал Лесной департамент для этой цели. Но и самому императору, и его департаменту в условиях «вольностей», возрожденных предшествующими императрицами, не дали долго жить. Департамент был ликвидирован через 13 лет после его создания. Проф. Ф.К. Арнольд, выдающийся лесовод, «дедушка русского лесостроительства», отмечал, что во всех губерниях, где хозяйничали воеводы, произвол в распоряжении лесами действовал безгранично [1].

Потребовалось более 100 лет после Петра I, чтобы вернуться к упорядочению управления лесами в стране. Императору Николаю I ответственные

государственные деятели докладывали, что надо срочно централизовать управление лесами для прекращения творящихся в лесах беспорядков. Необходимые шаги в этом направлении были приняты только в 1837 г., когда в составе Министерства государственных имуществ был создан самостоятельный Лесной департамент с корпусом лесничих и военизированной государственной лесной охраной [1].

Выдающуюся роль в возрождении государственного управления лесами и лесоустройства, как важнейшего инструмента для наведения порядка в лесу на основе организации правильного лесного хозяйства и резкого повышения его доходности, сыграл министр госимуществ граф. П.Д. Киселев.

Для нынешних реформаторов и тех, кто в наше время проповедует и рвется к тотальной приватизации государственных лесов через аренду, следует напомнить о дорогой цене, которую Россия заплатила за эпоху правления воевод и «вольности дворянства». Это привело к резкому сокращению лесистости в центральных и южных районах европейской части России (например, в зоне «черноземной житницы» она сократилась в 3 раза, где две трети лесов находилось в частной собственности), широкомасштабной эрозии почв, смыву черноземов, аридизации климата, учащению засух и суховеев, невиданному за всю историю дореволюционной России голоду в 90-х гг. XIX в.

Несмотря на отмену крепостного права в 1861 г., царское правительство так и не сумело решить крестьянский вопрос. Две подряд революции (февральская и октябрьская 1917 г.) явились расчетом и за 300-летнее крепостное право и за «вольности дворянства», о чем обстоятельно написал лучший министр финансов дореволюционной России граф С.Ю. Витте в своем трехтомнике воспоминаний [2]. Дореволюционный период допущенных вольностей в управлении лесами в чем-то напоминает прошедший период наших неоллиберальных реформ, допустивших (по словам одного из президентов Финляндии – госпожи Халонен), «дикие экономические свободы», в которых крепко засели «корни коррупции», схватившие (по словам бывшего в то время президентом России Д.А. Медведева) за горло национальную экономику России. И тогда, и сейчас крайний либерализм применительно к управлению лесами оказал самое негативное влияние на состояние лесов и лесного хозяйства, а, как следствие, и на весь лесной сектор экономики.

Патриоты страны, поддерживающие внешнюю политику президента России В.В. Путина (по свидетельству многочисленных источников периодической печати), призывают его обратиться к внутренней политике, которая не устраивает ни «левых», ни «правых», но согласных с тем, что требуются смена экономической модели управления и переход на инновационный путь развития, несмотря на западные санкции и др. проблемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арнольд Ф.К. История лесоводства (репринт. изд. 1895 г.). М.: Изд-во МГУЛ, 2004. 403 с.
2. Витте С.Ю. Воспоминания: в 3-х т. Т. 2 (1894 г. – окт. 1905 г.). Царствование Николая II. Т.; М.: СКИФ, 1994. 576 с.

3. Лесной кодекс РФ: офиц. текст. М.: Юрид. лит., 1997. 96 с.
4. Лесной кодекс РФ от 4 дек. 2006 г.: федер. закон № 200-ФЗ. М.: ИНЭКО. Опубл. 8.12.2006 г. 48 с.
5. Моисеев Н.А. Кризис в управлении и пользовании лесами и возможные пути выхода из него // Лесн. газ. 2016. 30 апр. № 33(10683). С. 1–2.
6. Путин В.В. Лес нужно спасать // Лесн. газ. 2013. 20 апр. № 30(10380) С. 1–2.

Поступила 04.03.16

UDC 630*61

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.9

Financial Crisis in Forestry and Its Measures

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

The paper presents a brief analysis of the financial crisis in the forest sector and its measures. A common reason of the crisis is the fact that the forest management has not organized the transition to the sustainable development, taking into account the requirements of the market economy, where the pricing policy of resources and forest services should be determined by the supply-and-demand balance, and the proceeds must cover costs to ensure the breakeven activity. However, the current payments for standing timber under the guise of rental payments have no connection with market prices. In fact, they are defined by administrative means, which leads to the understated forest income that does not provide a simple reproduction of the used resources even by one-third. To normalize the situation of the forest financing it is necessary to sell timber at market prices, taking into account the net return factors; the formed forest income should be distributed to the financial flows to provide the balance of economic interests of all interrelated subjects of forest relations. The part of the income from timber, which should ensure the reproduction of the used resources, should remain in the accounts of the entities, which are responsible for the conducting forestry. The institution of “subventions” does not fulfil a function in the basic problem of organizing of the sustainable and efficient forest management and forest exploitation.

Keywords: subvention, income from timber, sustainable management of forests and forest management.

For citation: Moiseev N.A. Financial Crisis in Forestry and Its Measures. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 9–16. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.9

REFERENCES

1. Arnol'd F.K. *Istoriya lesovodstva* [Forestry History]. Moscow, 2004. 403 p.
2. Vitte S.Yu. *Vospominaniya. T. 2 (1894 g. – okt. 1905 g.). Tsarstvovanie Nikolaya II* [Memories. Vol. 2 (1894 – October 1905). The Reign of Nickolay]. Moscow, 1994. 576 p.
3. *Lesnoy kodeks RF* [Forest Code of the Russian Federation]. Moscow, 1997. 96 p.
4. *Lesnoy kodeks RF ot 4 dek. 2006 g.: feder. zakon № 200-FZ* [Forest Code of the Russian Federation Dated December 4, 2006: Federal Law no. 200-FZ]. Moscow, 2006. 48 p.
5. Moiseev N.A. Krizis v upravlenii i pol'zovanii lesami i vozmozhnye puti vykhoda iz nego [Crisis in Management and Timber Exploitation and Possible Measures]. *Lesnaya gazeta*, 2016, no. 33(10683), pp. 1–2.
6. Putin V.V. Les nuzhno spasat' [The Forest Must Be Saved]. *Lesnaya gazeta*, 2013, no. 30(10380), pp. 1–2.

Received on March 04, 2016

УДК 630*465

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.17

ПОСТПИРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ФИТОМАССЫ ДРЕВОСТОЯ В НАСАЖДЕНИЯХ НИЖНЕГО ПРИАНГАРЬЯ

Г.А. Иванова, д-р биол. наук, вед. науч. сотр.

С.В. Жила, канд. биол. наук, мл. науч. сотр.

Е.А. Кукавская, канд. биол. наук, науч. сотр.

В.А. Иванов, д-р с.-х. наук, проф.

Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук,
Академгородок № 50, стр. 28, г. Красноярск, Россия, 660036;
e-mail: institute_forest@ksc.krasn.ru, gaivanova@ksc.krasn.ru

Лесные пожары воздействуют на древостой как непосредственно при горении, так и в течение длительного времени после пожара. Целью исследований являлись оценка и мониторинг трансформации фитомассы древостоя под воздействием крупномасштабных экспериментальных лесных пожаров разной интенсивности в сосняках и лиственничниках Нижнего Приангарья Красноярского края. Фитомассу древостоя оценивали методом перечислительной таксации с взятием модельных деревьев по ступеням толщины. Проведен 5-летний мониторинг изменения фитомассы древостоя после пожаров разной интенсивности. Выявлено наличие связи фитомассы деревьев сосны и лиственницы и их отдельных фракций с морфологическими признаками и возрастом дерева. На первые 2-3 года после пожаров приходится до 90 % отпада деревьев. Установлена тесная связь между интенсивностью пожара и величиной послепожарного отпада деревьев. Спустя 3 года после пожара высокой интенсивности в сосновых насаждениях отпад составил 62 %, после средней и низкой – соответственно 22 и 17 % от общего числа деревьев. В лиственничных насаждениях после пожара высокой интенсивности отпад деревьев первого яруса достигал 49 %, после пожаров средней и низкой интенсивности – соответственно 35 и 20 %. Отпад деревьев второго яруса в лиственничниках: 18...34 % – при низкоинтенсивном, до 62 % – при среднеинтенсивном, до 100 % – при высокоинтенсивном пожаре. В зависимости от интенсивности пожаров фитомасса живых деревьев в сосняках после пожаров снизилась на 16...62 %, в лиственничниках – на 15...50 %. Динамика надземной фитомассы древостоя после пожаров в сосновых и лиственничных насаждениях определяется интенсивностью горения. Пожары способствуют перераспределению фитомассы живых деревьев в мортмассу, которая увеличивается в результате отмирания деревьев и опада хвои и ветвей с поврежденных огнем деревьев.

Ключевые слова: южнотаежные сосняки и лиственничники, лесной пожар, интенсивность пожара, фитомасса древостоя, Нижнее Приангарье.

Для цитирования: Иванова Г.А., Жила С.В., Кукавская Е.А., Иванов В.А. Постпирогенная трансформация фитомассы древостоя в насаждениях Нижнего Приангарья // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 17–32. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.17

Введение

В настоящее время в Сибири ежегодно возникают десятки тысяч лесных пожаров, площадь которых достигает миллионов гектар. Глобальное изменение климата может привести к увеличению частоты лесных пожаров, расширению области их распространения и, как следствие, к долгосрочной деградации лесорастительных условий [29, 31]. На светлохвойные леса, которые составляют до 90 % площади лесов Нижнего Приангарья [1, 8], приходится более 60 % от общего количества лесных пожаров [34].

Лесные пожары воздействуют на все компоненты биогеоценоза, в том числе на древостой как непосредственно при горении, так и опосредованно в течение длительного времени после него. Основные горючие материалы при пожарах в лесном биогеоценозе – вся совокупность органической массы, преимущественно растения и их отмершие части [5, 12]. Фитомасса древостоя вносит значительный вклад в накопление лесной подстилки, которая является проводником горения и горючим материалом при низовых пожарах, кроновые материалы (хвоя и мелкие ветви) активно участвуют в горении при верховых пожарах. Выявлена зависимость между количеством фитомассы древостоя и его биометрическими характеристиками [4, 15, 20, 23].

На характер и степень повреждения древостоев пожарами влияет целый ряд факторов (вид пожара, тип леса, породный состав, возраст и полнота насаждения, крутизна склона, погодные условия и др. факторы) [6, 7, 11, 13, 14, 18, 21, 26]. В настоящее время разработан целый ряд различных моделей, описывающих отдельные последствия пожаров для североамериканских лесов [32, 33, 36–38]. Для российских лесов имеются модели послепожарного отпада деревьев в зависимости от их диаметра и породы [3].

Известно, что процессы послепожарного отпада имеют различную длительность. В слабо и средне поврежденных сосняках северной подзоны тайги процесс отпада завершается через 5 лет после пожара, в сильно поврежденных сосняках он длится до 7 лет [3]. В среднетаежных сосняках лишайниково-зеленомошных при пожарах разной интенсивности основной отпад деревьев после пожаров происходит в первые 2-3 года. При этом на первый год приходится до 90 % от всех отпавших деревьев после пожара высокой интенсивности, до 75 % – средней интенсивности, до 70 % – низкой интенсивности. В последующие годы величина отпада значительно снижается [10].

Под воздействием пожаров происходит перераспределение фитомассы между живым пологом и мортмассой [30, 39]. Однако исследования, связанные с оценкой трансформации фитомассы древостоя под воздействием пожаров, единичны.

Целью наших исследований являлись оценка и мониторинг трансформации фитомассы древостоя под воздействием лесных пожаров разной интенсивности в сосняках и лиственничниках Нижнего Приангарья.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены в сосняках и лиственничниках Нижнего Приангарья (Красноярский край). Экспериментальные участки (10 участков)

площадью 1 га каждый, располагались в бассейне р. Ангары (58°35' с.ш., 98°55' в.д.). Лесоводственно-таксационное описание древостоев на экспериментальных участках проводили по методике В.Н. Сукачева, С.В. Зонна и Г.П. Мотовилова [22]. Характеристика насаждений на экспериментальных участках представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Лесоводственно-таксационная характеристика насаждений
на экспериментальных участках**

№ учас- тка	Тип леса	Состав, ярус (возраст)	Средние		Пол- нота	Бо- ни- тет	Под- рост, тыс. шт./га
			диа- метр, см	высота, м			
Сосняки							
1	Лишайниково-зеленомошный	10С (90)	24	18	0,8	III	30,6
2	Лишайниково-зеленомошный	10С (90)	26	22	0,6	III	20,4
3	Ольховниково-бруснично-зеленомошный	10С + Л (110)	32	21	0,8	III	40,2
4	Разнотравно-зеленомошный	10С + Л ед. Ос (120)	28	22	0,5	III	30,1
Лиственничники							
5	Мелкотравно-зеленомошный	I 5Лц4С1Ос + Е (160) II 3Б2Лц2С1Ос 1Е1П+К (60)	32 16	27 16	0,7	II	16,2
6	Разнотравно-зеленомошный	I 5Лц5С (150) II 5Б2П2С1Ос ед. Е, К (50)	26 18	26 18	0,6	II	20,8
7	Осочково-зеленомошный	I 6Лц3С1П + Б, Ос (140) II 3Е3Б2П1С1Ос + К (50)	30 13	27 16	0,6	II	11,8
8	Разнотравно-зеленомошный	I 5Лц5С + Ос (150) II 3С3Е2П1Л1Б + К (40)	36 16	26 18	0,7	III	8,2
9	Разнотравно-зеленомошный	I 5Лц4С1Е + Ос (140) II 7С2Лц1Е + П, Б (40)	36 20	26 20	0,6	III	7,3
10	Разнотравно-зеленомошный	I 9Лц1Е + С, К (140) II 7С2Б1Е + П, Л (50)	44 22	26 20	0,6	II	10,1

Сосняки лишайниково-зеленомошные (участки 1, 2) на песчаных подзолах занимают плоскую ровную ступень склона и пройдены пожаром более 80 лет назад (1922 г.). Средний возраст деревьев – 90 лет, средний диаметр – 25 см, средняя высота – 20 м, полнота – 0,8, III класс бонитета. Подлесок развит хорошо. В напочвенном покрове преобладает бруснично-зеленомошно-лишайниковая растительность. Моховой покров – до 60 %, с преобладанием *Pleurozium schreberi*. Проективное покрытие лишайников – 40 %, доминируют лишайники вида *Cladonia rangiferina*.

Сосняки разнотравно-зеленомошные (участки 3, 4) расположены также на песчаных подзолах и пройдены пожаром более 60 лет назад (1948 г.). Средний возраст деревьев – 100...120 лет, средний диаметр – 30 см, средняя высота – 22 м, полнота – 0,7, III класс бонитета. Подлесок густой, в травяно-кустарничковом ярусе доминирует мелкотравье. Общее проективное покрытие мха – до 100 %, доминирует *Pleurozium schreberi*.

Лиственничники зеленомошного типа произрастают на дерново-карбонатных почвах. Древостои сложные по структуре и составу, разновозрастные, II-III класса бонитета. В первом ярусе доминируют лиственница и сосна (140...160 лет), отдельные деревья достигли возраста 200...300 лет. В составе древостоя встречаются ель и пихта. Средний диаметр деревьев первого яруса изменяется на участках от 26 до 44 см, средняя высота – от 26 до 27 м. Второй ярус представлен хвойными и лиственными породами, в составе присутствуют пихта, ель, кедр, сосна, лиственница, береза и осина в возрасте 40...50 лет. Средний диаметр деревьев второго яруса изменяется на участках от 13 до 22 см, средняя высота – от 16 до 20 м, относительная полнота древостоя – от 0,65 до 1,0. Насаждения с подростом (от 7,3 до 20,8 тыс. экз./га) и подлеском под пологом древостоев. В травяно-кустарничковом ярусе доминирует таежное мелкотравье. Моховой покров хорошо развит, общее проективное покрытие – до 100 %, доминируют *Pleurozium schreberi* и *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G., единично встречается *Peltigera canina*. Последний пожар был зарегистрирован в 1953 г.

Фитомассу древостоя оценивали методом перечислительной таксации с взятием модельных деревьев по ступеням толщины. Модельные деревья отбирали на прилегающей к участку зоне. Все фракции дерева взвешивали, отбирали образцы на влагосодержание, которые в лабораторных условиях высушивали и определяли их абс. сухой вес. Для оценки фитомассы было взято 50 модельных деревьев разных пород с делением их на фракции. Фитомасса ствола дерева приведена с корой. В работе были использованы данные В.А. Усольцева [24] по фитомассе березы и осины, а также взяты модели подраста по грациям высот.

В 2002–2007 гг. на участках были проведены эксперименты по моделированию поведения пожара при различных погодных условиях и оценке их воздействия на компоненты биогеоценоза. Эксперименты представляли собой контролируемые выжигания, при которых кромка горения распространялась

по ветру. Интенсивность пожара определялась исходя из теплотворной способности лесного горючего материала, сгоревшего запаса и скорости распространения кромки огня [27]. В сосняках на экспериментальных участках развились низовые пожары, которые преобладают в лесах Средней Сибири. В лиственничниках также были низовые пожары, но с выходом огня в кроны. Согласно классификации лесных пожаров по интенсивности [35], на экспериментальных участках 2, 5 развился высокоинтенсивный пожар (интенсивность горения на кромке пожара более 4001 кВт/м), на 1, 9 – среднеинтенсивный (2001 ... 4000 кВт/м), на 3, 4, 6–8 – низкой интенсивности (менее 2000 кВт/м).

Оценку послепожарного отпада деревьев проводили по методике, основанной на методе квадратов, исходящих из одной центральной точки [28], позволяющем более точно учитывать отпад деревьев и его распределение на данной площади. Особенностью этого метода является то, что деревья выбирали в равномерно расположенных на участке точках. На каждом из экспериментальных участков была разбита сеть базовых точек на расстоянии 20...25 м. В каждой точке выбирали по 4 дерева, расположенных на ближайшем к ней расстоянии. На каждом участке отбирали и маркировали не менее 100 деревьев каждого яруса. Всего в лиственничниках было учтено 1200, в сосняках – 420 деревьев. У каждого дерева измеряли высоту, диаметр на высоте 1,3 м, высоту до живой кроны, а также высоту нагара, степень повреждения пожаром кроны и ее состояние, степень заселения насекомыми.

Обсуждение результатов

Проведенный анализ данных по фитомассе модельных деревьев подтвердил наличие тесной связи ее отдельных фракций с морфологическими признаками дерева и его возрастом (табл. 2). Наиболее высокая зависимость выявлена между фитомассой и диаметром дерева на высоте 1,3 м независимо от породы дерева (рис. 1). Подобная зависимость установлена и для фитомассы отдельных фракций дерева.

На ствол приходится до 89,0 % надземной фитомассы сосны и лиственницы. Значительная часть фитомассы приходится на живые ветки, доля которых у лиственницы составляет до 8,4 %, у сосны – до 21,8 %.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции фитомассы фракций дерева (сосны) с его биометрическими параметрами

Фракция дерева	Диаметр на высоте 1,3 м, см	Высота, м	Возраст, лет
Ствол	0,97	0,84	0,94
Ветви	0,94	0,77	0,94
Хвоя	0,88	0,79	0,84
Шишки	0,80	0,71	0,83
Дерево	0,97	0,84	0,94

Доля хвои у лиственницы варьирует от 0,8 до 2,8 %, у сосны – от 3,7 до 4,8 %. При этом наблюдается закономерное снижение доли хвои относительно фитомассы всего дерева по мере увеличения диаметра, что согласуется с опубликованными ранее данными о том, что продуктивность хвои сосны резко снижается с возрастом дерева [2, 17, 19].

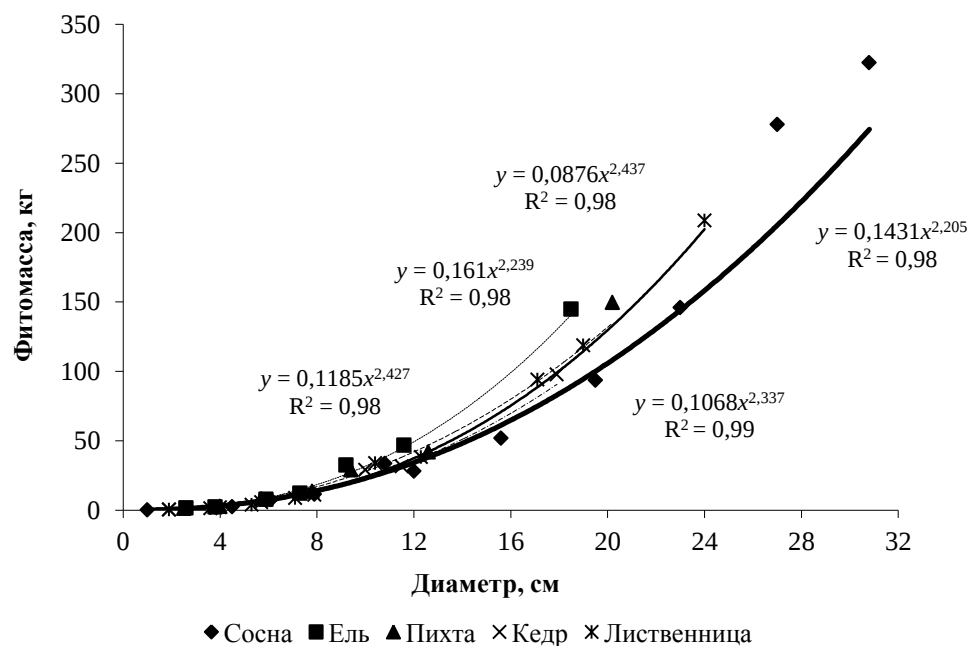


Рис. 1. Зависимость фитомассы модельных деревьев разных пород от диаметра на высоте 1,3 м

У ели и пихты на ствол приходится 53,0...87,0 % от общей фитомассы, на хвою – до 25,0 %, но при этом, как и у сосны, так и у лиственницы, наблюдается снижение доли хвои с увеличением диаметра дерева. Вклад живых ветвей варьирует от 4,0 до 32,0 %, на сухие ветки приходится до 12,8 %.

На основе полученных данных по фитомассе модельных деревьев и распределению деревьев по ступеням толщины была рассчитана фитомасса древостоя на экспериментальных участках (табл. 3).

Общая фитомасса древостоя в сосняках (участки 1–4) составляет от 123 до 171 т/га, в лиственничных насаждениях со вторым ярусом из темнохвойных пород – от 93 до 126 т/га. При этом на стволы приходится 65,0...89,0 %, на живые ветви – до 22,0 %, на хвою и листья – 4,0...10,0 %. Полученные данные сопоставимы со значениями, приведенными В.А. Усольцевым для насаждений подзоны южной тайги Средней Сибири [24].

Таблица 3

Структура фитомассы (т/га) древостоя до пожара

№ участка	Живые деревья						Сухостой
	Хвоя, листва	Шишки	Ветви		Ствол	Итого	
			живые	сухие			
Сосняки							
1	5,43	0,42	20,82	5,77	96,57	129,01	8,19
2	6,26	1,90	13,95	1,86	101,18	125,15	3,15
3	10,52	1,10	24,21	9,37	126,00	171,20	6,23
4	12,61	0,40	27,36	1,82	81,38	123,57	4,21
Лиственничники							
5	12,88	0,41	27,94	1,86	83,11	126,20	4,99
6	3,95	0,30	15,14	4,19	70,21	93,79	6,03
7	4,26	0,95	5,41	0,48	89,86	100,96	7,31
8	6,21	1,86	13,85	1,86	100,46	124,24	11,41
9	11,62	0,37	25,19	1,68	74,95	113,81	7,60
10	6,42	0,62	14,16	5,29	73,83	100,32	7,21

Естественный отпад деревьев в насаждениях до пожара составлял от 2,0 до 15,0 % от их общего количества. Наибольшая масса сухостоя в сосняках приходилась на деревья диаметром 8...20 см, в лиственничниках – на деревья диаметром 16...32 см ступеней толщины. В сосняках она варьировала от 3,15 до 8,19 т/га, в лиственничниках – от 4,99 до 11,41 т/га.

В сосняках 100 % фитомассы приходилось на сосну, за исключением участка 3, где вклад лиственницы составлял 13,5 %. В лиственничниках, где в составе присутствовали и темнохвойные породы, на пихту, ель и кедр, которые преобладали во втором ярусе, приходилось от 2,5 до 25,0 % от общей фитомассы древостоя (табл. 4).

Известно, что характер и степень повреждения древостоев пожарами определяется рядом неравнозначных по своему значению факторов. К ним относятся: вид пожара, тип леса, породный состав, возраст и полнота насаждения, погодные условия [3, 14, 18, 25].

Таблица 4

Распределение (%) в лиственничниках фитомассы древостоя по породам

№ участка	Сосна	Лиственница	Ель	Пихта	Кедр	Береза	Осина
5	29,1	37,8	2,6	7,5	2,6	8,3	12,1
6	37,6	38,5	0,9	0,3	1,3	17,7	3,7
7	18,1	46,7	6,3	0,9	5,0	16,4	6,6
8	38,0	23,7	13,2	5,8	2,0	8,3	9,0
9	29,7	27,3	17,3	4,5	3,2	13,3	4,7
10	12,0	64,2	8,6	5,0	2,4	6,1	1,7

Причиной отпада древостоя после пожара является не только воздействие высоких температур, но и заселение энтомофитовредителями в результате ослабления жизненного состояния дерева [16, 18].

Нами проведен мониторинг изменения фитомассы древостоя под воздействием пожаров разной интенсивности, проанализированы данные по отпаду деревьев до пирогенного воздействия и в течение 5 лет после пожаров.

Основной отпад деревьев в южнотаежных сосняках и лиственничниках после пожаров, как и в среднетаежных сосняках [9], приходится на первые 2-3 года (табл. 5). Через год после пожара высокой интенсивности в сосновых насаждениях отпад деревьев составил 55 %, спустя 2 года он увеличился до 62 % и сохранялся на этом уровне все последующие годы. После пожара средней интенсивности отпад деревьев в первый год составил 9 %, на второй год увеличился до 20 %, через 3 года – до 22 %. После пожара низкой интенсивности за 5 лет максимальный отпад составил 11...17 % от общего числа деревьев.

Отпад деревьев первого яруса в лиственничном насаждении через год после пожара высокой интенсивности составил 34 %, через 5 лет он увеличился до 49 %. Отпад деревьев второго яруса на этом участке уже на второй год составил 100 %. После пожаров средней и низкой интенсивности отпад деревьев первого яруса в лиственничниках через 4 и 5 лет стал соответственно 35 и 20 %.

Таблица 5

Отпад деревьев (% от общего числа живых деревьев)

№ участка	Интенсивность пожара	Ярус древостоя	Отпад деревьев					
			до пожара	после пожара по годам, лет				
				1	2	3	4	5
Сосняки								
1	Средняя	I	5	9	20	22	22	22
2	Высокая	I	5	55	62	62	62	62
3	Низкая	I	3	8	12	15	16	17
4	Низкая	I	2	5	11	11	11	11
Лиственничники								
5	Низкая	I	5	8	14	15	18	20
		II	2	7	16	16	16	18
6	Высокая	I	5	34	42	47	47	49
		II	3	96	100	100	100	100
7	Низкая	I	7	12	15	15	18	—
		II	3	26	29	32	33	—
8	Низкая	I	15	15	17	17	17	—
		II	7	11	16	16	18	—
9	Низкая	I	9	9	9	9	11	—
		II	5	13	25	31	34	—
10	Средняя	I	14	27	27	30	35	—
		II	3	48	58	62	62	—

Отпад деревьев второго яруса на этих участках через 4...5 лет после пожара средней интенсивности составил 62 %, после пожара низкой интенсивности – 18...34 %. Полный отпад деревьев второго яруса после высокоинтенсивного пожара и значительный после пожаров средней и низкой интенсивности объясняется не только присутствием в нем темнохвойных пород, но и высокой сомкнутостью полога за счет подроста хвойных пород.

Выявлена тесная связь между интенсивностью пожара и величиной отпада (коэффициент корреляции 0,90). На рис. 2 приведено влияние интенсивности кромки пожара на отпад деревьев в светлохвойных насаждениях.

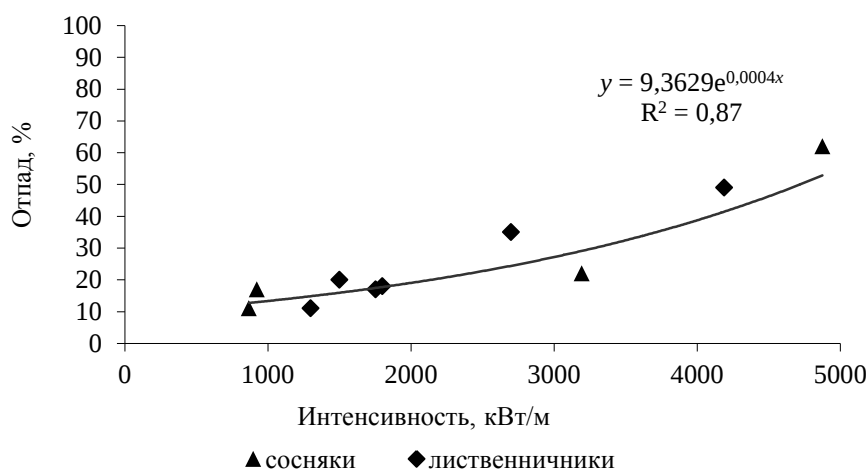


Рис. 2. Отпад деревьев в светлохвойных насаждениях (от общего числа деревьев) в зависимости от интенсивности кромки пожара

После воздействия пожаров и отпада деревьев фитомасса древостоя снизилась в зависимости от интенсивности горения (табл. 6). После пожара высокой интенсивности фитомасса древостоя в сосняках составила 47,56 т/га, средней интенсивности – 100,62 т/га, низкой интенсивности – 109,98 т/га. Фитомасса древостоя после пожара высокой интенсивности снизилась на 62 %, средней – на 22 %, низкой – на 11...17 % от значения до пожара (рис. 3).

В лиственничниках фитомасса древостоя после пожара высокой интенсивности составила 47,83 т/га, средней и низкой – соответственно 65,21 и 103,12 т/га (табл. 6). После высокоинтенсивного пожара фитомасса живых деревьев в лиственничниках снизилась на 49 %, после средне- и низкоинтенсивного – соответственно на 35 и 11...20 % (рис. 3).

Таблица 6

**Изменение фитомассы (т/га) древостоев светлехвойных насаждений
Нижнего Приангарья**

№ участка	Фитомасса древостоев до пожара	Изменение фитомассы после пожара по годам, лет				
		1	2	3	4	5
Сосняки						
1	129,01	117,39	103,20	100,62	100,62	100,62
2	125,15	56,32	47,56	47,56	47,56	47,56
3	171,20	157,50	150,66	145,52	143,81	142,10
4	123,57	117,39	109,98	109,98	109,98	109,98
Лиственничники						
5	126,20	116,09	108,52	107,26	103,48	100,95
6	93,79	61,90	54,40	49,71	49,71	47,83
7	100,96	88,84	85,81	85,81	82,78	—
8	124,24	105,60	103,12	103,12	103,12	—
9	113,81	103,56	103,56	103,56	101,28	—
10	100,32	73,23	73,23	70,22	65,21	—

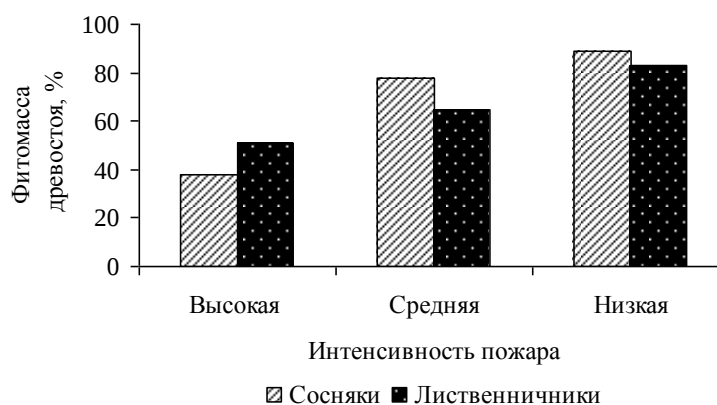


Рис. 3. Изменение (от значения до пожара) фитомассы древостоя в зависимости от интенсивности пожаров в сосняках и лиственничниках

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что послепожарная трансформация фитомассы древостоя в южнотаежных сосняках и лиственничниках определяется интенсивностью пирогенного воздействия. Выявлена тесная связь между величиной отпада деревьев и интенсивностью кромки лесного пожара. Отпад деревьев после пожаров высокой интенсивности в сосняках составил до 62 %, в первом и во втором ярусах лиственничников – соответственно до 49 и 100 %. Основной отпад деревьев

пришелся на первые 2-3 года после пожара. После пожаров выявлено снижение надземной фитомассы древостоев на 11...62 % от их значения до пожара в зависимости от интенсивности пожаров и давности их воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.А., Бердси Р.А. Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 1994. 218 с.
2. Артемьева Н.В., Бузыкин А.И., Исмаилов А.М., Кофман Г.Б. Оценка продуктивности древостоя // Факторы продуктивности леса: сб. науч. тр. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. 156 с.
3. Воинов Г.С., Софронов М.А. Прогнозирование отпада в древостоях после низовых пожаров // Современные исследования типологии и пирологии леса. Архангельск: АИЛиЛх, 1976. С. 115–121.
4. Гордина Н.П. Пространственная структура и продуктивность сосняков Нижнего Енисея. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1985. 128 с.
5. Гусев В.Г., Лопухова Е.Л., Дубовый В.К. Классификация и общие свойства лесных горючих материалов // Лесн. журн. 2012. № 1. С. 134–145. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Евдокименко М.Д. Жизнеспособность деревьев после низового пожара // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1974. С. 167–196.
7. Евдокименко М.Д. Огневые повреждения сосняков рододендроновых в Забайкалье // Проблемы лесной пирологии. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1975. С. 207–220.
8. Жуков А.Б., Коротков И.А., Кутафьев В.П., Назимова Д.И., Савин С.П., Черепникова Ю.С. Леса Красноярского края // Леса СССР. М.: Наука, 1969. С. 248–320.
9. Иванова Г.А. Зонально-экологические особенности лесных пожаров в сосняках средней Сибири: дис. ... д-ра биол. наук. Красноярск, 2005. 405 с.
10. Иванова Г.А., Конард С.Г., Макрае Д.Д., Безкоровайная И.Н., Богородская А.В., Жила С.В., Иванов В.А., Иванов А.В., Ковалева Н.М., Краснощекова Е.Н., Кукавская Е.А., Орешков Д.Н., Перевозникова В.Д., Самсонов Ю.Н., Сорокин Н.Д., Тарасов П.А., Цветков П.А., Шишкин А.С. Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков Сибири. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с.
11. Исаев А.С., Уткин А.И. Низовые пожары в лиственных лесах Восточной Сибири и значение стволовых вредителей в послепожарном состоянии древостоя // Защита лесов Сибири от насекомых вредителей. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 118–183.
12. Курбатский Н.П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
13. Матвеев П.М. Послепожарный отпад деревьев в лиственных лесах мерзлотной зоны // Материалы конф. «Использование и восстановление ресурсов Ангаро-Енисейского региона». Красноярск, 1991. С. 74–78.
14. Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес. М.; Л.: Гослестехиздат, 1948. 126 с.
15. Онучин А.А., Спицина Н.Т. Закономерности изменения массы хвои в хвойных древостоях // Лесоведение. 1995. № 5. С. 48–58.
16. Орешков Д.Н., Шишкин А.С. Динамика животного населения при воздействии пожаров разной интенсивности в среднетаежных сосняках Средней Сибири // Сибир. эколог. журн. 2003. Т.10, №6. С. 743–748.

17. Поздняков Л.К., Протопопов В.В., Горбатенко В.М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. Красноярск: Красноярское кн. изд-во, 1969. 156 с.
18. Санников С.Н. Лесные пожары как эволюционно-экологический фактор возобновления популяций сосны в Зауралье // Горение и пожары в лесу / Материалы совещания. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1973. С. 236–277.
19. Санникова Н.С. Экологические исследования в лесных и луговых биогеоценозах равнинного Зауралья // Информационные материалы Талицкого стационара. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1978. С. 15–19.
20. Семечкина М.Г. Структура фитомассы сосняков. Новосибирск: Наука, 1978. 24 с.
21. Софронов М.А. Лесные пожары в горах Южной Сибири. М.: Наука, 1967. 150 с.
22. Сукачев В.Н., Зонн С.В., Мотовилов Г.П. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 115 с.
23. Усольцев В.А. Рост и структура фитомассы древостоев. Новосибирск: Наука, 1988. 250 с.
24. Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии. Методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 635 с.
25. Фуряев В.В., Киреев Д.М. Изучение послепожарной динамики лесов на ландшафтной основе. Новосибирск: Наука, 1979. 160 с.
26. Шешуков М.А. Влияние пожаров на развитие таежных биогеоценозов // Горение и пожары в лесу. Ч. III. Лесные пожары и их последствия. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1979. С. 81–96.
27. Byram G.M. *Forest Fire: Control and Use*. New York; Toronto; London, 1959, pp. 61–89.
28. Cottam G., Curtis J.T. The Use of Distance Measures in Phytosociological Sampling. *Ecology*, 1956, vol. 37, no. 3, pp. 451–460.
29. Flannigan M.D., Krawchuk M.A., de Groot W.J., Wotton B.M., Gowman L.M. Implications of Changing Climate for Global Wildland Fire. *International Journal of Wildland Fire*, 2009, vol. 18, pp. 483–507.
30. Ivanova G.A., Conard S.G., Kukavskaya E.A., McRae D.J. Fire Impact on Carbon Storage in Light Conifer Forests of the Lower Angara Region, Siberia. *Environmental Research Letters*, 2011, no. 6, iss. 4.
31. Kasischke E.S., Christensen N.L., Stocks B.J. Fire, Global Warming and the Carbon Balance of Boreal Forests. *Ecological Applications*, 1995, vol. 5, no. 2, pp. 437–451.
32. Keane R.E., Arno S.F., Brown J.K. FIRESUM – an Ecological Process Model for Fire Succession in Western Conifer Forests. *General Technical Report INT-266, USDA, Forest Service*. Ogden, 1989. 76 p.
33. Keane R.E., Ryan K.C., Finney M.A. Simulating the Consequences of Fire and Climate Regimes on a Complex Landscape in Glacier National Park, Montana. *Tall Timbers Fire Ecology Conf. Proc.*, 1998, vol. 2, pp. 310–324.
34. Korovin G.N. Analysis of the Distribution of Forest Fires in Russia. *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Dordrecht; Boston; London, 1996, pp. 112–128.
35. McRae, D. J., Conard S.G., Ivanova G.A., Sukhinin A.I., Baker S.P., Samsonov Y.N., Blake T.W., Ivanov V.A., Ivanov A.V., Churkina T.V., Hao W.M., Koutzenogii K.P., Kovaleva N. Variability of Fire Behavior, Fire Effects, and Emissions in Scotch Pine Forests of Central Siberia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, vol. 11, no. 1, pp. 45–74.

36. Reinhardt E.D., Keane R.E., Brown J.K. Modeling Fire Effects. *International Journal of Wildland Fire*, 2001, vol. 10, no. 3–4, pp. 373–380.

37. Robichaud P.R., Miller S.M. Spatial Interpolation and Simulation of Post-Burn Duff Thickness after Prescribed Fire. *International Journal of Wildland Fire*, 1999, vol. 9, pp. 137–143.

38. Ryan K.S., Reinhardt E.D. Predicting Post-Fire Mortality of Seven Western Conifers. *Canadian J. of Forest Research*, 1988, no. 18, pp. 1291–1297.

39. Wardle D.A., Hornberg G., Zackrisson O., Kalela-Brundin M., Coomes D.A. Long-Term Effects of Wildfire on Ecosystem Properties Across an Island Area Gradient. *Science*, 2003, vol. 300, pp. 972–975.

Поступила 30.09.15

UDC 630*465

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.17

The Post-Fire Transformation of Forest Stand Phytomass in Plantations of the Lower Angara Region

G.A. Ivanova, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher

S.V. Zhila, Candidate of Biological Sciences, Research Assistant

E.A. Kukavskaya, Candidate of Biological Sciences, Research Officer

V.A. Ivanov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

V.N. Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of the Russian Academy

of Sciences, Akademgorodok 50/28, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation;

e-mail: institute_forest@ksc.krasn.ru, gaivanova@ksc.krasn.ru

Forest fires affect on tree stands during combustion and for a long period after a fire. The work objective is an assessment and monitoring of the transformation of stand phytomass under the impact of large-scale experimental forest fires of varying intensity in pine and larch forests of the Lower Angara region, Krasnoyarsk Krai. Stand phytomass is estimated by the enumeration survey method of the model trees according to the diameter classes. A five-years monitoring of stand phytomass changes after fires of varying intensity has been carried out. A link of pine and larch phytomass and their individual fractions with morphological features and the tree age has been revealed. Up to 90 % of tree mortality happens in the first 2–3 years after a fire. The close link between the fire intensity and the amount of post-fire tree mortality is established. 3 years later after a fire of high intensity in the pine forest the tree mortality reached 62 %, after the middle and low intensity fires – 22 and 17 % respectively of the total number of trees. The mortality of the first layer trees in the larch stands after the fire of high intensity was 49 %, after the middle and low intensity fires – 35 and 20 % respectively. The mortality of the second layer trees in the larch stands varied from 18...34 % after the low intensity fires, and reached up to 62 % and 100 % after the middle and high intensity fires, respectively. The phytomass of living trees decreased after the fires by 16...62 % in the pine stands and by 15...50 % in the larch forests

For citation: Ivanova G.A., Zhila S.V., Kukavskaya E.A., Ivanov V.A. The Post-Fire Transformation of Forest Stand Phytomass in Plantations of the Lower Angara Region. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 17–32. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.17

depending on the fire intensity. The post-fire dynamics of the aboveground stand phytomass in the pine and larch forests was determined by the fire intensity. The fires contribute to the phytomass redistribution of living trees into mortmass that increases as a result of the tree mortality, needle litter and cladoptosis from the trees damaged by fires.

Keywords: south-taiga pine and larch forest, forest fire, fire intensity, stand phytomass, Lower Angara region.

REFERENCES

1. Alekseev V.A., Berdsi R.A. *Uglerod v ekosistemakh lesov i bolot Rossii* [Carbon in the Forest and Bog Ecosystems of Russia]. Krasnoyarsk, 1994. 218 p.
2. Artem'eva N.V., Buzykin A.I., Ismagilov A.M., Kofman G.B. Otsenka produktivnosti drevostoya [Estimation of Stand Productivity]. *Faktory produktivnosti lesa* [Forest Productivity Factors]. Novosibirsk, 1989. 156 p.
3. Voinov G.S., Sofronov M.A. Prognozirovaniye otpada v drevostoyakh posle nizovykh pozharov [The Loss of Growing Forest Prediction in the Stands After Surface Fires]. *Sovremennye issledovaniya tipologii i pirologii lesa* [Current Research of Typology and Forest Fire Science]. Arkhangelsk, 1976, pp. 115–121.
4. Gordina N.P. *Prostranstvennaya struktura i produktivnost' sosnyakov Nizhnego Eniseya* [The Spatial Structure and Productivity of Pine Forests of the Lower Yenisei]. Krasnoyarsk, 1985. 128 p.
5. Gusev V.G., Lopukhova E.L., Dubovyy V.K. Klassifikatsiya i obshchie svoystva lesnykh goryuchikh materialov [Classification and the General Properties of Wood Combustible Materials]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 1, pp. 134–145.
6. Evdokimenko M.D. Zhiznesposobnost' derev'ev posle nizovogo pozhara [Trees Viability After Surface Fires]. *Voprosy lesnoy pirologii* [Forest Pyrology Issues]. Krasnoyarsk, 1974, pp. 167–196.
7. Evdokimenko M.D. Ognevye povrezhdeniya sosnyakov rododendronovykh v Zabaykal'e [Fire Damage of Rhododendron Pine Forests in Transbaikalia]. *Problemy lesnoy pirologii* [Problems of Forest Pyrology]. Krasnoyarsk, 1975, pp. 207–220.
8. Zhukov A.B., Korotkov I.A., Kutaf'ev V.P., Nazimova D.I., Savin S.P., Cherebnikova Yu.S. Lesa Krasnoyarskogo kraia [Forests of the Krasnoyarsk Region]. *Les SSSR* [Forests of the USSR]. Moscow, 1969, pp. 248–320.
9. Ivanova G.A. *Zonal'no-ekologicheskie osobennosti lesnykh pozharov v sosnyakakh sredney Sibiri*: dis. ... dok-ra biol. nauk [Zonal and Ecological Features of Forest Fires in Pine Forests of Central Siberia: Dr. Biol. Sci. Diss.]. Krasnoyarsk, 2005. 405 p.
10. Ivanova G.A., Conard S.G., McRae D.D., Beskorovainaya I.N., Bogorodskaya A.V., Zhila S.V., Ivanov V.A., Ivanov A.V., Kovaleva N.M., Krasnoshekhova E.N., Kukavskaya E.A., Oreshkov D.N., Perevosnokova V.D., Samsonov Yu.N., Sorokin N.D., Tarasov P.A., Tzvetkov P.A., Shishikin A.S. *Vozdeystvie pozharov na komponenty ekosistemy srednetaezhnykh sosnyakov Sibiri* [The Impact of Fires on the Ecosystem Components of Pine Forests of the Middle Taiga in Siberia]. Novosibirsk, 2014. 232 p.
11. Isaev A.S., Utkin A.I. Nizovye pozhary v listvennichnykh lesakh Vostochnoy Sibiri i znachenie stvolovykh vreditel'ey v poslepozharom sostoyanii drevostoya [Surface Fires in Larch Forests of Eastern Siberia and the Meaning of Stem Pests in the Post-Fire Condition of Stands]. *Zashchita lesov Sibiri ot nasekomykh vreditel'ey* [Protection of Siberia Forests from Pests]. Moscow, 1963, pp. 118–183.

12. Kurbatskiy N.P. Issledovanie kolichestva i svoystv lesnykh goryuchikh materialov [The Quantity and Property Research of Forest Combustible Materials]. *Voprosy lesnoy pirologii* [Forest Pyrology Issues]. Krasnoyarsk, 1970, pp. 5–58.
13. Matveev P.M. Poslepozharный отпад деревьев в лиственничниках мерзлотной зоны [Post-Fire Tree Mortality in Larch Forests of the Permafrost Zone]. *Materialy konf. "Ispol'zovanie i vosstanovlenie resursov Angaro-Eniseyskogo regiona"* [Proc. Conf. "The Use and Restoration of the Angara-Yenisei Region's Resources"]. Krasnoyarsk, 1991, pp. 74–78.
14. Melekhov I.S. *Vliyanie pozharov na les* [The Impact of Fires on Forests]. Moscow; Leningrad, 1948. 126 p.
15. Onuchin A.A., Spitsina N.T. Zakonomernosti izmeneniya massy khvoi v khvoynykh drevostoyakh [Laws of Change of the Needles Mass in Conifer Stands]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1995, no. 5, pp. 48–58.
16. Oreshkov D.N., Shishikin A.S. Dinamika zhivotnogo naseleniya pri vozdeystvii pozharov raznoy intensivnosti v srednetaezhnykh sosnyakh Sredney Sibiri [The Dynamics of Animal Populations under the Influence of Fires of Varying Intensity in the Pine Forests of the Middle Taiga Zone in Middle Siberia]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology], 2003, vol. 10, no. 6, pp. 743–748.
17. Pozdnyakov L.K., Protopopov V.V., Gorbatenko V.M. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Sredney Sibiri i Yakutii* [The Biological Productivity of the Forests of Central Siberia and Yakutia]. Krasnoyarsk, 1969. 156 p.
18. Sannikov S.N. Lesnye pozhary kak evolyutsionno-ekologicheskiy faktor vuzobnovleniya populyatsiy sosny v Zaural'e [Forest Fires as the Evolutionary and Ecological Factor of Regeneration of Pine Populations in Trans-Urals]. *Gorenie i pozhary v lesu* [Combustion and Fires in a Forest]. Krasnoyarsk, 1973, pp. 236–277.
19. Sannikova N.S. Ekologicheskie issledovaniya v lesnykh i lugovykh biogeotsenozakh ravninnogo Zaural'ya [Environmental Studies in Forest and Meadow Biogeocenoses of Plain Trans-Urals]. *Informatsionnye materialy Talitskogo statsionara* [Information Materials of the Talitsky Station]. Sverdlovsk, 1978, pp. 15–19.
20. Semechkina M.G. *Struktura fitomassy sosnyakov* [The Phytomass Structure of Pine Forests]. Novosibirsk, 1978. 24 p.
21. Sofronov M.A. *Lesnye pozhary v gorakh Yuzhnoy Sibiri* [Forest Fires in the Mountains of Southern Siberia]. Moscow, 1967. 150 p.
22. Sukachev V.N., Zonn S.V., Motovilov G.P. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Guidelines for the Study of Forest Types]. Moscow, 1957. 115 p.
23. Usol'tsev V.A. *Rost i struktura fitomassy drevostoev* [The Phytomass Growth and Structure of Forest Stands]. Novosibirsk, 1988. 250 p.
24. Usol'tsev V.A. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoy Evrazii. Metody, baza dannykh i ee prilozheniya* [The Biological Productivity of Forests of Northern Eurasia. The Methods, Database and Its Applications]. Yekaterinburg, 2007. 635 p.
25. Furyaev V.V., Kireev D.M. *Izuchenie poslepozharной dinamiki lesov na landshaftnoy osnove* [A Study of the Post-Fire Forest Dynamics on the Landscape Basis]. Novosibirsk, 1979. 160 p.
26. Sheshukov M.A. Vliyanie pozharov na razvitie taezhnykh biogeotsenozov [The Impact of Fires on the Development of Boreal Ecosystems]. *Gorenie i pozhary v lesu. Ch. III. Lesnye pozhary i ikh posledstviya* [Combustion and Fires in a Forest. Part 3. Forest Fires and Their Consequences]. Krasnoyarsk, 1979, pp. 81–96.
27. Byram G.M. *Forest Fire: Control and Use*. New York; Toronto; London, 1959, pp. 61–89.

28. Cottam G., Curtis J.T. The Use of Distance Measures in Phytosociological Sampling. *Ecology*, 1956, vol. 37, no. 3, pp. 451–460.
29. Flannigan M.D., Krawchuk M.A., de Groot W.J., Wotton B.M., Gowman L.M. Implications of Changing Climate for Global Wildland Fire. *International Journal of Wildland Fire*, 2009, vol. 18, pp. 483–507.
30. Ivanova G.A., Conard S.G., Kukavskaya E.A., McRae D.J. Fire Impact on Carbon Storage in Light Conifer Forests of the Lower Angara Region, Siberia. *Environmental Research Letters*, 2011, no. 6, iss. 4.
31. Kasischke E.S., Christensen N.L., Stocks B.J. Fire, Global Warming and the Carbon Balance of Boreal Forests. *Ecological Applications*, 1995, vol. 5, no. 2, pp. 437–451.
32. Keane R.E., Arno S.F., Brown J.K. FIRESUM – an Ecological Process Model for Fire Succession in Western Conifer Forests. *General Technical Report INT-266, USDA, Forest Service*. Ogden, 1989. 76 p.
33. Keane R.E., Ryan K.C., Finney M.A. Simulating the Consequences of Fire and Climate Regimes on a Complex Landscape in Glacier National Park, Montana. *Tall Timbers Fire Ecology Conf. Proc.*, 1998, vol. 2, pp. 310–324.
34. Korovin G.N. Analysis of the Distribution of Forest Fires in Russia. *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Dordrecht; Boston; London, 1996, pp. 112–128.
35. McRae, D. J., Conard S.G., Ivanova G.A., Sukhinin A.I., Baker S.P., Samsonov Y.N., Blake T.W., Ivanov V.A., Ivanov A.V., Churkina T.V., Hao W.M., Koutzenogii K.P., Kovaleva N. Variability of Fire Behavior, Fire Effects, and Emissions in Scotch Pine Forests of Central Siberia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, vol. 11, no. 1, pp. 45–74.
36. Reinhardt E.D., Keane R.E., Brown J.K. Modeling Fire Effects. *International Journal of Wildland Fire*, 2001, vol. 10, no. 3–4, pp. 373–380.
37. Robichaud P.R., Miller S.M. Spatial Interpolation and Simulation of Post-Burn Duff Thickness after Prescribed Fire. *International Journal of Wildland Fire*, 1999, vol. 9, pp. 137–143.
38. Ryan K.S., Reinhardt E.D. Predicting Post-Fire Mortality of Seven Western Conifers. *Canadian J. of Forest Research*, 1988, no. 18, pp. 1291–1297.
39. Wardle D.A., Hornberg G., Zackrisson O., Kalela-Brundin M., Coomes D.A. Long-Term Effects of Wildfire on Ecosystem Properties Across an Island Area Gradient. *Science*, 2003, vol. 300, pp. 972–975.

Received on September 30, 2015

УДК 57.047+58.05+581.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.33

ВЛИЯНИЕ СТРЕССОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ И СТРОЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА*

К.Г. Боголицын, д-р хим. наук, гл. науч. сотр.

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

М.А. Гусакова, канд. техн. наук, зав. лаб.

И.Н. Зубов, канд. хим. наук, науч. сотр.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН,
наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: zubov.ivan@bk.ru

Изучено влияние абиотического стресса (зимней физиологической засухи) на образцы древесины можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.), произрастающего в субарктической зоне Российской Федерации. Установлено, что уже на ранних стадиях усыхания в древесине можжевельника происходит резкое снижение годичного прироста и ускорение процессов биосинтеза компонентов, выполняющих защитные функции. Содержание лигнина возрастает от 28,3 до 35,2 %. Скорость образования полисахаридной составляющей, напротив, заметно снижается. Из-за недостатка первичных компонентов возрастает вероятность процессов деструкции полисахаридов до углеводов. Изменение компонентного состава древесины приводит к нарушению термодинамической совместимости компонентов лигноуглеводной матрицы и формированию неустойчивой надмолекулярной структуры древесного вещества клеточной стенки. Древесное вещество, образованное в период стресса, характеризуется меньшей механической прочностью по сравнению со здоровой древесиной, что подтверждают проведенные микроскопические исследования. На сколах подверженной усыханию древесины можжевельника наблюдаются многочисленные трещины и разрушения некоторых оболочек клеточной стенки, а также коалесценция фрагментов деструкции последних на поверхности. На поперечных сколах усыхающей древесины отмечено расслоение вторичной стенки на отдельные слои (S_1 , S_2 и S_3) и отсутствие третичной оболочки – бородавчатого слоя. Вышеперечисленные изменения структуры древесного вещества можжевельника наблюдаются уже на второй год

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы (проекта) № 0410-2014-0029 «Физико-химические основы изучения основных закономерностей фундаментального цикла «строение–функциональная природа–свойства» природных полимерных матриц». Микроскопические эксперименты проведены в рамках проекта УрО РАН № 0410-2015-0021 «Новые подходы к комплексной оценке состояния и эволюции лесных и болотных экосистем западного сегмента Арктики». Исследования выполнены с использованием оборудования ЦКП КТ РФ-Арктика (ИЭПС, ИФПА УрО РАН) и ЦКП НО «Арктика» (САФУ) при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (Уникальный идентификатор работ RFMEFI59414X0004).

Для цитирования: Боголицын К.Г., Сурсо М.В., Гусакова М.А., Зубов И.Н. Влияние стрессовых воздействий на компонентный состав и строение древесины можжевельника // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 33–41. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.33

усыхания, однако они характерны лишь для вновь образующейся древесной ткани и практически не затрагивают ядровую древесину.

Ключевые слова: можжевельник, абиотический стресс, зимняя физиологическая засуха, клеточная стенка, древесное вещество.

Введение

Вегетативные органы можжевельника, как и других хвойных, подвержены техногенным воздействиям, что ограничивает использование этих видов для озеленения городов с развитой промышленностью и высокой загазованностью [3]. Однако нарушения вегетативной системы могут происходить и в естественных условиях обитания можжевельника. Наиболее распространенными неблагоприятными факторами для большинства видов растений, в том числе можжевельника, являются: засуха, экстремальные температуры, избыток воды и солей в почве, очень высокая или очень низкая освещенность, атмосферное загрязнение и др. [1].

Активное избирательное отношение растительного организма к стрессовым условиям внешней среды выражается в его способности к саморегуляции, оптимизации протекающих в нем процессов, а также адаптации к неблагоприятным факторам внешней среды на протяжении всего онтогенеза. Физиолого-биохимические изменения в организме растений направлены на усиление их защитных функций и могут приводить к нарушению привычной схемы биосинтеза, компонентного состава и, как следствие, к нарушению структурных особенностей и целостности клеточных оболочек [1, 2].

Недостаток влаги является одним из самых распространенных абиотических стрессоров для растительных организмов. Как и любое стрессовое воздействие, оказываемое на растение, недостаток влаги запускает комплекс метаболических перестроек [2], что, в свою очередь, приводит к замедлению метаболизма и способствует возникновению как обратимых, так и необратимых изменений в растении.

Целью данной работы является изучение состава и морфологических особенностей древесины можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) при стрессовых воздействиях абиотической природы.

Объект и методы исследования

В качестве объекта исследований выбран можжевельник обыкновенный – один из наиболее распространенных видов рода *Juniperus* L., обладающий высокой стрессоустойчивостью, низкой заболеваемостью и продолжительным периодом жизни [5].

В ходе экспедиционных работ 2011–2013 гг. произведен выбор тестовых площадок (61°40' с. ш. 31°09' в. д.), на которых отмечены повреждения кроны можжевельника обыкновенного. Растения были на различных стадиях усыхания, о чем свидетельствовали частичное или полное отсутствие хвои

и изменение структуры древесины (заболони), отчетливо проявлявшееся на кернах древесины, которые были отобраны возрастным буром Haglof CO300 и использовались для предварительного определения возраста и ориентировочных сроков начала усыхания растений. Показатели опытных растений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика опытных растений можжевельника обыкновенного

Возраст образца*, лет	Предполагаемый год начала усыхания	Продолжительность усыхания, лет
67±5	Здоровое дерево	0
47±5	2012	1
59±5	2011	2
67±5	2010	3

*Здесь и далее, в табл. 2, приведены данные с ошибкой определения.

Радиальные приросты измеряли на поперечных спилах, взятых вблизи шейки корня стволиков. Подсчет годовичных колец производили при помощи бинокулярного микроскопа МБС-10 (увеличение окуляра – ×8, объектива – ×2).

Для изучения влияния усыхания на состав и структурные особенности древесины можжевельника проведен анализ компонентного состава древесины, выявлены морфологические особенности ее строения.

Стружку получали из древесины можжевельника, предварительно высушенной и очищенной от коры и луба. Последующее измельчение проводили на универсальной ротационной ножевой лабораторной мельнице ЛМ-201 с водяным охлаждением (для предотвращения термомеханической модификации древесного вещества). В экспериментах использовали усредненную фракцию опилок размером 1...2 мм.

Компонентный состав древесины можжевельника определяли по стандартным методикам [4] в 4-х параллельных измерениях.

Материал для микроскопических исследований представлял собой радиальные и поперечные сколы образцов древесины можжевельника. Применение метода скалывания вместо традиционного изготовления срезов позволило избежать методических трудностей при подготовке экспериментальных проб (заливание смолой, полирование, вымачивание и т. д.) и иметь образцы с качественной мало деформированной поверхностью. Снимки древесины получали на сканирующем электронном микроскопе Sigma VP (Zeiss). Для повышения контрастности фотографий на поверхность исследуемых образцов наносили золото-палладиевое покрытие толщиной до 5 нм с помощью устройства для подготовки образцов Q150T ES (Quorum).

Результаты исследований и их обсуждение

При длительном усыхании происходит частичный опад ассимилирующих органов, но благодаря переброске питательных веществ из нижних листьев (хвои) сохраняются жизнеспособными более молодые – верхние, что замедляет биосинтетические процессы и, как следствие, снижает годичный прирост.

Для установления точных сроков начала стрессового воздействия нами оценена динамика годичного прироста отобранных образцов древесины можжевельника обыкновенного. Данные об изменении толщины годичного слоя в исследуемых образцах за последние 11 лет жизненного цикла можжевельника представлены на рис. 1.

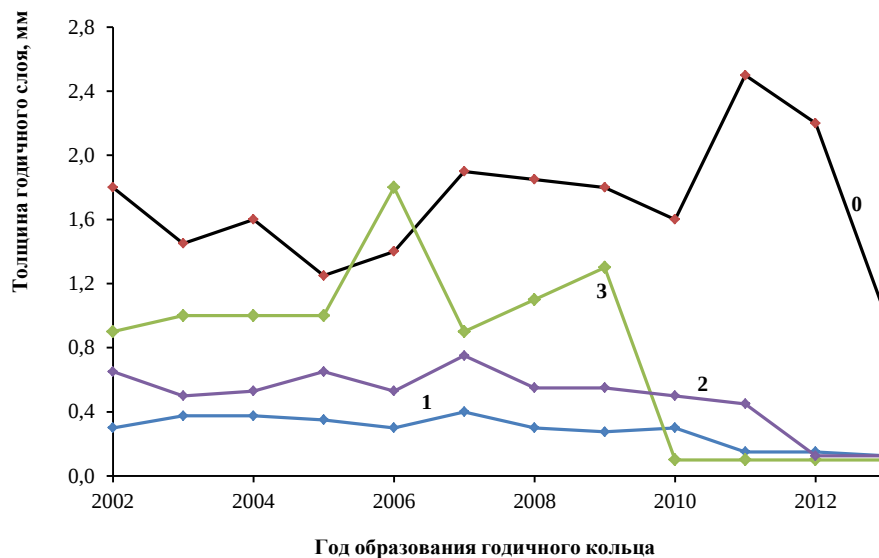


Рис. 1. Изменение толщины годичного слоя образцов древесины можжевельника (номера образцов с 0 по 3 соответствуют продолжительности усыхания (табл. 1))

Как видно из рис. 1, для всех исследуемых образцов можжевельника характерно снижение годичного прироста, совпадающее по времени с предполагаемыми сроками усыхания исследуемых деревьев. Анализ климатических характеристик района отбора образцов, проведенный по данным близлежащих станций Росгидромета за последние 10 лет, позволяет предполагать, что одним из наиболее вероятных стрессовых факторов является зимняя физиологическая засуха. Так, в 2009–2010 гг. период перехода среднемесячных температур в область отрицательных значений сопровождался малым (менее 50 мм) количеством осадков при среднемесячной температуре декабря $-13,4^{\circ}\text{C}$, что могло привести к более глубокому промерзанию почв. Постепенное увеличение длительности светового дня и рост интенсивности солнечной радиации в весенний период способствовали усилению транспирации и снижению количества влаги в растениях. Как следствие, у всех изученных образцов наблюдалось снижение годичного прироста за 2010 г., а для образца 3 эти воздействия оказались критическими и привели к опадению хвои.

Годичный прирост снижается за счет уменьшения как количества клеток в годичном кольце, так и их диаметра. При этом древесное вещество,

образовавшееся в период стресса, характеризуется меньшей механической прочностью по сравнению со здоровой древесиной. Данный факт, вероятно, обусловлен изменением структуры клеточных оболочек и подтверждается проведенными микроскопическими исследованиями. Снимки, полученные на сканирующем электронном микроскопе Sigma VP (Zeiss), демонстрируют значительные изменения целостности клеточных оболочек трахеид можжевельника в процессе усыхания (рис. 2).

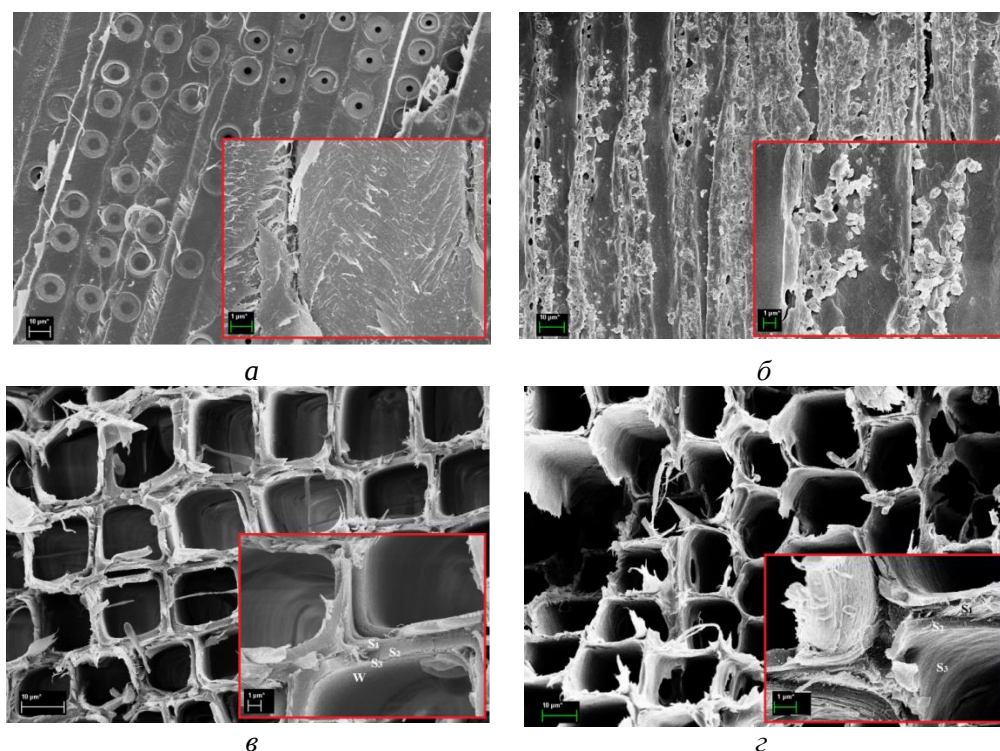


Рис. 2. Радиальный и продольный сколы здоровой (а, б) и усохшей в 2012 г. (в, г) древесины можжевельника

Продольный скол здоровой древесины, как правило, проходит по межклетному веществу весенних трахеид (рис. 2, а), так как этот участок древесной ткани является наименее плотным и самым неустойчивым к скалыванию. В усыхающей древесине можжевельника продольные сколы проходят в области как ранних (весенних), так и поздних (осенних) трахеид. Подтверждением этому может служить практически полное отсутствие пор на поверхности таких трахеид (рис. 2, б). Это характерно, в первую очередь, для поздних клеточных образований, выполняющих механическую функцию. Направления скола в области осенних клеток свидетельствуют о снижении механической прочности клеточной стенки последних, что, вероятно, обусловлено значительными изменениями компонентного состава матрицы в результате стресса.

Поэтому даже при незначительных механических воздействиях на сколах древесины наблюдаются многочисленные трещины клеточных стенок трахеид, а также частичное (или полное) разрушение некоторых оболочек клеточной стенки (рис. 2, б) и коалесценция фрагментов деструкции последних на поверхности осенних трахеид.

Подобные явления, но только в большей степени, проявляются на поперечных сколах образцов древесины (рис. 2, в, г). В результате усыхания древесины и изменения компонентного состава древесного вещества происходит разделение вторичной стенки на отдельные слои S_1 , S_2 и S_3 , что способствует снижению механической устойчивости клеточных оболочек и проявляется в многочисленных разрывах и деформациях при подготовке образца. Более того, древесина заболони некоторых образцов становится настолько хрупкой, что даже при незначительных механических воздействиях происходит ее разрушение и разволокнение.

Для усыхающей древесины можжевельника характерно отсутствие третичной оболочки – бородавчатого слоя (рис. 2, г), придающего дополнительную прочность клеточной стенке изнутри. Перечисленные выше изменения структуры древесного вещества можжевельника наблюдаются уже на второй год усыхания, однако они характерны только для вновь образующейся древесной ткани и практически не затрагивают ядровую древесину.

Наблюдаемые модификации клеточных оболочек, вероятно, обусловлены изменением хода биосинтеза и соотношением основных компонентов клеточной стенки. Для подтверждения происходящих изменений нами проведен анализ компонентного состава образцов древесины можжевельника.

Приведенные в табл. 2 данные свидетельствуют о значительных количественных изменениях содержания основных компонентов древесины можжевельника. Уже на ранних стадиях стрессового воздействия (зона тревоги) в растительном организме происходят сдвиги в гормональном балансе, тормозящие деление и рост клеток [1]. В результате реакции на первичные изменения происходит запуск основных механизмов адаптации, которые характеризуются снижением активности гидролитических и катаболических реакций и усилением биосинтеза компонентов, выполняющих защитные функции [8].

Таблица 2

**Компонентный состав (% к абс. сухой древесине)
древесины можжевельника на различных стадиях усыхания**

Продолжительность усыхания, лет	Зольность	Вещества, экстрагируемые			Целлюлоза	Лигнин
		горячей водой	этанолом	диэтиловым эфиром		
0	0,16±0,01	2,53±0,08	4,67±0,02	3,50±0,04	44,0±0,05	28,3±0,89
1	0,37±0,01	5,33±0,03	3,93±0,07	1,80±0,07	43,4±0,12	32,9±0,04
2	0,23±0,01	2,97±0,06	4,18±0,02	3,10±0,11	42,4±0,05	34,8±0,91
3	0,20±0,02	3,48±0,04	5,19±0,01	4,40±0,05	41,5±0,29	35,2±0,20

Как следствие, уже в первый год наблюдается повышение скорости биосинтеза лигнина, выполняющего протекторные функции, что подтверждается значительным ростом содержания лигнинных компонентов (4,5 %). Однако недостаток влаги и питательных веществ приводит к постепенному необратимому усыханию всех вегетативных органов и древесины, после чего темпы роста заметно снижаются и постепенно сходят на нет.

Процессы биосинтеза полисахаридов лигнина и экстрактивных веществ тесно связаны и являются конкурирующими [3, 6]. Следовательно, рост интенсивности одних должен сопровождаться замедлением или полным прекращением процессов образования других. Так, при усыхании постепенно снижается количество целлюлозы в древесном веществе можжевельника от 44,9 до 43,4 % в первый год и до 41,5 % к третьему году. Это может быть связано с замедлением скорости синтеза данного полисахарида, что косвенно подтверждается снижением годичного прироста исследуемых образцов. Как известно, целлюлоза является основным компонентом клеточных оболочек и именно интенсивность ее синтеза во многом определяет величину годичного прироста. Еще одной причиной снижения содержания целлюлозы может служить процесс ее деструкции. Протекание подобных процессов отмечают многие авторы, в частности в работе [7]. Так, в случае недостатка первичных компонентов (углеводов) в клеточной стенке возможно протекание деполимеризации и деструкции низкомолекулярных полисахаридов и дальнейшее вовлечение в процесс вновь образовавшихся углеводов, что приведет к снижению содержания полисахаридов. При этом на начальных стадиях усыхания основная часть углеводов, образующихся как в ходе фотосинтеза, так и в результате деструкции полисахаридов, участвует в ферментативном синтезе фенолпропаноидных соединений (путь коричной кислоты), который через активированные производные коричной кислоты приводит к трем коричневым спиртам и некоторым экстрактивным веществам. В первый год усыхания можжевельных деревьев экстрактивные вещества ароматической природы не образуются, напротив, наблюдается снижение содержания компонентов, экстрагируемых горячей водой, этанолом, ацетоном и другими растворителями, о чем свидетельствуют данные компонентного состава (табл. 2).

Таким образом, на ранних стадиях усыхания в древесине можжевельника происходит переориентация биосинтеза основных компонентов древесной матрицы, а именно: ускоряется синтез лигнина и экстрактивных веществ, выполняющих защитные функции. Изменение состава приводит к нарушению термодинамической совместимости компонентов лигноуглеводной матрицы и формированию неустойчивой надмолекулярной структуры древесного вещества клеточной стенки. Изменения структуры древесного вещества древесины можжевельника наблюдаются уже на второй год усыхания, однако характерны они лишь для вновь образующейся древесной ткани и практически не затрагивают ядровую древесину.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алехина Н.Д., Балнокин Ю.М., Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В., Мейчик Н.В., Носов А.М., Полеская О.Г., Харитоношвили Е.В., Чуб. В.В. Физиология растений / Под ред. И.П. Ермакова. М.: ИЦ «Академия», 2005. 635 с.
2. Генкель П.А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений. М.: Наука, 1982. 280 с.
3. Неверова О.А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды // Биосфера. 2009. Т. 1, № 1. С. 82–92.
4. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.
5. Adams R.P. *Juniperus of the World: The Genus Juniperus*. Vancouver, 2008. 430 p.
6. Bogolitsyn, K.G., Zubov, I.N., Gusakova, M.A., Krasikova A.A., Chukhchin D.G. Juniper Wood Structure Under the Microscope. *Planta*, 2015, vol. 241, no. 5, pp. 1231–1239.
7. Fagerstedt K.V., Mellerowicz E., Gorshkova T., Ruel K., Joseleau J.-P. Cell Wall Polymers in Reaction Wood. *The Biology of Reaction Wood. Springer Series in Wood Science*. Ed. by B. Gardiner, J. Barnett, P. Saranpää, J. Gril. Berlin, 2014, pp. 37–106.
8. MacAdam J.N. Peroxidase Activity and Termination of Cell Elongation in Tall Fescue Leaf Blades. *J. Cell. Biochem.*, 1993, suppl. 17A, p. 29.

Поступила 29.03.16

UDC 57.047+58.05+581.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.33

The Influence of Stresses on the Component Composition and Structure of Juniper Wood

K.G. Bogolitsyn, Doctor of Chemical Sciences, Chief Research Scientist

M.V. Surso, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Research Officer

M.A. Gusakova, Candidate of Engineering Sciences, Chief of Laboratory

I.N. Zubov, Candidate of Chemical Sciences, Research Officer

Federal Research Center for Integrated Study of the Arctic of the Russian Academy

of Sciences, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: zubov.ivan@bk.ru

The influence of abiotic stress on wood of common juniper (*Juniperus communis* L.) grown in the subarctic zone of the Russian Federation is studied in the paper. The sharp decrease of annual growth and the acceleration of biosynthesis processes of protective components take place in the early stages of juniper wood desiccation. The lignin content increases from 28.3 to 35.2 %. On the contrary, the rate of formation of the polysaccharide part is significantly reduced. Due to the lack of primary components the possibility of polysaccharide degrada-

For citation: Bogolitsyn K.G., Surso M.V., Gusakova M.A., Zubov I.N. The influence of Stresses on the Component Composition and Structure of Juniper Wood. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 33–41. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.33

tion to the carbohydrates increases. Changes of the component composition of wood lead to the destruction of the thermodynamic compatibility of components of lignin-carbohydrate matrix, and the formation of an unstable supramolecular structure of the wood substance of a cell wall. As a result, the wood substance formed in the stress period is characterized by the less mechanical strength compared with sound wood, which is proved by the microscopic investigation. We can observe a lot of cracks and destruction of some layers of a cell wall at the splits of damaged wood, as well as the coalescence of fragments of their destruction on the surface. Delamination of the secondary cell wall into the separate layers (S_1 , S_2 , S_3) and the absence of a tertiary wall – a warty layer are observed on the cross-sectional splitting of desiccated wood. The above-mentioned changes in the structure of the juniper wood substance are observed even in the second year of desiccation, but they are typical only for the newly formed wood substance and do not affect heartwood.

Keywords: juniper, abiotic stress, winter physiological drought, cell wall, wood substance.

REFERENCES

1. Alekhina N.D., Balnokin Yu.M., Gavrilenko V.F., Zhigalova T.V., Meychik N.V., Nosov A.M., Polesskaya O.G., Kharitonoshvili E.V., Chub V.V. *Fiziologiya rasteniy* [Plant Physiology]. Ed. by I.P. Ermakov. Moscow, 2005. 635 p.
2. Genkel' P.A. *Fiziologiya zharo- i zasukhoustoychivosti rasteniy* [Physiology of Heat- and Drought Resistance of Plants]. Moscow, 1982. 280 p.
3. Neverova O.A. Primenenie fitoindikatsii v otsenke zagryazneniya okruzhayushchey sredy [Application of Phytoindication in the Estimation of Environmental Pollution]. *Biosfera* [Biosphere], 2009, vol. 1, no. 1, pp. 82–92.
4. Obolenskaya A.V., El'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy* [Laboratory Works on Chemistry of Wood and Cellulose]. Moscow, 1991. 320 p.
5. Adams R.P. *Juniperus of the World: The Genus Juniperus*. Vancouver, 2008. 430 p.
6. Bogolitsyn, K.G., Zubov, I.N., Guskova, M.A., Krasikova A.A., Chukhchin D.G. Juniper Wood Structure Under the Microscope. *Planta*, 2015, vol. 241, no. 5, pp. 1231–1239.
7. Fagerstedt K.V., Mellerowicz E., Gorshkova T., Ruel K., Joseleau J.-P. Cell Wall Polymers in Reaction Wood. *The Biology of Reaction Wood. Springer Series in Wood Science*. Ed. by B. Gardiner, J. Barnett, P. Saranpää, J. Gril. Berlin, 2014, pp. 37–106.
8. MacAdam J.N. Peroxidase Activity and Termination of Cell Elongation in Tall Fescue Leaf Blades. *J. Cell. Biochem.*, 1993, suppl. 17A, p. 29.

Received on March 29, 2016

УДК 630*232.33

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.42

**ВЛИЯНИЕ МНОГОЛЕТНЕГО ПРИМЕНЕНИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РОСТ СОСНЫ В ТОЛЩИНУ
В ПОСЕВАХ НА ПАЛОВЫХ ВЫРУБКАХ С ПЕСЧАНЫМИ ПОЧВАМИ.
I. ПОСЛЕДСТВИЕ 30-ЛЕТНЕГО ЕЖЕГОДНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РОСТ СОСНЫ В ТОЛЩИНУ
И КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ***

А.И. Соколов, д-р с.-х. наук, доц.

А.Н. Пеккоев, канд. с.-х. наук, науч. сотр.

В.А. Харитонов, вед. инж.

Институт леса Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Россия, 185910; e-mail: alexander.sokolov@krc.karelia.ru, pek-aleksei@list.ru, haritonov@krc.karelia.ru

Рассматривается проблема восстановления лесных фитоценозов, разрушенных в результате вырубки древостоя и последующего пожара. Объектом исследования были 53-летние культуры сосны, созданные посевом в 1961 г. на вересково-паловой вырубке с песчаными почвами. Цель работы – исследование последствий ежегодного 30-летнего применения калийных удобрений на рост сосны в толщину и качество ее древесины. Удобрения (хлористый калий (К), суперфосфат (Р), мочевины (N)) вносили ежегодно с 1967 г. по 1996 г. Схема опыта: контроль (без удобрений), К, РК, НК. Последствие хлористого калия на прирост сосны по площади сечения ствола, который более информативен, чем прирост по диаметру, прослеживалось до конца наблюдений. Эффективность последствий калия на средний периодический прирост по площади сечения была достоверно выше, чем во время проведения подкормок. За весь период наблюдений (начиная с 15 и до 53 лет) калийное удобрение обеспечило увеличение в 1,2 раза площади сечения среднего дерева по сравнению с контролем, однако более эффективными оказались фосфорно-калийное (в 1,7 раза) и азотно-калийное (в 1,9 раза) удобрения. Установлено, что ежегодное применение хлористого калия на протяжении 30 лет не оказало существенного влияния на среднее количество слоев в 1 см древесины и средний радиальный прирост. Включение в состав удобрений фосфора и азота привело к ухудшению исследуемых показателей, но одновременно вызвало повышение доли поздней древесины. Азотно-калийные удобрения обеспечили

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИЛ КарНЦ РАН 0220–2014–002.

Для цитирования: Соколов А.И., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А. Влияние многолетнего применения минеральных удобрений на рост сосны в толщину в посевах на паловых рубках с песчаными почвами. I. Последствие 30-летнего ежегодного применения калийных удобрений на рост сосны в толщину и качество древесины // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 42–55. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.42

достижение максимальных значений среднего диаметра и запаса древостоя, однако снизили плотность древесины.

Ключевые слова: культуры сосны, лесные пожары, макроструктура древесины, минеральные удобрения, паловые вырубki, поздняя древесина, радиальный прирост.

Введение

Лесные пожары являются одним из мощных факторов, оказывающих негативное влияние на лесные фитоценозы. В наибольшей степени им подвержены сосновые насаждения на песчаных почвах. В результате сильных пожаров уничтожаются живой напочвенный покров и органическое вещество почв, происходит выброс двуокиси углерода в атмосферу, снижается продуктивность насаждений и возможность выполнения ими многосторонних экологических функций. По информации государственной статистики площадь лесных пожаров в России за 15 лет возросла в 2 раза, по данным дистанционного мониторинга – в 3 раза [4], поэтому проблема реабилитации нарушенных в результате пожаров лесных экосистем актуальна. Одним из путей ее решения является применение удобрений, что позволяет не только улучшить режим питания, повысить сохранность и ускорить рост лесных культур, но и значительно сократить сроки восстановления коренного типа леса [22]. Институтом леса Карельского НЦ РАН исследовалось влияние длительного ежегодного и периодического применения минеральных удобрений в культурах сосны, созданных на паловых вырубках с песчаными почвами, на основные компоненты молодых культур фитоценозов. Оценивалась эффективность как отдельных элементов питания (азот (N), фосфор (P), калий (K)), так и их сочетаний. Выявлено, что несмотря на существенное изменение режима питания и дисбаланс основных его элементов, сосна, благодаря микосимбиотрофии, сумела адаптироваться к резко изменившимся эдафическим условиям [20, 22]. Влияние минеральных удобрений в период их внесения на основные компоненты фитоценозов детально рассмотрено в ранее опубликованных работах [9–11, 15, 20–22].

Имеются сведения, что увеличение фитомассы деревьев и живого напочвенного покрова обеспечивает повышение продуктивности насаждений в течение длительного периода времени, что связано с вторичным использованием внесенных минеральных веществ в биологическом круговороте [3, 18, 23]. В связи с этим вопрос о том, как влияет прекращение многолетних ежегодных и периодических подкормок сосны удобрениями на основные компоненты фитоценозов, устойчивость древостоев и качество выращенной древесины, остается открытым.

Калий, играющий важную роль в жизни растений, содержится преимущественно в молодых тканях, местах интенсивного деления клеток, образования новых органов и повышенного обмена веществ. Данный элемент очень подвижен, в течение сезона отмечены значительные изменения его содержания как в растениях, так и в почве [12, 14]. Он активизирует ряд ферментов,

влияет на фотосинтез, соотношение углеводов и аминокислот в органах растений, а также на устойчивость к патогенам, засухам и действию отрицательных температур [9, 12]. В лесных почвах калий находится в составе минералов (слюды, калиевые полевые шпаты, гидрослюды), водорастворимых минеральных солей и в поглощенном состоянии. Подвижные его формы образуются при разложении растительных остатков [14]. Считается, что в большинстве случаев лесные почвы содержат достаточное количество калия [5] и с повышением трофности почв содержание его возрастает. Основное количество калия находится в лесных подстилках, в минеральных горизонтах песчаных почв содержание подвижного калия резко падает [14]. По данным ряда исследователей [11, 19], в условиях северной и средней тайги на почвах грубопесчаного механического состава, а также на паловых вырубках сосняков брусничных, где после сгорания лесной подстилки калий интенсивно вымывается с осадками, сосна нуждается в дополнительном калийном питании. В отдельные годы на минеральных почвах южнотаежной зоны сосна также может испытывать недостаток калия [8].

Следует отметить, что сведения об эффективности применения калийных удобрений в культурах сосны на песчаных почвах немногочисленны и несколько противоречивы. Так, при внесении хлористого калия в количестве от 100 до 200 кг/га в сосняке брусничном (южная тайга) радиальный прирост сосны за 6 лет увеличился на 45...72 %, доля поздней древесины – на 10...18 %. Дополнительный прирост по запасу в зависимости от дозы удобрений составлял 8...21 м³/га. При этом в сосняках лишайниковом и долгомошном положительных изменений по этим показателям не отмечено [17]. По результатам исследований, проведенных в сосняках ягодниковых в подзоне южной тайги Среднего Урала, выявлено, что по лесоводственной эффективности калийные удобрения в дозе 200 кг/га практически не уступали полному удобрению [13], однако в условиях средней тайги Карелии при ежегодном внесении хлористого калия не отмечено улучшения роста культур сосны, хотя содержание калия в почве за 24 года увеличилось в 3 раза [22]. Предполагается [9], что это связано с отрицательным влиянием ионов хлора на корневые системы сосны. Доказано, что при ежегодном внесении хлористого калия насыщенность верхнего слоя почвы сосущими и проводящими корнями сосны снижалась [20]. Вопрос о влиянии калия на структуру годичного кольца, которая в значительной степени определяет качество древесины, здесь не рассматривался.

В большинстве работ [1, 7, 16, 24 – 26] приводятся данные о влиянии одно- и двукратных подкормок, в основном азотными и полными удобрениями, на макроструктуру древесины. Это не позволяет в полной мере оценить роль отдельных элементов питания и механизм их действия, поскольку эффективность подкормок зависит не только от вида удобрений, сроков внесения, почвенных условий, но и в значительной степени от нестабильных погодных условий, которые определяют как интенсивность обменных процессов в растениях, так и потери удобрений от вымывания с осадками и талыми водами,

а также за счет улетучивания в атмосферу. Длительные эксперименты с ежегодным внесением удобрений компенсируют этот недостаток и дают возможность получать дополнительную информацию о влиянии отдельных элементов минерального питания (особенно таких подвижных, как калий) на структуру годичного кольца и рост сосны в толщину, которые в значительной мере определяют запас древостоев и качество древесины.

Цель работы – исследование последствий ежегодного применения калийных удобрений в течение 30 лет на рост сосны в толщину и качество древесины в посевах на деградированных в результате пожара песчаных почвах.

Методика и объекты исследований

Объектом исследования являлись 53-летние культуры сосны, созданные посевом на вересково-паловой вырубке в 1961 г. Густота – 7,0 тыс. шт. посевных мест на 1 га. Почва – поверхностно-подзолистая песчаная на озерно-ледниковых песчаных отложениях [11]. Первоначальной целью эксперимента было изучение влияния разных видов удобрений на сохранность и рост культур, в дальнейшем было предложено исследовать механизмы адаптации сосны к разбалансированному режиму минерального питания. Удобрения применяли ежегодно на протяжении 30 лет. В качестве подкормок использовали мочевины (N), суперфосфат гранулированный (P) и хлористый калий (K), которые вносили вручную в весенний период. Схема опыта: контроль (без удобрений), K, PK, NK. С 1967 г. по 1972 г. азот и калий вносили в дозе 60, фосфор – 120 кг/га по д. в., с 1973 г. по 1996 г. каждый вид удобрений – по 120 кг/га [22].

Культуры исследовали в соответствии с общепринятыми в лесной таксации методами. На каждой пробной площади проводили сплошной пересчет деревьев. Затем методом пропорционального представительства отбирали по 20...24 учетных дерева, у которых буравом Пресслера на высоте 1,3 м брали керны для анализа радиального прироста. Получить по ним статистически достоверные данные по ширине годичных слоев представилось возможным только с 15-летнего возраста, что обусловлено медленным ростом культур в первые годы из-за неблагоприятных водного и питательного режимов почв, а также массового поражения сосны фацидиозом в первые 10 лет. Достоверность различий оценивалась с вероятностью 95 %.

Результаты исследований и их обсуждение

Обследование 53-летних культур показало, что применение чистых и смешанных удобрений повысило продуктивность древостоев на 0,7–1,2 класса бонитета (табл. 1). При этом средний диаметр деревьев увеличился на 13...37 %, высота – на 17...28 %, объем среднего дерева – в 1,5–2,1 раза по сравнению с контролем. Однако достоверные различия с контролем по диаметру были только при использовании смешанных удобрений (NK и PK).

Т а б л и ц а 1

**Таксационные показатели 53-летних культур сосны
при ежегодном применении калийных удобрений в течение 30 лет**

Вариант опыта	Густота стояния, тыс. шт./га	Средние			Полнота	Запас древо-стоя, м ³ /га	Объем среднего дерева, м ³	Класс бонитета
		диаметр*, см	t**	высота, м				
Контроль	1,52	10,8 ± 0,37	—	10,9	0,6	92	0,061	IV,2
К	1,38	12,2 ± 0,65	1,87	12,8	0,7	127	0,092	III,5
РК	1,17	14,2 ± 0,71	4,25	14,0	0,8	148	0,126	III,0
NK	1,70	14,8 ± 0,48	6,60	13,1	1,2	221	0,130	III,4

* С ошибкой определения. ** $t_{табл} = 1,96$.

Подкормка удобрениями изменила ход роста сосны по диаметру. В результате через 30 лет после начала эксперимента различия с контролем составили 10 (К), 30 (РК) и 40 % (НК). Данное соотношение сохранялось и в последующий период (17 лет) до окончания наблюдений (рис. 1).

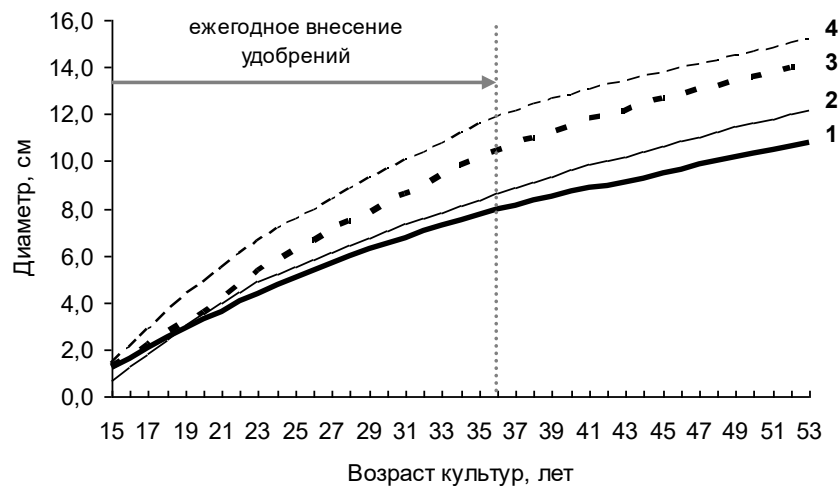


Рис. 1. Ход роста 53-летних культур сосны по диаметру при ежегодном внесении различных видов калийных удобрений: 1 – контроль; 2 – К; 3 – РК; 4 – НК

Известно, что нарастание древесины идет по периферии ствола и с возрастом прирост по диаметру закономерно снижается (рис. 2, а). Поэтому показатель прироста по площади поперечного сечения для оценки ответной реакции дерева на изменение условий среды более информативен, чем ширина годичного слоя (рис. 2, б).

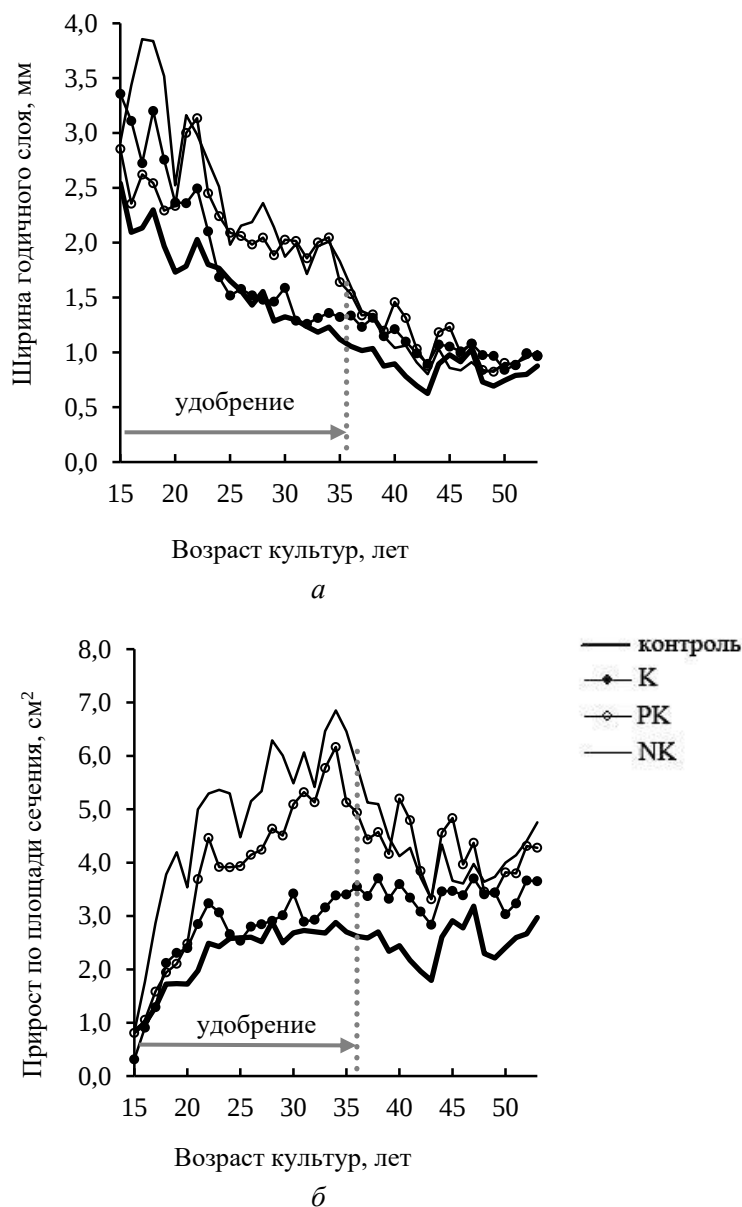


Рис. 2. Динамика радиального прироста (а) и площади сечения ствола (б) при ежегодном внесении различных видов калийных удобрений

Внесение калия отдельно и вместе с фосфором и азотом способствовало увеличению прироста сосны по площади сечения за весь период наблюдений. Причем последствие калия на средний периодический прирост проявилось сильнее, чем в период внесения удобрений, что, видимо, связано с его

накоплением и закреплением в живом напочвенном покрове [15]. Совместное внесение калия с азотом, острый дефицит которого отмечается на песчаных почвах таежной зоны, обеспечило максимальное повышение среднепериодического прироста по площади сечения в период внесения удобрений, но после прекращения подкормок наблюдалось его снижение (табл. 2). Положительное последствие азотно-калийных и фосфорно-калийных удобрений на средний периодический прирост сосны по площади сечения было практически равным.

Таблица 2

Влияние калийных удобрений на средний периодический прирост сосны по площади поперечного сечения

Вариант опыта	Средний периодический прирост					
	за весь период наблюдений		в том числе			
			при внесении удобрений (15...36 лет)		последствие (37...53 года)	
	см ² /о*	t**	см ² /о	t**	см ² /о	t**
Контроль	$2,4 \pm 0,08$ 100	—	$2,3 \pm 0,13$ 100	—	$2,5 \pm 0,09$ 100	—
К	$3,0 \pm 0,12$ 125	4,16	$2,6 \pm 0,18$ 113	1,35	$3,4 \pm 0,06$ 136	8,32
РК	$4,0 \pm 0,19$ 167	7,76	$3,9 \pm 0,33$ 170	4,51	$4,2 \pm 0,13$ 168	10,75
НК	$4,6 \pm 0,20$ 192	10,20	$4,9 \pm 0,33$ 213	7,33	$4,1 \pm 0,13$ 164	10,12

* С ошибкой определения. ** $t_{\text{табл}} = 1,99$.

Анализ данных, полученных начиная с 15-летнего возраста культур до прекращения подкормок их минеральными удобрениями, показал, что внесение хлористого калия вызвало увеличение площади поперечного сечения сосны на 15 %, фосфорно-калийного удобрения – на 69 %, азотно-калийного – на 115 % по сравнению с контролем (рис. 3). В результате последствия внесенных удобрений площадь сечения сосны на высоте 1,3 м увеличилась соответственно на 35, 67 и 65 %. В целом за весь период наблюдений калий обеспечил ее увеличение в 1,2, фосфор с калием – в 1,7, азот с калием – в 1,9 раза.

Ежегодное длительное внесение одного калийного удобрения не оказало достоверного влияния на среднюю ширину годичного кольца 53-летних культур сосны. Фосфорно-калийное и азотно-калийное удобрения увеличили его соответственно на 31 и 38 %, что привело к незначительному снижению количества слоев в 1 см древесины. Несмотря на ежегодное внесение калия в течение 30 лет, доля поздней древесины осталась без изменения, при подкормках смешанными удобрениями она повысилась на 13...17 %. Присутствие азота в их составе привело к снижению базисной плотности древесины на 7 % (табл. 3).

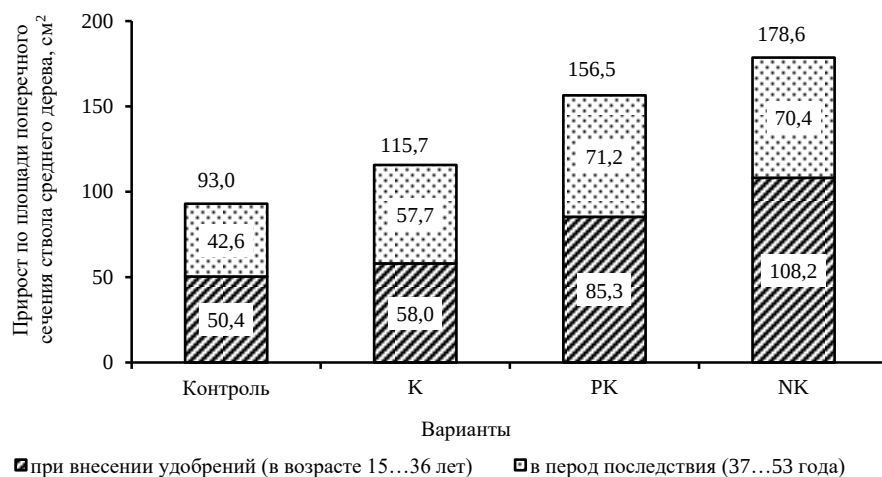


Рис. 3. Влияние калийных удобрений на площадь поперечного сечения ствола среднего дерева

Таблица 3

Влияние калийных удобрений на качество древесины

Вариант опыта	Средние		t**	Доля поздней древесины, %	t**	Базисная плотность древесины*, кг/м³	t**
	количество слоев в 1 см древесины	ширина годовичного слоя*, мм					
Контроль	7,7	1,3 ± 0,08	—	24 ± 0,8	—	430 ± 9	—
К	6,3	1,6 ± 0,11	1,93	24 ± 0,7	0,06	413 ± 7	1,40
PK	5,9	1,7 ± 0,11	3,26	27 ± 0,9	2,26	418 ± 8	0,98
NK	5,6	1,8 ± 0,15	3,25	28 ± 0,7	3,29	400 ± 9	2,32

* С ошибкой определения. ** $t_{\text{табл}} = 1,99$.

Поскольку варианты с применением смешанных удобрений существенно не различались по средней ширине годовичного слоя и доле поздней древесины, то можно предположить, что снижение плотности древесины под воздействием азотных удобрений произошло за счет уменьшения толщины стенок поздних трахеид и (или) увеличения размеров люмена. На это указывают результаты исследований В.А. Козлова [6] по изучению влияния удобрений на макроструктуру древесины, проведенные в том же районе Карелии в условиях сосняка брусничного.

Содержание поздней древесины находилось в обратной зависимости от ширины годовичного слоя. С повышением радиального прироста доля поздней

древесины интенсивней снижалась на контроле. Калийные удобрения несколько замедляли этот процесс. Введение азота в состав удобрений обеспечило максимальную долю поздней древесины (рис. 4). Это может быть связано с уменьшением толщины клеток ранних и увеличением числа рядов поздних трахеид за счет удлинения периода вегетации [1, 2].

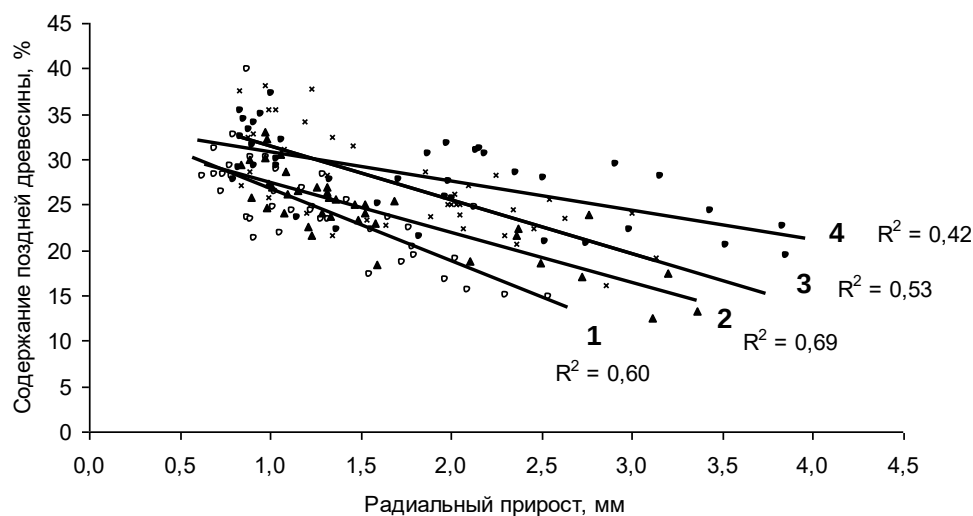


Рис. 4. Зависимость содержания поздней древесины в годичном слое от радиального прироста при ежегодном внесении различных видов калийных удобрений: 1 – контроль; 2 – К; 3 – РК; 4 – НК

Заключение

Последствие влияния хлористого калия на прирост сосны по площади сечения ствола, который был более информативен, чем прирост по диаметру, прослеживалось до конца наблюдений в течение 17 лет. Эффективность влияния калия на средний периодический прирост по площади сечения была достоверно выше, чем во время проведения подкормок. Это объясняется постепенным освобождением запасов калия из растений в процессе биологического круговорота и вымыванием из почвы хлора, оказывающего негативное воздействие на корневую систему сосны.

За весь период наблюдений (от 15 до 53 лет) калийное удобрение обеспечило увеличение площади сечения среднего дерева в 1,2 раза по сравнению с контролем, но более эффективными оказались фосфорно-калийное (в 1,7 раза) и азотно-калийное (в 1,9 раза) удобрения.

Ежегодное применение хлористого калия в течение 30 лет не оказало существенного влияния на среднее количество слоев в 1 см древесины и средний

радиальный прирост. Включение в состав удобрений фосфора и азота привело к ухудшению указанных показателей, но при этом вызвало повышение доли поздней древесины. Внесение азотно-калийных удобрений в посевах сосны на паловых вырубках сосняков брусничных обеспечило достижение максимального диаметра и запаса древостоя, но достоверно снизило плотность древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов А.М. Изменчивость макростроения древесины сосны, выращенной с применением удобрений // Вестн. КрасГАУ. 2015. №1. С. 179–183.
2. Баглай А.Н., Струков В.И. Минеральные удобрения как фактор повышения продуктивности культур сосны // Лесн. журн. 1972. № 5. С. 16–20. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Бузыкин А.И., Дашковская И.С., Пшеничникова Л.С., Суховольский В.Г. Реакция сосны на изменение азотного питания // Экологические проблемы Севера: межвуз. сб. науч. тр. Архангельск: АГТУ, 2003. Вып. 6. С. 91–97.
4. Заключение Общественной комиссии по расследованию причин и последствий природных пожаров в России в 2010 г. Режим доступа: http://www.yabloko.ru/mneniya_i_publicatsii/2010/09/14
5. 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.
6. Козлов В.А. Изменение структуры древесины под влиянием внесения минеральных удобрений // Влияние условий произрастания и лесохозяйственных мероприятий на свойства древесины и целлюлозы: сб. науч. тр. Петрозаводск: Карел. филиал АН СССР, 1980. С. 55–71.
7. Корчагов С.А., Грибов С.Е., Клюквина Н.А., Авдеев Ю.М., Щекалев Р.В. Влияние рубок ухода, внесения удобрений и их комплексного использования на свойства древесины сосны в культурах // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2009. № 1(64). С. 95–99.
8. Кошельков С.П. Режим питания сосновых древостоев южной тайги // Лесоведение. 1967. № 4. С. 64–70.
9. Крутов В.И. Грибные болезни хвойных пород в искусственных ценозах таежной зоны Европейского Севера СССР. Петрозаводск: Карел. филиал АН СССР, 1989. 208 с.
10. Крутов В.И., Волкова И.П., Кивиниеми С.Н., Тимофеев А.В. Влияние удобрений на сохранность культур сосны и распространение грибных болезней и энтомофитов // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере: сб. науч. тр. Петрозаводск: Карел. филиал АН СССР, 1977. С. 93–112.
11. Куликова В.К. Изменение агрохимических свойств почв при внесении минеральных удобрений // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере: сб. науч. тр. Петрозаводск: Карел. филиал АН СССР, 1977. С. 24–41.

12. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-И. Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 424 с.
13. Луганский Н.А., Шавронский В.А., Годовалов Г.А., Запаранюк А.Е. Применение минеральных удобрений в сосняках Среднего Урала // Проблемы повышения продуктивности лесов и перехода на непрерывное рациональное лесопользование в свете решений XXVI съезда КПСС. Архангельск: АИЛиЛХ, 1983. С. 121–122.
14. Морозова Р.М., Федорец Н.Г. Современные процессы почвообразования в хвойных лесах Карелии. Петрозаводск: Карел. НЦ РАН, 1992. 282 с.
15. Ронконен Н.И., Куликова В.К. Влияние удобрений на развитие напочвенного покрова // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере: сб. науч. тр. Петрозаводск: Карел. филиал АН СССР, 1977. С. 42–52.
16. Степаненко И.И. Влияние удобрений на анатомическое строение древесины сосны в разных типах леса // Лесн. журн. 2000. № 4. С. 129–134. (Изв. высш. учеб. заведений).
17. Степаненко И.И. Повышение продуктивности сосновых насаждений в результате внесения минеральных удобрений // Лесн. журн. 2005. № 4. С. 61–69. (Изв. высш. учеб. заведений).
18. Суворов В.И. Физиологическое действие минеральных удобрений на сосну и ель в культурах на вырубках // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве. Минск: БелНИИЛХ, 1974. С. 61–65.
19. Федорец Н.Г., Морозова Р.М., Синькевич С.М., Загуральская Л.М. Оценка продуктивности лесных почв Карелии. Петрозаводск: Карел. НЦ РАН, 2000. 195 с.
20. Чумак Н.Ф. Микоризы сосны на песчаных почвах в связи с применением удобрений: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 1981. 25 с.
21. Шубин В.И. Влияние удобрений на рост культур сосны на песчаных почвах // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере: сб. науч. тр. Петрозаводск: Карел. филиал АН СССР, 1977. С. 66–77.
22. Шубин В.И., Гелес И.С., Крутов В.И., Морозова Р.М., Соколов А.И. Повышение производительности культур сосны и ели на вырубках. Петрозаводск: Карел. НЦ АН СССР, 1991. 176 с.
23. Шутов И.В., Маслакова Е.Л., Маркова И.А. и др. Лесные плантации. (Ускоренное выращивание ели и сосны). М.: Лесн. пром-сть, 1984. 248 с.
24. Haapanen T., Hari P., Kellomaki S. Effect of Fertilization and Thinning on Radial Growth of Scots Pine. *Silva Fennica*, 1979, vol. 13(2), pp. 184–189.
25. Jacobson S., Pettersson F. Growth Responses Following Nitrogen and N-P-K-Mg Additions to Previously N-Fertilized Scots Pine and Norway Spruce Stands on Mineral Soils in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*, 2001, vol. 31(5), pp. 899–909.
26. Makinen H., Uusvaara O. Effect of Fertilization on the Branchiness and Wood Quality of Scots Pine. *Folia forestalia*, 1992, vol. 801.

Поступила 01.03.16

UDC 630*232.33

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.42

The Effect of Long-Term Mineral Fertilizers Treatment on the Pine Diameter Growth at Plantings in the Burnt Clear-Cuts with Sandy Soils. I. The Consequence of the 30-Year Annual Treatment of Potash Fertilizers on the Pine Diameter Growth and Wood Quality

A.I. Sokolov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

A.N. Pekkoev, Candidate of Agricultural Sciences, Research Officer

V.A. Kharitonov, Management Engineer

Forestry Research Institute of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Pushkinskaya ul., 11, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation;

e-mail: alexander.sokolov@krc.karelia.ru, pek-aleksei@list.ru, haritonov@krc.karelia.ru

The paper considers the problem of restoration of forest communities, destroyed by timber harvesting and subsequent fires. The study object was a 53-year-old pine crop seeded in 1961 in a burnt clear-cut of the heather type with sandy soils. The work objective was the research of the aftereffect of the 30-year annual potash fertilizers treatment on the pine diameter growth and wood quality. The fertilizers (potassium chloride (K), superphosphate (P), urea (N)) were applied annually from 1967 to 1996. The experimental design was: control (without fertilization), K, PK, NK. The aftereffect of potash chloride on the increment of the basal area growth of a tree stem, which was more informative than the increase in diameter, was observed until the end of the investigations. The effectiveness of the potassium aftereffect on the average periodic mean annual basal area growth was significantly higher than at the period of supplementary fertilizers. Over the entire observation period (from the age of 15 years to 53 years) the potash fertilizer provided an increase in the basal area of an average tree by a factor of 1.2 compared to the control indicator. However, the phosphate-potassium (by a factor of 1.7) and nitrogen-potash (by a factor of 1.9) fertilizers proved to be more effective. The annual potash chloride application for 30 years had not affected significantly on the average number of layers in 1 cm of wood and the average radial increment. The addition of phosphorus and nitrogen to the fertilizers deteriorated the studied parameters, but simultaneously caused the increase in the proportion of latewood. Nitrogen-potash fertilizers provided the maxima of a mean diameter and a growing stock but reduced the wood density.

Keywords: pine crop, forest fire, wood macrostructure, mineral fertilizer, burnt clear-cut, latewood, radial increment.

For citation: Sokolov A.I., Pekkoev A.N., Kharitonov V.A. The Effect of Long-Term Mineral Fertilizers Treatment on the Pine Diameter Growth at Plantings in the Burnt Clear-Cuts with Sandy Soils. I. The Consequence of the 30-Year Annual Treatment of Potash Fertilizers on the Pine Diameter Growth and Wood Quality. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 42–55. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.42

REFERENCES

1. Antonov A.M. Izmenchivost' makrostroeniya drevesiny sosny, vyrashchennoy s primeneniem udobreniy [Wood Macrostructure Variability of Pine Grown with the Use of Fertilizers]. *Vestnik KrasGAU* [the Bulletin of KrasGAU], 2015, no. 1, pp. 179–183.
2. Baglay A.N., Strukov V.I. Mineral'nye udobreniya kak faktor povysheniya produktivnosti kul'tur sosny [Mineral Fertilizers as a Productivization Factor of Pine Crops]. *Lesnoy zhurnal*, 1972, no. 5, pp. 16–20.
3. Buzykin A.I., Dashkovskaya I.S., Pshenichnikova L.S., Sukhovol'skiy V.G. Reaktsiya sosny na izmenenie azotnogo pitaniya [Pine Reaction to the Change of Nitrogen Nutrition]. *Ekologicheskie problemy Severa* [Ecological Problems of the North]. Arkhangelsk, 2003, vol. 6, pp. 91–97.
4. *Zaklyuchenie Obshchestvennoy komissii po rassledovaniyu prichin i posledstviy prirodnnykh pozharov v Rossii v 2010 g.* [Conclusion of the Public Commission for the Investigation of the Causes and Consequences of Wildfires in Russia in 2010]. Available at: http://www.yabloko.ru/mneniya_i_publicatsii/2010/09/14.
5. Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zyabchenko S.S., Ivanchikov A.A., Morozova R.M. *Obmen veshchestv i energii v sosnovykh lesakh Evropeyskogo Severa* [Metabolism and Energy Change in Pine Forests of the European North]. Leningrad, 1977. 304 p.
6. Kozlov V.A. Izmenenie struktury drevesiny pod vliyaniem vneseniya mineral'nykh udobreniy [Changing of the Wood Structure Under the Influence of Mineral Fertilizers]. *Vliyanie usloviy proizvodstva i lesokhozyaystvennykh meropriyatiy na svoystva drevesiny i tsellyulozy* [The Effect of Growing Conditions and Forest Management Activities on Wood and Pulp Properties]. Petrozavodsk, 1980, pp. 55–71.
7. Korchagov S.A., Gribov S.E., Klyukvina N.A., Avdeev Yu.M., Shchekalev R.V. Vliyanie rubok ukhoda, vneseniya udobreniy i ikh kompleksnogo ispol'zovaniya na svoystva drevesiny sosny v kul'turakh [Impact of Thinning, Fertilizer Application and Their Integrated Use on Wood Properties in Pine Cultures]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2009, no. 1(64), pp. 95–99.
8. Koshel'kov S.P. Rezhim pitaniya sosnovykh drevostoev yuzhnoy taygi [Nutrition Regime of Pine Stands in the Southern Taiga]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1967, no. 4, pp. 64–70.
9. Krutov V.I. *Gribnye bolezni khvoynykh porod v iskusstvennykh tsenozakh taezhnoy zony Evropeyskogo Severa SSSR* [Fungal Diseases of Conifers in Artificial Cenoses of the Taiga Zone of the European North of the USSR]. Petrozavodsk, 1989. 208 p.
10. Krutov V.I., Volkova I.P., Kiviniemi S.N., Timofeev A.V. Vliyanie udobreniy na sokhrannost' kul'tur sosny i rasprostraneniye gribnykh bolezney i entomovrediteley [The Effect of Fertilizers on the Conservation of Pine Plantations and Spread of Fungal Diseases and Pests]. *Povysheniye effektivnosti lesovosstanovitel'nykh meropriyatiy na Severe* [Improving the Efficiency of Reforestation in the North]. Petrozavodsk, 1977, pp. 93–112.
11. Kulikova V.K. Izmeneniye agrokhimicheskikh svoystv pochv pri vnesenii mineral'nykh udobreniy [Changes of the Soil Agrochemical Properties in Fertilizing]. *Povysheniye effektivnosti lesovosstanovitel'nykh meropriyatiy na Severe* [Improving the Efficiency of Reforestation in the North]. Petrozavodsk, 1977, pp. 24–41.
12. Lyr H., Polster H., Fiedler H.J. *Gehölzphysiologie*. Vienna, 1967.
13. Luganskiy N.A., Shavronskiy V.A., Godovalov G.A., Zaporanyuk A.E. *Primeneniye mineral'nykh udobreniy v sosnyakh Srednego Urala* [Application of Mineral

Fertilizers in the Pine Forests in the Middle Urals]. *Problemy povysheniya produktivnosti lesov i perekhoda na nepreryvnoe ratsional'noe lesopol'zovanie v svete resheniy XXVI s"ezda KPSS* [The Problems of Productivization of Forests and the Transition to the Continuous Sustainable Forest Management in the Context of Decisions of the 26th Congress of the CPSU]. Arkhangelsk, 1983, pp. 121–122.

14. Morozova R.M., Fedorets N.G. *Sovremennye protsessy pochvoobrazovaniya v khvoynykh lesakh Karelii* [Current Soil Formation Processes in the Coniferous Forests of Karelia]. Petrozavodsk, 1992. 282 p.

15. Ronkonen N.I., Kulikova V.K. Vliyanie udobreniy na razvitie napochvennogo pokrova [The Effect of Fertilizers on the Ground Cover Development]. *Povyshenie effektivnosti lesovosstanovitel'nykh meropriyatiy na Severe* [Improving the Efficiency of Reforestation in the North]. Petrozavodsk, 1977, pp. 42–52.

16. Stepanenko I.I. Vliyanie udobreniy na anatomicheskoe stroenie drevesiny sosny v raznykh tipakh lesa [The Effect of Fertilizers on the Anatomical Structure of Pine Wood in Different Forest Types]. *Lesnoy zhurnal*, 2000, no. 4, pp. 129–134.

17. Stepanenko I.I. Povyshenie produktivnosti sosnovykh nasazhdeniy v rezul'tate vneseniya mineral'nykh udobreniy [Increasing Productivity of Pine Stands by Mineral Fertilizers Application]. *Lesnoy zhurnal*, 2005, no. 4, pp. 61–69.

18. Suvorov V.I. Fiziologicheskoe deystvie mineral'nykh udobreniy na sosnu i el' v kul'turakh na vyrubkakh [The Physiological Effect of Mineral Fertilizers on Pine and Spruce in Crops in Fellings]. *Primenenie mineral'nykh udobreniy v lesnom khozyaystve* [The Use of Mineral Fertilizers in Forestry]. Minsk, 1974, pp. 61–65.

19. Fedorets N.G., Morozova R.M., Sin'kevich S.M., Zagural'skaya L.M. *Otsenka produktivnosti lesnykh pochv Karelii* [Evaluation of Forest Soil Productivity in Karelia]. Petrozavodsk, 2000. 195 p.

20. Chumak N.F. *Mikorizy sosny na peschanykh pochvakh v svyazi s primeneniem udobreniy*: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk [Mycorrhizae of Pine on Sandy Soils due to the Application of Fertilizers: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs.]. Petrozavodsk, 1981. 25 p.

21. Shubin V.I. Vliyanie udobreniy na rost kul'tur sosny na peschanykh pochvakh [The Effect of Fertilizers on the Pine Crops Growth on Sandy Soils]. *Povyshenie effektivnosti lesovosstanovitel'nykh meropriyatiy na Severe* [Improving the Efficiency of Reforestation in the North]. Petrozavodsk, 1977, pp. 66–77.

22. Shubin V.I., Geles I.S., Krutov V.I., Morozova R.M., Sokolov A.I. *Povyshenie proizvoditel'nosti kul'tur sosny i eli na vyrubkakh* [The Improvement in the Productivity of Pine and Spruce Crops in Fellings]. Petrozavodsk, 1991. 176 p.

23. Shutov I.V., Maslakova E.L., Markova I.A. et al. *Lesnye plantatsii (Uskorennoe vyrashchivanie eli i sosny)* [Forest Plantations (a Quickened Growth of Spruce and Pine)]. Moscow, 1984. 248 p.

24. Haapanen T., Hari P., Kellomaki S. Effect of Fertilization and Thinning on Radial Growth of Scots Pine. *Silva Fennica*, 1979, vol. 13(2), pp. 184–189.

25. Jacobson S., Pettersson F. Growth Responses Following Nitrogen and N-P-K-Mg Additions to Previously N-Fertilized Scots Pine and Norway Spruce Stands on Mineral Soils in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*, 2001, vol. 31(5), pp. 899–909.

26. Makinen H., Uusvaara O. Effect of Fertilization on the Branchiness and Wood Quality of Scots Pine. *Folia forestalia*, 1992, vol. 801.

Received on March 01, 2016

УДК 630*221.02

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.56

ВЛИЯНИЕ ВЫБОРОЧНЫХ ФОРМ РУБОК НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДРЕВЕСИНЫ ПОДПОЛОВОЙ ЕЛИ

Н.А. Дружинин, д-р с.-х. наук, проф.

Ф.Н. Дружинин, д-р с.-х. наук, доц.

С.Е. Грибов, канд. с.-х. наук, доц.

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

Эффективность лесохозяйственных мероприятий оценивается количественными показателями, т. е. по увеличению текущего прироста запасов. Такой способ не позволяет проводить полную и объективную их оценку. Современная экономическая ситуация, наряду с получением показателей продуктивности, требует качественной оценки формирующейся древесины, что может предопределить стоимость получаемых лесоматериалов. Качество древесного сырья характеризуют ряд показателей: сучковатость, макро- и микроскопическое строение древесины, ее плотность, химический состав и др. Нами выполнена качественная оценка формирующейся древесины ели на 8 опытно-производственных объектах (стационар «Норобово», Вологодская область). В целом выборочные формы рубок влияют на качество формируемой древесины подполовой ели. После производства первого приема рубок, особенно с более высокой интенсивностью, увеличиваются диаметры сучьев и средняя ширина годичного слоя. При этом в первые 2-3 года после выполнения лесосечных работ содержание в годичном слое поздней древесины снижается. Установлено, что древесина подполовой ели по всем показателям качества отвечает требованиям государственных отраслевых стандартов. После проведения выборочных форм рубок из подполовой ели формируются еловые и елово-лиственные высококачественные древостои.

Ключевые слова: выборочные формы рубок, равномерно-постепенные рубки, длительно-постепенные рубки, рубки переформирования, сучковатость, процент поздней древесины, плотность древесины.

Существенное ухудшение структуры лесного фонда в таежной зоне обусловлено многими причинами. Это возрастающие до 90-х гг. XX в. объемы сплошных рубок, сосредоточение сырьевого лесопользования вблизи транспортных путей, циклически повторяющиеся массовые лесные пожары.

Для цитирования: Дружинин Н.А., Дружинин Ф.Н., Грибов С.Е. Влияние выборочных форм рубок на качественные показатели древесины подполовой ели // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 56–64. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.56

Недостаточно эффективно проводились мероприятия по содействию естественному возобновлению леса, лесокультурному производству. В следствие интенсивной эксплуатации таежных лесов произошло резкое сокращение площади хвойных насаждений, которые наряду с основной сырьевой нагрузкой выполняют экологические и социальные функции. Внедрение научно обоснованной системы и отдельных мероприятий по стабилизации и улучшению структуры бореальных лесов является первоочередной задачей в научной, практической лесохозяйственной и лесопромышленной деятельности не только в региональном аспекте, но и по стране в целом [5].

Обычно эффективность лесохозяйственных мероприятий лесоводами оценивается количественными показателями, т. е. по увеличению текущего прироста запасов. Однако это не позволяет полно и объективно оценивать эффективность проведения мероприятий. Современная экономическая ситуация, наряду с показателями продуктивности, требует качественной оценки формирующейся древесины, что может предопределить стоимость получаемых лесоматериалов [3]. Качество древесины характеризуют следующие показатели: сучковатость, процент поздней древесины, ширина и количество годовичных слоев, длина волокон, толщина клеточных оболочек, плотность древесины и др. [4, 6, 8].

Сучки являются наиболее распространенным пороком древесины. Применительно к отдельным деревьям под термином «сучковатость» понимают всю совокупность заросших и открытых сучков с учетом их количества, состояния, размеров и распределения, а также влияния на технические свойства древесины. Изучение наружной сучковатости – процесс менее трудоемкий, чем изучение внутренних пороков (гнилей, трещин), так как сучки можно видеть на боковой поверхности растущих деревьев. Точные данные получаются на основании замеров, сделанных непосредственно в насаждении, путем обследования учетных деревьев.

Исследованию сучковатости уделялось достаточно большое внимание. Рядом авторов [3, 9 и др.] установлено, что наличие, размеры и количество сучков может быть обусловлено наследственными особенностями отдельных форм древесных пород, условиями произрастания, полнотой древостоя, а также хозяйственной деятельностью человека. При ретроспективном анализе литературных источников не обнаружено данных о влиянии выборочных форм рубок на сучковатость подполовой ели.

При рассмотрении ствол дерева разбивают на три основные зоны по наличию сучков: бессучковая зона (самая ценная); зона сухих сучьев; крона. Бессучковая зона расположена между основанием ствола дерева и первым мертвым сучком, прикрепленным на стволе, зона сухих сучьев – между высотой прикрепления первого живого сучка и высотой прикрепления первого мертвого сучка, остальное составляет крону.

Целью работы являлась качественная оценка формирующейся древесины подполовой ели после проведения различных форм выборочных рубок.

Исследование выполнено на стационарном объекте «Норобово» (общая площадь – 24 га), который расположен в 148 и 149 кварталах Вологодского государственного лесничества. На стационаре размещены производственные и специально заложенные нами опытно-производственные объекты, включающие 8 вариантов по длительно-постепенным (ДПР), равномерно-постепенным (РПР) рубкам и рубкам переформирования (РПФ) с сортиментной заготовкой древесины (рис. 1). Интенсивность рубки устанавливалась по отпускному диаметру для каждой древесной породы или заданной для сохранения листового яруса древостоя полноте. Лесосечные работы выполнялись бригадой вальщиков (бензопилы «Хиссвапа») со сбором и вывозкой сортиментов форвардерами.

<u>V</u> Д _{ср} – степень толщины	<u>VI</u> Д _{ср} + степень толщины	<u>VII</u> Д _{ср}	<u>VIII</u> 100 % выборка I яруса
<u>IV</u> 350	<u>III</u> 400	<u>II</u> 375	<u>I</u> 300

a



б

Рис. 1. Схема (*a*) и фото (*б*) размещения вариантов (I – VIII) опытов

Еловый ценоэлемент леса по своему физиологическому состоянию характеризовался высокой жизненностью. Подпологовая ель (деревья второго яруса и подрост) в количестве свыше 2,0...2,5 тыс. экз./га была представлена в основном крупным (высота до 8...10 м) подростом 40–55-летнего возраста.

Протяженность различных зон ствола у подпологовой ели после выборочных форм рубок связана, прежде всего, с ее жизненным состоянием, а не с видом рубки (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Протяженность различных зон стволов ели, сформировавшихся после проведения выборочных рубок

Зона ствола	Протяженность зоны					
	РПР		РПФ		ДПР	
	м	%	м	%	м	%
Бессучковая зона	1,7 ± 0,32	12	0,6 ± 0,08	4	0,5 ± 0,08	4
Зона сухих сучьев	2,7 ± 0,36	18	2,5 ± 0,10	16	4,0 ± 0,59	28
Живая крона	10,3 ± 0,77	70	12,9 ± 1,72	80	9,6 ± 0,84	68

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, 4, 5, приведены показатели с ошибкой определения.

Из всех показателей протяженность бессучковой зоны представляет особый интерес. Она наиболее точно отражает процесс естественного очищения ствола от сучьев и определяет процент выхода из стволовой древесины наиболее ценных сортиментов при раскряжевке. В этом отношении подпологовая ель имеет самые высокие значения протяженности (1,7 м) на объектах РПР, что в 3 раза больше, чем в вариантах с РПФ и ДПР. При статистической обработке полученных данных достоверность различий доказана ($t_{\phi} = 3,44$; $t_{st} = 2,00$).

Как известно, крона дерева является не только источником, но и регулирующим центром, ответственным за рост и формирование древесины. По литературным данным [7, 9 и др.], ее параметры определяют изменения в содержании поздней зоны годовых колец, а также времени перехода от образования ранней древесины к поздней, что в конечном итоге отражается на качестве древесных материалов.

Протяженность ствола с живой кроной по вариантам рубок варьирует от 9,6 м до 12,9 м. Наименьший показатель по этой зоне установлен для ели после ДПР высокой интенсивности. При этом доля зоны с сухими сучьями составляет 28 % от высоты ствола. Протяженность зоны с сухими сучьями во всех вариантах изменяется в небольших пределах. Достоверность различий по всем показателям доказана.

В соответствии с ГОСТ 9463–88 [2] качество древесины определяется размерами и нормами допускаемых по стандарту пороков. Для оценки сортности хвойных круглых лесоматериалов предусматривается определение разновидности сучков и их диаметра у основания [1]. Разновидности сучков (здоровые, загнившие, гнилые, табачные) имеют важное практическое значение в целлюлозно-бумажном производстве, косвенно позволяя определять наличие (отсутствие) гнили в древесине сортимента и общее состояние (качество) используемой древесной массы. Диаметр сучков влияет на трудозатраты при их обрезке и определяет возможность использования сучкорезных устройств.

Основные требования к сырью сводятся к следующим показателям: размер, норма допускаемых по стандарту пороков. Пиловочные бревна по ГОСТ 9463–88 [2] относят к 1-, 2- и 3-му сортам. Ограничения по сучкам (за исключением табачных) введены для 1- и 2-го сортов. Размер сучков у основания ствола не должен превышать 5 см.

Увеличение интенсивности рубок (ДПР, РПФ) отражается на размере сучков (табл. 2). Максимальное значение, определенное нами для подпологовой ели после РПФ, составило 1,2 см. Достоверность различий доказана по всем вариантам (видам) рубок.

Таблица 2

**Изменение среднего диаметра у основания сучков
для подпологовой ели после первого приема рубок**

Рубка	Диаметр сучка, см		
	min	max	средний
РПР	0,2	3,1	1,1±0,02
РПФ	0,1	4,2	1,2±0,04
ДПР	0,1	1,8	0,7±0,02

Сучковатость древесных стволов при проведении выборочных форм рубок можно регулировать интенсивностью изреживания господствующего древесного яруса. Связь между диаметром сучков и высотой их прикрепления оказалась очень высокой ($r = 0,97 \dots 0,98$) и характеризуется уравнением параболы третьего порядка (табл. 3, рис. 2).

Таблица 3

**Связь между диаметром сучков у основания и высотой их прикрепления
на стволах ели**

Рубка	Уравнение	Корреляционное отношение r
ДПР	$y = a + bx + cx^2 = dx^3$	0,98
РПР	$y = a + bx + cx^2 = dx^3$	0,97
РПФ	$y = a + bx + cx^2 = dx^3$	0,97

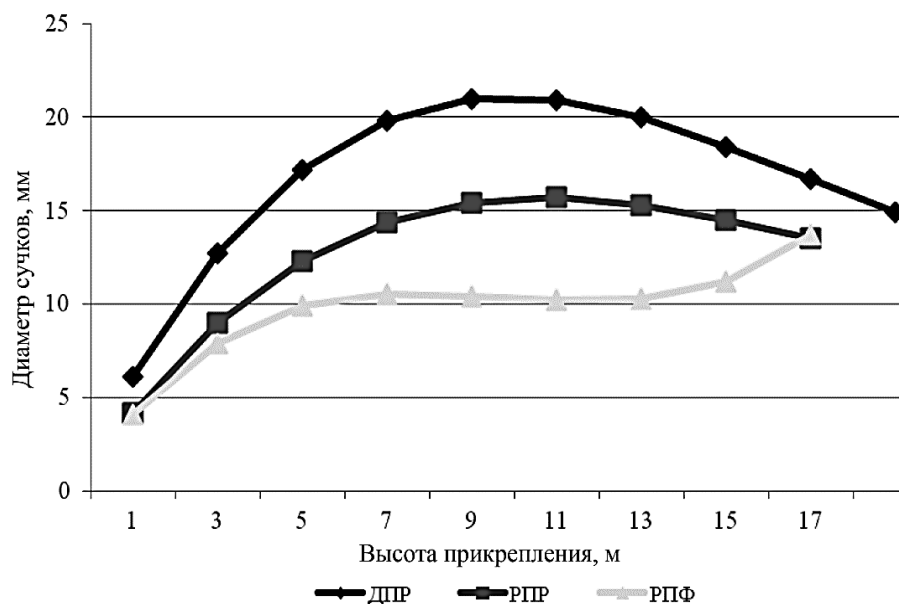


Рис. 2. Изменение среднего диаметра сучков ели по высоте ствола в зависимости от вида проведенной выборочной рубки

Проведение выборочных форм рубок оказывает влияние на макроскопическое строение древесины ели. Содержание в годичном слое поздней древесины максимально после РПФ и составляет 32 %. Сравнение периодов до и после рубок выявило следующее. В насаждениях, пройденных выборочными формами рубок, содержание поздней древесины в годичном слое выше, чем в годичных кольцах до выполнения лесосечных работ. Для ДПР этот показатель выше на 13 %, для РПР – на 20 %, для РПФ – на 19 %. В результате на начальном этапе после рубок подполюговая ель откладывает годичные кольца с меньшим процентом поздней древесины. С увеличением интенсивности выборки содержание поздней древесины в годичном слое также снижается.

Кроме того, после лесосечных работ (табл. 4) формируется более широко-
слоистая древесина. Во всех вариантах количество годовичных слоев в 1 см умень-
шилось на 42...59 %, в том числе: ДПР – на 42 %, РПР – на 59 %, РПФ – на 57 %.

Таблица 4

**Изменение морфометрических параметров годовичного слоя древесины
подполовой ели под влиянием выборочных форм рубок**

Рубка	Морфометрические параметры			
	до рубки		после рубки	
	Ширина, см	Количество, шт., годовичных слоев в 1 см	Ширина, см	Количество, шт., годовичных слоев в 1 см
ДПР	1,29±0,06	8,1±0,40	1,70±0,04	5,7±0,23
РПР	1,43±0,02	7,0±0,11	2,32±0,07	4,4±0,14
РПФ	1,34±0,09	7,7±0,51	2,04±0,08	4,9±0,18

Средняя ширина годовичного слоя после рубок увеличилась от 27 до 38 %. При этом максимальное значение отмечено у подполовой ели после РПР. В результате выборочных форм рубок произошло увеличение радиаль-
ного прироста с уменьшением процентного содержания поздней древесины. При статистической обработке полученных данных достоверность различий доказана по всем показателям и по всем вариантам ($t_{\phi} = 5,22-14,44$; $t_{st} = 2,00$).

О.И. Полубояринов [9] отмечает, что плотность является важнейшей
качественной характеристикой древесного сырья, которую необходимо учи-
тывать как в процессе лесовыращивания, так и при использовании древесины. На объектах исследования до производства выборочных форм рубок плот-
ность примерно была одинаковой и находилась в пределах 334...375 кг/м³. Плотность древесины, как и все остальные показатели, также изменялась в зависимости от вида рубок (табл. 5).

Таблица 5

**Изменения плотности древесины подполовой ели
под влиянием выборочных форм рубок**

Рубка	Плотность древесины, кг/м ³	
	до рубки	после рубки
ДПР	379±15	408±16
РПР	417±2	382±4
РПФ	458±24	447±8

Наиболее плотная древесина ели формировалась до проведения рубок. Производство выборочных форм рубок вызвало снижение плотности древе-
сины на 2,4...8,4 %. Однако при статистической обработке полученных данных достоверность различий доказана только в варианте с РПР ($t_{\phi} = 7,82$; $t_{st} = 2,00$).

Исследование распределения плотности древесины внутри ствола позволило установить, что у деревьев, имеющих период первоначального угнетения, высокая плотность характерна для центральной и прикомлевой части ствола. У экземпляров, вышедших из-под влияния господствующего яруса древостоя, максимальное значение этого показателя определено для нижней и подкроновой частей ствола.

Динамика плотности древесины на высоте груди у деревьев показала следующее (табл. 6). В начальные годы жизни с возрастом плотность уменьшается, затем в 30...40 лет начинает возрастать. Изменчивость по этому показателю чаще умеренная (6...10 %), реже значительная (11...20 %).

Таблица 6

**Статистические показатели динамики плотности (кг/м³)
древесины ели на высоте груди от центра ствола к периферии**

Статистический показатель	Значение показателя по десятилетиям					
	10	20	30	40	50	60
<i>M</i> , кг/м ³	358	341	355	368	399	390
<i>m</i> , кг/м ³	17	11	12	14	21	22
δ , кг/м ³	58	44	43	47	68	51
<i>C</i> , %	15,8	12,9	12,1	12,8	16,9	13,0
<i>P</i> , %	4,7	3,2	3,4	3,8	5,3	5,6

Примечание. *M* – среднее значение; *m* – ошибка среднего значения; δ – среднеквадратичное отклонение; *C* – коэффициент изменчивости; *P* – точность опыта.

В целом производство выборочных форм рубок влияет на качество формируемой древесины подпологовой ели. После первого приема рубок, особенно с более высокой интенсивностью, увеличиваются диаметры сучьев и средняя ширина годичного слоя. При этом содержание поздней древесины уменьшается в первые 2-3 года после выполнения лесосечных работ. Качественная оценка древесины подпологовой ели показала, что она по всем параметрам отвечает требованиям государственных отраслевых стандартов. После проведения выборочных форм рубок из подпологовой ели формируются еловые и елово-лиственные высококачественные древостои.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 2140–81. Пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения. Введ. 30.06.81. М.: Изд-во стандартов, 1981. 111 с.
- ГОСТ 9463–88. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия. Введ. 21.04.88. М.: Изд-во стандартов, 1988. 13 с.
- Грибов С.Е. Влияние природных и антропогенных факторов на качество древесины хвойных пород в культурах средней и южной тайги (на примере Вологодской области): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Вологда-Молочное, 2007. 20 с.
- Давыдов А.В. Влияние сомкнутости насаждения и рубок ухода за лесом на сучковатость и форму стволов // Рубки ухода за лесом: сб. тр. ЦНИИЛХ. Л.: Гослестехиздат, 1940. С. 5–49.

5. Дружинин Н.А., Дружинин Ф.Н. Классификация и особенности сплошных и выборочных форм рубок // Лесн. журн. №5(335). 2013. С. 59–63. (Изв. высш. учеб. заведений).

6. Звездис А.И. Выборочные рубки и их влияние на форму ствола деревьев в ельниках Латвийской ССР // Тр. Ин-та лесохозяйств. проблем. 1956. Т. 11. С. 41–58.

7. Крамер, П., Козловский Т. Физиология древесных растений. М.: Гослесбумиздат, 1963. 627 с.

8. Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корчагов С.А. Качество древесины сосны в культурах. Архангельск: АГТУ, 2003. 109 с.

9. Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.

Поступила 14.01.16

UDC 630*221.02

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.56

The Influence of Selective Cutting on the Wood Quality Indicators of Understory Spruce

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

F.N. Druzhinin, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

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

Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin,

Pankratova ul., 9a, bl. 7, Molochnoye, Vologda, 160555, Russian Federation;

e-mail: drujinin@mail.ru, griboff.s.e@mail.ru

The efficiency of forest management activities is estimated by quantitative indicators, namely by the increase of the current growing stock increment. This method does not allow us to estimate them objectively. The current economic situation requires the information of the productivity indicators and a qualitative evaluation of the forming wood that can determine the value of produced timber. The quality of wood raw material is characterized by a number of indicators: branchiness, macro and microstructure of wood, its density, chemical composition, etc. We have carried out a qualitative assessment of the forming spruce wood in 8 experimental production sites ("Norobovo" station, Vologda region). Selective cutting affect the quality of the forming wood of understory spruce. After the first felling, especially with a higher intensity, the branch diameters and an average width of an annual ring increase. In the first 2–3 years after the logging activities the latewood maintenance in the annual layer is reduced. The wood of understory spruce meets the requirements of the state industry standards upon all quality indicators. After the selective cutting the spruce and spruce and deciduous high quality forest stands are formed from understory spruce.

Keywords: selective cutting, even gradual cutting, two-pass cutting system, restocking felling, branchiness, percentage of latewood, wood density.

For citation: Druzhinin N.A., Druzhinin F.N., Gribov S.E. The Influence of Selective Cutting on the Wood Quality Indicators of Understory Spruce. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 56–64. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.56

REFERENCES

1. GOST 2140–81. *Poroki drevesiny. Klassifikatsiya, terminy i opredeleniya, sposoby izmereniya* [State Standard 2140–81. Defects in Timber. Classification, Terms and Definitions, Measurement Methods]. Moscow, 1981. 111 p.
2. GOST 9463–88. *Lesomaterialy kruglye khvoynykh porod. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 9463–88. Round Timber of Coniferous Species. Technic Specifications]. Moscow, 1988. 13 p.
3. Gribov S.E. *Vliyanie prirodnnykh i antropogennykh faktorov na kachestvo drevesiny khvoynykh porod v kul'turakh sredney i yuzhnoy taygi (na primere Vologodskoy oblasti): avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [The Influence of Natural and Anthropogenic Factors on the Quality of Softwood in the Cultures of the Middle and Southern Taiga (the Case of the Vologda Region): Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Vologda-Molochnoye, 2007. 20 p.
4. Davydov A.V. *Vliyanie somknutosti nasazhdeniya i rubok ukhoda za lesom na suchkovatost' i formu stvolov* [The Effect of the Stand Canopy Density and Thinning on the Branchiness and the Stems Form]. *Rubki ukhoda za lesom* [Intermediate Cutting]. Leningrad, 1940, pp. 5–49.
5. Druzhinin N.A., Druzhinin F.N. *Klassifikatsiya i osobennosti sploshnykh i vyborochnykh form rubok* [Classification and Peculiarities of Clear and Selective Cuttings]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 5, pp. 59–63.
6. Zviedris A.I. *Vyborochnye rubki i ikh vliyanie na formu stvola derev'ev v el'nikakh Latviyskoy SSR* [Selective Cutting and Their Influence on the Trees Stem Form in Spruce Forests of the Latvian SSR]. *Trudy Instituta lesokhozyaystvennykh problem* [Proceedings of the Institute of Forestry Problems], 1956, vol. 11, pp. 41–58.
7. Kramer P., Kozlovskiy T. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of Woody Plants]. Moscow, 1963. 627 p.
8. Melekhov V.I., Babich N.A., Korchagov S.A. *Kachestvo drevesiny sosny v kul'turakh* [The Quality of Pine Wood in Cultures]. Arkhangelsk, 2003. 109 p.
9. Poluboyarinov O.I. *Plotnost' drevesiny* [Wood Density]. Moscow, 1976. 160 p.

Received on January 14, 2016

УДК 630*232

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.65

АНАЛИЗ ЕСТЕСТВЕННОГО ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПАРЦЕЛЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ В СОСНОВО-ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ПОСЛЕ ВЫБОРОЧНЫХ САНИТАРНЫХ РУБОК

В.П. Иванов, д-р биол. наук, проф.

А.В. Ерохин, канд. с.-х. наук, доц.

Т.Г. Колосова, студент

Брянский государственный инженерно-технологический университет,

ул. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037;

e-mail: ivpinfo@mail.ru

После аномальной жары 2010 г. произошло усыхание ели в смешанных сосново-еловых насаждениях Учебно-опытного лесхоза Брянского государственного инженерно-технологического университета. Актуальным становится вопрос оздоровления и восстановления поврежденных насаждений, так как даже смешанные сосново-еловые древостои теряют устойчивость и усыхают, а ксилофаги после отработки ели переселяются на сосну обыкновенную. Для оздоровления насаждений проводят выборочные санитарные рубки, что создает сложности, связанные с организацией внепланового ухода на значительной площади, высокими затратами при низкой окупаемости. В дальнейшем лесосеки зарастают мелколиственными породами и кустарниками. После проведения выборочных санитарных рубок в типах леса сосняк-черничник и сосняк-кисличник продолжается разрушение сосново-еловых древостоев. Формированию устойчивых смешанных сосново-еловых древостоев на лесосеках выборочных санитарных рубок способствует рациональное содействие естественному лесовозобновлению на основе анализа характеристики самосева. Объекты исследования представлены смешанными по составу сосново-еловыми древостоями после проведения в них выборочных санитарных рубок, вызванных усыханием ели и деградацией древостоя. Детальные обследования проведены на пробных площадях, где изучены таксационные показатели и состояние материнского древостоя, проанализировано естественное возобновление по составу, густоте, высоте, возрасту, характеру размещения по площади. Изучение самосева проведено на основе парцеллярной структуры лесосек. Дан детальный анализ лесорастительных условий парцелл, состояния самосева и прогноз характера будущего древостоя. Успешному естественному возобновлению на лесосеках и формированию смешанных сосново-еловых древостоев с участием лиственных пород помогает механизированная и огневая минерализация почвы при сжигании порубочных остатков. Участие подлесочных пород в естественном возобновлении повышает плодородие почвы, биологическое разнообразие и устойчивость

Для цитирования: Иванов В.П., Ерохин А.В., Колосова Т.Г. Анализ естественного лесовозобновления на основе парцеллярной структуры в сосново-еловых насаждениях после выборочных санитарных рубок // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 65–75. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.65

насаждений, снижает класс пожарной опасности, предотвращает эрозионные процессы, способствует биологическому круговороту веществ.

Ключевые слова: естественное лесовозобновление, смешанные насаждения, выборочные санитарные рубки, парцеллярная структура, самосев, лесосека, лесообразователи, подлесочные породы.

Введение

Новая волна усыхания еловых насаждений произошла в 2011-12 гг. после аномальной жары в июле-августе 2010 г. и длительной засухи. Усыхание ели европейской (*Picea abies* L., далее ель), как и ранее, протекает быстро, с единичным, куртинно-групповым и сплошным отмиранием деревьев практически во всех возрастных группах древостоев. Процесс происходит в чистых ельниках и смешанных насаждениях с участием ели на фоне ослабляющей роли антропогенных факторов в виде техногенных загрязнений, рубок леса, увеличения рекреационной нагрузки [6–8].

Все более актуален вопрос оздоровления и восстановления поврежденных насаждений, так как даже смешанные сосново-еловые древостои теряют устойчивость и усыхают, ксилофаги после отработки ели переселяются на сосну обыкновенную (*Pinus sylvestris* L., далее сосна). Для оздоровления насаждений проводят выборочные санитарные рубки, после чего лесосеки зарастают мелколиственными породами и кустарниками. Проведение санитарных рубок требует оперативности, предохранения от повреждений оставляемых деревьев, сохранение подроста, использование малогабаритной техники, своевременной очистки лесосек путем сжигания порубочных остатков. Сложности санитарных рубок связаны с организацией внепланового ухода на значительной площади и высокими затратами при низкой окупаемости [11, 12].

Рациональное лесовосстановление после проведения санитарных рубок способствует формированию устойчивого древостоя, постоянному и непрерывному пользованию лесными ресурсами на основе потенциала природного возобновления экосистемы. Поддержание биологического разнообразия, рациональное ведение хозяйства в лесу и расширенное воспроизводство лесных ресурсов – необходимые условия для формирования высококачественных насаждений [13, 14].

Естественное лесовозобновление снижает трудозатраты при уходе за главной породой, обеспечивает сохранение генетического потенциала популяции, сокращает время лесовыращивания [15]. Возобновительные процессы способствуют биологическому равновесию в лесу, но они зависят от условий среды, климата и погоды, почвы, фауны, растительного покрова и других экологических факторов [9].

Исследование процесса естественного возобновления в сосново-еловых древостоях после проведения выборочных санитарных рубок представляет особый интерес, так как растения разных пород, помимо конкуренции, создают

взаимоблагоприятные условия для произрастания. Весьма часто сосна и ель в чистых древостоях, в одинаковых почвенных условиях, менее продуктивны, чем при совместном произрастании [2, 4].

Изучение состояния самосева и характера распределения его на вырубке или лесосеке с использованием парцеллярной структуры участка [1, 3, 5, 16, 17] позволит дать детальный анализ лесорастительных условий и прогноз формирования будущего древостоя.

Объекты и методика исследований

Объекты исследования представлены смешанными по составу сосново-еловыми древостоями после проведения в них выборочных санитарных рубок, вызванных усыханием ели и деградацией древостоя. Рекогносцировочное обследование проведено на лесосеках в Карачижском (кварталы: 58, 59, 66) и Опытном (кварталы: 31, 34, 61, 81, 86) отделах Учебно-опытного лесхоза (УОЛ) Брянского государственного инженерно-технологического университета. Более детальные обследования были проведены на пробных площадях (ПП) в кварталах 61 (выд. 17) и 81 (выд. 1) Опытного отдела УОЛ. На ПП изучали таксационные показатели и состояние материнского древостоя, проводили анализ естественного возобновления по составу, густоте, высоте, возрасту, характеру размещения на ПП [10] в соответствии с парцеллярной структурой лесосеки. Парцеллярную структуру лесосеки определяли по рекомендациям Н.В. Дылиса [3] в соответствии с доминирующими растениями живого напочвенного покрова, подлесочными породами и другими особенностями.

Цель исследований – выявление состояния и характера размещения естественного возобновления на лесосеках после выборочных санитарных рубок в сосново-еловых древостоях. В задачи исследований входило изучение возможности использования парцеллярной структуры участка для содействия естественному возобновлению сосны и ели в типах леса сосняк-черничник и сосняк-кисличник.

Результаты исследования естественного возобновления

Выборочная санитарная рубка в кв. 61, выд. 17 (ПП № 1) проведена в 2012 г. в сосново-еловом древостое вследствие повреждения елового элемента леса короедом-типографом. Состав древостоя на момент исследования 8С2Е, возраст 110 лет, средний диаметр 42 см, средняя высота 29 м, класс бонитета I, относительная полнота 0,34, тип леса – сосняк-черничник, тип лесорастительных условий (ТЛУ) В_з, запас 155,2 м³/га.

После рубки отмечается снижение биологической устойчивости древостоя. В основном элементе преобладает древостой III категории санитарного состояния (сильно ослабленные деревья – 76 %). В еловом элементе здоровые деревья отсутствуют, ослабленные и сильно ослабленные составляют 41 %, усыхающие – 15 %, старый сухостой (включая ветровальные деревья) – 44 %, что свидетельствует о продолжающемся процессе отпада.

Через 3 года после рубки в типе леса сосняк-черничник сформировалась следующая парцеллярная структура лесосеки: вейниковые парцеллы – 57 %, мшисто-черничные – 40 %, парцеллы с минерализованной поверхностью почвы – 3 %.

Наиболее благоприятные лесорастительные условия для естественного возобновления в сосняке-черничнике на ПП № 1 сформировались в парцелле с минерализованной поверхностью почвы (табл. 1), где количество самосева составило 15 000 шт./га (ель – 60 %, сосна – 40 %). Отсутствие 3-летнего самосева сосны можно объяснить непреднамеренным удалением «напочвенного» запаса семян при минерализации почвы, хотя 2-летний самосев (10 000 шт./га) и значительное количество однолетнего (5 000 шт./га) указывают на перспективу формирования нового поколения леса.

В этой же парцелле самосев ели положительно реагирует на отсутствие конкуренции со стороны травяной растительности, поэтому среди 3-летнего самосева (1 000 шт./га) преобладают особи высотой более 20 см (56 %). Количество однолетних растений составляет 8 000 шт./га, особи высотой до 10 см и 11...20 см – по 22 %. Возобновление лиственных пород на момент исследований отсутствует, что повышает класс пожарной опасности насаждения и вероятность гибели хвойного возобновления при низовом пожаре.

В мшисто-черничных парцеллах преобладает самосев березы (*Betula pendula* Roth и *Betula pubescens* Ehrh, далее береза), составляющий – 33 % (из 1-, 2- и 3-летних растений) и ели – 17 %. Из подлесочных пород доминирует рябина (*Sorbus aucuparia* L., далее рябина) – 31 %. Моховой покров препятствовал укоренению всходов сосны, но в дальнейшем, в результате изменения освещенности и прогрева почвы, его мощность снизилась, и сформировались более благоприятные условия для появления самосева. Мшисто-черничные парцеллы менее благоприятны для естественного возобновления хвойных (сосна – 250 шт./га; ель – 833 шт./га), но они более приемлемы для самосева дуба черешчатого (*Quercus robur* L., далее дуб), березы, клена остролистного (*Acer hlatanoides* L., далее клен) и ольхи черной (*Alnus glutinosa* L., далее ольха). Возобновительная способность в них сохраняется даже на третий год после санитарной рубки, что подтверждает наличие 1-летних всходов ели и сосны.

В вейниковой парцелле самосев хвойных пород представлен особями 3-летней сосны – 117 шт./га и всходами – 353 шт./га (всего 7 %), ель отсутствует, возможно, из-за конкуренции с живым напочвенным покровом. Преобладает самосев березы (61 %), из подлесочных пород – рябины (11 %). Интенсивное задернение поверхности почвы негативно отразилось на самосеве хвойных, его перспективы весьма призрачны. Лесорастительные условия как вейниковых, так и мшисто-черничных парцелл вполне подходят для возобновления лиственных пород: березы, дуба, клена, даже ольхи черной.

Самосев дуба высотой более 20 см (66,5 %) и клена в вейниковых парцеллах представляет интерес для формирования смешанного древостоя с участием дуба во втором ярусе.

Таблица 1

**Состав и густота естественного возобновления (шт./га) древесных пород
по парцелярной структуре лесосеки (ПП № 1, кв. 61)**

Парцеллы	Сосна	Ель	Бере- за	Дуб	Клен	Оль- ха	Подлесок		Всего
							Ряби- на	Кру- шина	
Вейниковые	470	–	4000	176	529	176	705	470	6526
С минерализо- ванной поверхностью	6000	9000	–	–	–	–	–	–	15000
Мшисто- черничные	250	833	1666	83	333	–	1500	250	4915

Наличие однолетних всходов сосны во всех парцеллах на третий год после проведения санитарной рубки может свидетельствовать о повышении урожайности шишек и семян в 2013 г.

Самосев подлесочных пород из рябины и крушины ломкой (*Frangula alnus* Mill., далее крушина) в мшисто-черничных и вейниковых парцеллах расширяет биоразнообразие и позволяет снизить класс пожарной опасности насаждений.

В типе леса сосняк-черничник, в связи с продолжением процесса отпада в сосново-еловом древостое, необходимо проведение очередного приема выборочной санитарной рубки для его оздоровления. В дальнейшем целесообразно формирование смешанного древостоя с преобладанием сосны, которая по устойчивости и производительности превосходит ель.

Выборочная санитарная рубка осуществлена в 2012 г. в сосново-еловом древостое на ПП № 2 (кв. 81, выд. 14) вследствие усыхания елового элемента. Лесоводственно-таксационная характеристика насаждения изменилась: состав 10С+Е, возраст 140 лет, средний диаметр 46 см, средняя высота 31 м, класс бонитета I, относительная полнота 0,59, тип леса – сосняк-кисличник, ТЛУ С₂, запас 311,10 м³/га. Устойчивость древостоя продолжает снижаться: сухостой сосны составляет 0,13 м³/га, ели – 0,04 м³/га. В сосновом элементе преобладают сильно ослабленные деревья III категории санитарного состояния (66 %). В еловом элементе здоровые деревья отсутствуют, ослабленные и сильно ослабленные составляют 43 %, усыхающие – 41 %, сухостой – 16 %.

На лесосеке выделены 3 парцеллы: лещиновая – 60 % площади, мшисто-черничная – 33 %, огневища (места сжигания порубочных остатков) – 7 %.

Наибольшее количество самосева (10 500 шт./га) представлено на огневищах (табл. 2): сосна – 7 000 шт./га, ель и клен – по 500 шт./га, а также рябина и лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L., далее лещина). Основными конкурентами для сосны (66 % по густоте) выступают лещина (14 %) и рябина (10 %). Сжигание порубочных остатков в небольших кучах изменяет толщину лесной подстилки и создает более приемлемые условия для возобновления, но повышенная зольность препятствует появлению ели, густота которой составляет 5 % [4].

Возобновление в лещиновых парцеллах на 98 % представлено самосевом лиственных пород из клена (1 333 шт./га), дуба (277 шт./га) и подлесочных пород – рябины, лещины обыкновенной, крушины ломкой (всего 4 108 шт./га). Под пологом лещины при недостаточном освещении сложились не вполне благоприятные условия для возобновления хвойных: сосны (55 шт./га – 2 %) и ели, поэтому разреживание лещинового подлеска в перспективе даст возможность формирования широколиственного смешанного древостоя с участием сосны и, возможно, ели.

Мшисто-черничные парцеллы наиболее широко представлены видовым составом самосева из сосны, ели, дуба, клена, рябины, лещины, крушины, но с наименьшей общей густотой (3 600 шт./га) по сравнению с другими парцеллами. Преобладает самосев подлесочных пород: рябины – 28 %, крушины – 19 %, лещины – 8 %; из лесообразователей – клена и дуба (соответственно 17 и 14 %). При относительной полноте древостоя 0,69 для возобновления ели также сложились не вполне благоприятные условия, поэтому 2- и 3-летний самосев ее насчитывает по 100 шт./га. Световой и тепловой режимы под пологом древостоя, толщина моховой подушки после рубки изменились незначительно. Возможно, лесорастительные условия в данных парцеллах менее благоприятны для возобновления хвойных пород: самосев сосны составляет 8 %, ели – 6 %.

Таблица 2

Состав и густота естественного возобновления (шт./га) древесных пород по парцеллярной структуре лесосеки (ПП № 2, кв. 81)

Парцеллы	Сосна	Ель	Дуб	Клен	Подлесок			Всего
					Рябина	Лещина	Крушина	
Лещиновые	55	–	277	1333	777	944	722	4108
Огневища	7000	500	–	500	1000	1500	–	10500
Мшисто-черничные	300	200	500	600	1000	300	700	3600

Таким образом, в сосново-еловых насаждениях в типе леса сосняк-кисличник (ПП № 2) продолжается снижение биологической устойчивости древостоя и происходит интенсивное усыхание елового элемента, менее интенсивное – соснового.

Самосев сосны (1–3 года) произрастает во всех парцеллах. В мшисто-черничных он входит в группу высот свыше 20 см (300 шт./га), в лещиновых – до 10 см. На огневищах произошло более успешное возобновление сосны с преобладанием однолетних растений (5 500 шт./га). Всходы ели отмечены по периферии огневищ (500 шт./га) и в мшисто-черничных парцеллах (200 шт./га). В мшисто-черничных и лещиновых парцеллах возобновление хвойных затруднено из-за высокой конкуренции с лиственными породами.

Самосев дуба отмечен в лещиновых и мшисто-черничных парцеллах с преобладанием особей высотой более 20 см (80 %). В перспективе здесь возможно создание смешанного хвойно-широколиственного древостоя с участием дуба, клена и подлесочных пород.

Самосев подлесочных пород из рябины и лещины высотой более 20 см отмечен во всех парцеллах, крушины – в мшисто-черничных и лещиновых. Подлесок повышает конкуренцию лесообразователям, но увеличивает биоразнообразие и снижает класс пожарной опасности насаждений. При проведении очередного приема санитарной рубки целесообразно частичное удаление рябины и лещины для снижения конкуренции возобновлению лесообразователей на ранних стадиях.

Для более успешного возобновления сосны и ели в типе леса сосняк-кисличник целесообразны механизированная или огневая минерализация почвы сжиганием порубочных остатков в небольших кучах и разреживание подлеска.

Заключение

В сосново-еловых древостоях (типы леса сосняк-черничник и сосняк-кисличник) продолжается снижение биологической устойчивости после проведения выборочных санитарных рубок. Можно считать, что последствия аномально высоких атмосферных температур на фоне засушливых периодов имеют долгосрочный характер и требуют более глубоких исследований.

Естественное возобновление наиболее эффективно с лесоводственных, экологических и экономических позиций, его использование имеет преимущество при воспроизводстве лесов перед созданием лесных культур и весьма целесообразно при формировании устойчивых высокопродуктивных насаждений.

Успешному естественному возобновлению на лесосеках и дальнейшему формированию сосново-еловых древостоев с участием лиственных пород в сосняке-черничнике и сосняке-кисличнике могут способствовать огневая минерализация почвы путем сжигания порубочных остатков в небольших (диаметр – 2...3 м², высота – до 1 м) кучах, механизированная минерализация поверхности почвы осенью или ранней весной с использованием покровосдирающих, фрезерных орудий и других приспособлений.

Анализ хода естественного возобновления и дальнейшее формирование смешанных древостоев в различных типах леса с использованием его парцеллярной структуры открывает возможность более глубокого понимания лесоводственных основ биологии леса и применения этих знаний при лесовозобновлении.

Участие в естественном возобновлении подлесочных пород повышает биологическое разнообразие и устойчивость насаждений, снижает класс их пожарной опасности, предотвращает эрозионные процессы, сохраняет плодородие почвы, расширяет биологический круговорот веществ, но при большой густоте он создает конкуренцию лесообразователям, поэтому его необходимо разреживать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляева Н.В.* Связь парцеллярной структуры фитоценоза с ходом роста молодого поколения ели // Научная дискуссия: вопросы технических наук. М.: Междунар. центр науки и образования, 2013. С. 92–96.
2. *Гусев И.И.* Закономерности роста и продуктивность средне-таежных сосново-еловых древостоев. М.: ВНИИЦлесресурс, 1992. 27 с.
3. *Дылис Н.В.* Основы биогеоценологии. М.: МГУ, 1978. 151 с.
4. *Ерохин А.В.* Меры содействия естественному возобновлению сосны при равномерно-постепенных рубках в сосновых насаждениях // Вопр. лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Брянск, 2001. Вып. 11. С. 68–70.
5. *Ерохин А.В.* Структура естественного возобновления после проведения равномерно-постепенных рубок в сосняках бруснично-черничных // Актуал. проблемы лесн. комплекса: сб. науч. тр. Брянск, 2012. Вып. 31. С. 23–25.
6. *Иванов В.П., Глазун И.Н., Шелуха В.П., Смирнов С.И., Нартов Д.И.* Усыхание еловых лесов – проблема регионов // Актуал. пробл. лесн. комплекса. С. 98–100.
7. *Иванов В.П., Марченко С.И., Глазун И.Н., Нартов Д.И., Соболева Л.М.* Изменения в биогеоценозах центральной части Брянской области после летней жары 2010 г. // Вестн. ПГТУ. Серия «Лес. Экология. Природопользование». 2013. № 1(17). С. 25–36.
8. *Маслов А.Д.* Короед-типограф и усыхание еловых лесов. М.: ВНИИЛМ, 2010. 138 с.
9. *Мелехов И.С.* Биология, экология и география возобновления // Возобновление леса. М.: Колос, 1975. С. 4–22.
10. *Побединский А.В.* Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Наука, 1966. 64 с.
11. *Тихонов А.С.* Типы леса, рубки, лесовозобновление, формирование древостоев в Скандинавско-Русской провинции. Калуга: Гриф, 2013. 432 с.
12. *Тимофеев В.П.* Борьба с усыханием ели. М.: Гослесбумиздат, 1944. 48 с.
13. *Цветков В.Ф.* Самовозобновление леса: текст лекций. 2 изд., доп. Архангельск: АГТУ, 2009. 84 с.
14. *Фетисова А.А., Грязькин А.В., Ковалев Н.В., Гуталь М.* Оценка естественного возобновления хвойных пород на сплошных вырубках в условиях Рощинского лесничества // Лесн. журн. 2013. № 6. С. 15–17. (Изв. высш. учеб. заведений).
15. *Санников С.Н.* Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. М.: Наука, 1992. 264 с.
16. Thomson M.J. Forest Fragmentation. *Ontario Nature*, 2006. Available at: <https://www.ontarionature.org/discover/resources/PDFs/factsheets/fragmentation.pdf>.
17. Robinson D.T. *Effects of Land-Use Policy, Forest Fragmentation, and Residential Parcel Size on Land-Cover and Carbon Storage in Southeastern Michigan*: PhD Diss. USA, MI, 2009.

Поступила 20.09.15

UDC 630*232

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.65

Analysis of Natural Reforestation on the Basis of Parcel Structure in Pine and Spruce Forests After Selective Sanitary Felling

V.P. Ivanov, *Doctor of Biological Sciences, Professor*

A.V. Erokhin, *Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor*

T.G. Kolosova, *Student*

Bryansk State Engineering Technological University, St. Dimitrova ul., 3,
Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: ivpinfo@mail.ru

After the heat wave of 2010 in the territory of the Training and Experimental Forestry Enterprise of the Bryansk State Engineering Technological University (Bryansk, Russia) the facts of spruce drying were observed in the mixed pine and spruce stands. The problem of forest hygienics and reforestation of damaged plants is of current interest; as even mixed pine and spruce stands lose stability and dry out; and xylophages migrate from spruce to Scots pine. Selective sanitary felling is carried out for the improvement of plantations. This creates difficulties related to the organization of unscheduled care in a large area, high costs with low payback. After in years cutting areas are overgrown with bushes and small-leaved species. After the selective sanitary felling in pine bilberry and sorrel pinery forest types a destruction of pine and spruce stands still continues. The sustainable promoting of natural regeneration on the basis of the analysis of the natural seeding characteristics contributes to the formation of stable mixed pine and spruce stands in the cutting areas of selective sanitary felling. The objects of research are presented by the composition of mixed pine and spruce stands after selective sanitary cutting, caused by spruce drying and degradation of stands. Detailed surveys are carried out on the plots; the inventory indices and conditions of the parent stand are studied; the natural regeneration is analyzed by the composition, density, height, age, plant spacing in the area. The study of natural seeding is carried out on the basis of the parcel structure of felling areas. We present a detailed analysis of the parcels site, the state of natural seeding, and forecast of features of the future forest stand. The mechanized soil disturbance and flame soil cultivation when slash and burning contribute to the successful natural regeneration in the cutting areas and the formation of mixed pine and spruce stands with hardwood. The underwood species in natural regeneration enhance soil fertility, biodiversity and sustainability of plantations, reduce the danger class, prevent erosion process, and promote the biological cycle of substances.

Keywords: natural reforestation, mixed stand, selective sanitary felling, parcel structure, natural seeding, felling area, forest-forming species, underwood.

For citation: Ivanov V.P., Erokhin A.V., Kolosova T.G. Analysis of Natural Reforestation on the Basis of Parcel Structure in Pine and Spruce Forests After Selective Sanitary Felling. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 65–75. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.65

REFERENCES

1. Belyaeva N.V. Svyaz' partsellyarnoy struktury fitotsenoza s khodom rosta molodogo pokoleniya eli [Association of Phytocenosis Parcel Structure with a Growth Course of the Spruce Younger Generation]. *Nauchnaya diskussiya: voprosy tekhnicheskikh nauk* [Scientific Discussion: Issues of Technical Sciences]. Moscow, 2013, pp. 92–96.
2. Gusev I.I. *Zakonomernosti rosta i produktivnost' sredne-taevnykh sosnovykh drevostoev* [Patterns of Growth and Productivity of Mid-Taiga Pine and Spruce Stands]. Moscow, 1992. 27 p.
3. Dylis N.V. *Osnovy biogeotsenologii* [Fundamentals of Biogeocenology]. Moscow, 1978. 151 p.
4. Erokhin A.V. Mery sodeystviya estestvennomu vozobnovleniyu sosny pri ravnomerno-postepennykh rubkakh v sosnovykh nasazhdeniyakh [Measures to Promote the Pine Natural Regeneration by Even Gradual Cutting in Pine Plantations]. *Vopr. lesovedeniya i lesovodstva* [Problems of Forest Science and Forestry]. Bryansk, 2001, iss. 11, pp. 68–70.
5. Erokhin A.V. Struktura estestvennogo vozobnovleniya posle provedeniya ravnomerno-postepennykh rubok v sosnyakh brusnichno-chernichnykh [The Structure of Natural Regeneration After Even Gradual Cutting in Cranberry-Bilberry Pine Forests]. *Aktual. problemy lesn. kompleksa* [Current Problems of Timber Complex]. Bryansk, 2012, iss. 31, pp. 23–25.
6. Ivanov V.P., Glazun I.N., Shelukho V.P., Smirnov S.I., Nartov D.I. Usykhaniye elovykh lesov – problema regionov [The Drying Out of Spruce Forests is the Problem of the Regions]. *Aktual. probl. lesn. kompleksa: inform. materialy mezhd. nauch.-tekhn. konf. "Les-2000"* [Current Problems of Timber Complex: Proc. Int. Sci. Eng. Conf. "Forest-2000"]. Bryansk, 2001, vol. 1, pp. 98–100.
7. Ivanov V.P., Marchenko S.I., Glazun I.N., Nartov D.I., Soboleva L.M. Izmeneniya v biogeotsenozakh tsentral'noy chasti Bryanskoy oblasti posle letney zhary 2010 g. [Changes in Ecosystems of the Central Part of the Bryansk Region After the Summer Heat in 2010]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management], 2013, no. 1(17), pp. 25–36.
8. Maslov A.D. *Koroed-tipograf i usykhaniye elovykh lesov* [Bark Beetle and Spruce Forests Drying]. Moscow, 2010. 138 p.
9. Melekhov I.S. Biologiya, ekologiya i geografiya vozobnovleniya [Biology, Ecology and Geography of Forest Regeneration]. *Vozobnovlenie lesa* [Forest Regeneration]. Moscow, 1975, pp. 4–22.
10. Pobedinskiy A.V. *Izuchenie lesovosstanovitel'nykh protsessov* [The Study of Regeneration Processes]. Moscow, 1966. 64 p.
11. Tikhonov A.S. *Tipy lesa, rubki, lesovozobnovlenie, formirovanie drevostoev v Skandinavsko-Russkoy provintsii* [Forest Types, Cutting, Reforestation, Formation of Crops in the Nordic-Russian Province]. Kaluga, 2013. 432 p.
12. Timofeev V.P. *Bor'ba s usykhaniey eli* [Protection from Spruce Drying]. Moscow, 1944. 48 p.

13. Tsvetkov V.F. *Samovozobnovlenie lesa* [Forest Self-Renewal]. Arkhangelsk, 2009. 84 p.

14. Fetisova A.A., Gryaz'kin A.V., Kovalev N.V., Gural' M. Otsenka estestvennogo vozobnovleniya khvoynykh porod na sploshnykh vyrubkakh v usloviyakh Roshchinskogo lesnichestva [Assessment of Natural Conifer Regeneration in the Clear Cutting Area of the Roshchino Forestry]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 6, pp. 15–17.

15. Sannikov S.N. *Ekologiya i geografiya estestvennogo vozobnovleniya sosny obyknovlennoy* [Ecology and Geography of Natural Regeneration of Scots Pine]. Moscow, 1992. 264 p.

16. Thomson M.J. Forest Fragmentation. *Ontario Nature*, 2006. Available at: <https://www.ontarionature.org/discover/resources/PDFs/factsheets/fragmentation.pdf>.

17. Robinson D.T. *Effects of Land-Use Policy, Forest Fragmentation, and Residential Parcel Size on Land-Cover and Carbon Storage in Southeastern Michigan*: PhD Diss. USA, MI, 2009.

Received on September 20, 2015

УДК 631.47

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.76

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ СТЕПЕНЕЙ РАЗНООБРАЗИЯ
ЗЕМЛЯНОГО ПОКРОВА И ЛИТОЛОГИИ
И ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА
НА ЛЕСНОЙ ПОКРОВ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ**

Ф.Э. Гулиева, асп.

Азербайджанское Национальное аэрокосмическое агентство, ул. С.С. Ахундова, д. 1,
г. Баку, Азербайджан, AZ1115; e-mail: Fidash11@hotmail.com

Пространственный образец ландшафта зависит как от факторов окружающей среды, так и от антропогенной деятельности. Человеческая деятельность широко модифицировала исходный вид земляного покрова и значительно изменила степень воздействия внешних факторов на ландшафт. Представляет определенный интерес выяснение степени и результата вторжения антропогенного фактора во взаимосвязь ландшафта и окружающей среды. Факторы, отображающие влияние окружающей среды, вызывают бóльшую степень изменчивости основных видов земельного покрытия, чем географические факторы. Причем такой фактор, как литологический коэффициент, может характеризовать распределение лесного и урожайного типов земельного покрытия. В статье рассмотрен вопрос разработки практических рекомендаций по оптимальному проведению экспериментальных исследований для выяснения зависимости Шенноновского коэффициента разнообразия земляного покрова от Шенноновского коэффициента разнообразия литологического фактора. Анализ зависимости показывает, что на поставленный вопрос может быть получен ответ путем формирования задачи минимизации остаточной информации, содержащейся в зоне, образованной кривой однофакторного анализа зависимости коэффициентов разнообразия земляного покрова и разнообразия литологии. При рассмотрении существующих материалов установлено отсутствие моделей, учитывающих как прямое, так и косвенное воздействие антропогенного фактора на состояние лесов. Предложена модель, учитывающая не только прямое, но и косвенное воздействие антропогенного фактора на леса, реализуемое через оползневый фактор, который является кумулятивным индикатором разных видов антропогенных факторов. Сформулирована и решена задача синтеза экстремального режима рубки леса за счет оптимизации созданной модели.

Ключевые слова: литология, ландшафт, оптимизация, разнообразие, антропогенная деятельность, измерения.

Пространственный образец ландшафта зависит как от факторов окружающей среды, так и от антропогенной деятельности. Общепринято, что основные

Для цитирования: Гулиева Ф.Э. Исследование взаимосвязи степеней разнообразия земляного покрова и литологии и влияния антропогенного фактора на лесной покров в горной местности // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 76–88. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.76

факторы окружающей среды (температура воздуха, влажность, тип почвы) влияют на процесс формирования растительного покрова. При этом человеческая деятельность широко модифицировала исходный вид земляного покрова и значительно изменила степень воздействия внешних факторов на ландшафт. По этой причине представляет определенный интерес выяснение степени и результатов вторжения антропогенного фактора во взаимосвязь ландшафта и окружающей среды: разрушена ли эта взаимосвязь или она существует?

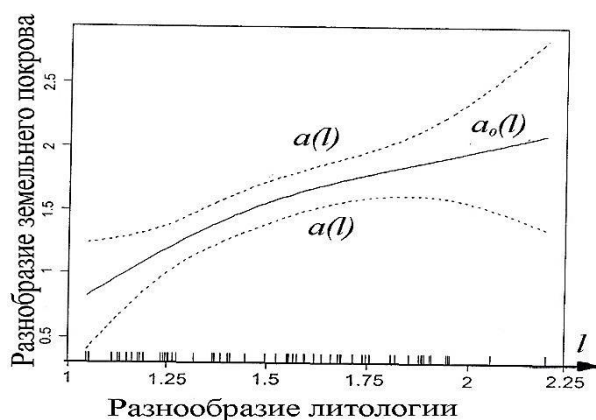
Как указано в работе М. Ortega и др. [13], пространственный ландшафт состоит из мозаики земляных покрытий, включающих различные виды землепользования и типы растительности, а также порядок их пространственного расположения. Композиция ландшафта характеризуется разнообразием и количеством участков различных типов, его конфигурация определяется формой и относительным пространственным размещением этих участков. При изучении ландшафта обычно исследуют принятый образец территории, имеющий определенные размеры (например, 10×10 км).

В качестве типов земельного покрытия могут быть рассмотрены леса, лесные плантации, пастбища, урожайные поля, каменные участки, водные бассейны, городские постройки и др. При этом используются различные типы индексов разнообразия земляного покрова: индекс разнообразия ландшафта (SDI); индекс фрагментации ландшафта (PD); индекс наибольшего участка (LPI) и др.

Как отмечено в работе D. Nogues-Bravo [11], переменные, отображающие влияние окружающей среды, вызывают большую степень изменчивости основных видов земельного покрытия, чем географические факторы. Например, литологический коэффициент может характеризовать распределение лесного и урожайного типов земельного покрытия.

Следует отметить, что взаимосвязь разнообразия литологического фактора и разнообразия земляного покрова исследована в работе D. Nogues-Bravo [11], где приведены результаты построения однофакторной модели зависимости Шенноновского коэффициента разнообразия земляного покрова от Шенноновского коэффициента разнообразия литологического фактора (рис. 1).

Рис. 1. Зависимость Шенноновского коэффициента разнообразия земляного покрова (a) и Шенноновского коэффициента разнообразия литологии (l), полученная в результате однофакторного анализа ($a_0(l)$ – непрерывная кривая; пунктиром показаны кривые $a(l)$, соответствующие 95 %-му Байесовскому интервалу; на оси абсцисс указаны точки, соответствующие координатам экспериментальных исследований D. Nogues-Bravo [11])



На рис. 1 показано, что проведенные экспериментальные исследования практически не были хорошо спланированы и оптимизированы. Так, в интервалах (1,25...1,50) и (1,50...1,75) Шенноновского коэффициента разнообразия литологического фактора существует некоторая линейность, хотя нелинейность исследуемой взаимосвязи двух Шенноновских коэффициентов разнообразия ясна как эвристически, так и на основе результатов работы D. Nogues-Bravo [11].

Целью наших исследований является разработка практических рекомендаций по проведению экспериментальных исследований Шенноновской зависимости и анализа влияния антропогенного фактора на состояние лесного покрова в гористой местности.

В ходе экспериментальных исследований оптимальным следует считать такой порядок измерений, при котором остаточная информация, содержащаяся в зоне $|a(l) - a_0(l)|$, достигала бы минимума. При этом считаем, что число измерений, проводимых в зонах с литологическим разнообразием l пропорционально самой l .

Введем следующее ограничение:

$$\int_0^{l_{\max}} [a(l) - a_0(l)]^2 dt = c_1; \quad c_1 = \text{const}, \quad (1)$$

где $l_{\max}$ – максимальное значение l .

Отметим, что условие (1) формулируется на основе эвристических представлений с учетом взаимного расположения кривых $a(l)$ и $a_0(l)$.

Информационный функционал, характеризующий количество вырабатываемой при измерениях информации, определим как

$$F_1 = \int_0^{l_{\max}} l \log_2 \left[\frac{a(l) - a_0(l)}{\Delta a} \right]^2 dl, \quad (2)$$

где Δa – дискрета a .

С учетом (1) и (2) можно сформировать функционал безусловной вариационной оптимизации:

$$F_{01} = \int_0^{l_{\max}} l \log_2 \left[\frac{a(l) - a_0(l)}{\Delta a} \right]^2 dl + \lambda \int_0^{l_{\max}} \left[\frac{a(l) - a_0(l)}{\Delta a} \right]^2 dl. \quad (3)$$

Здесь λ – множитель Лагранжа.

Согласно правилу Эйлера, функционал (3) достигнет экстремума по $[a(l) - a_0(l)]$ при выполнении следующего условия [1]:

$$\frac{d \left\{ l \log_2 \left[\frac{a(l) - a_0(l)}{\Delta a} \right]^2 + \lambda [a(l) - a_0(l)]^2 \right\}}{d \left[\frac{a(l) - a_0(l)}{\Delta a} \right]} = 0. \quad (4)$$

С учетом выражений (3) и (4) получим

$$\frac{l}{\ln 2 \left[\frac{a(l) - a_0(l)}{\Delta a} \right]} + \lambda \left[\frac{a(l) - a_0(l)}{\Delta a} \right] = 0. \quad (5)$$

Из выражения (5) имеем

$$\left[\frac{a(l) - a_0(l)}{\Delta a} \right]^2 = -\frac{l}{\lambda \ln 2}. \quad (6)$$

С учетом выражений (1) и (6) получим

$$\lambda = -\frac{l_{\max}^2}{2c \ln 2}. \quad (7)$$

Из выражения (5) и (7) находим

$$\left[\frac{a(l) - a_0(l)}{\Delta a} \right]^2 = \frac{2cl}{l_{\max}}. \quad (8)$$

Для проверки типа экстремума достаточно взять вторую производную подынтегрального выражения в (3) по $\left[\frac{a(l) - a_0(l)}{\Delta a} \right]^2$ и определить ее знак. Так как этот знак оптимальный, то можно заключить, что при (8) функционал (2) достигает максимальной величины.

Таким образом, следуя поставленной цели достичь минимальной информативности зоны $|a(l) - a_0(l)|$, логически можно заключить, что следует применить обратную зависимость между l и $\left[\frac{a(l) - a_0(l)}{\Delta a} \right]^2$, т. е. количество из-

мерений должно уменьшаться в крайних точках оси l (рис. 1). Такой порядок проведения ландшафтных и литологических измерений позволяет повысить достоверность результатов исследований взаимосвязи разнообразий литологии и земельного покрытия и тем самым повысить эффективность методов прогноза биоразнообразия в природе.

Перейдем к рассмотрению задач исследования оценки воздействия антропогенного фактора на состояние лесного покрытия в горной местности. Как отмечено в работе К. Pahari, Sh. Murai [14], рост населения в последние десятилетия приводит к увеличению скорости уничтожения лесов. Леса являются важнейшим условием поддержания всей экосистемы планеты Земля, что диктует необходимость выработки прогнозных оценок состояния лесов в будущем. По оценке, данной Организацией Объединенных Наций в 1994 г. [17], уже к 1990 г. 14,8 % всей площади лесов на планете было уничтожено населением.

Для оценки суммарных потерь лесных территорий в работе [17] была использована следующая методика: сначала по карте вычисляли потенциальное земельное растительное покрытие, далее вычитали из этих значений соответствующие текущие лесные покрытия, приведенные в статистическом отчете ФАО. Результаты регрессионного анализа для разных регионов приведены

в таблице [14], где независимой переменной x является логарифм плотности населения, зависимой y – суммарные лесные потери.

Результаты регрессионного анализа по разным регионам

Регион	Уравнение регрессии	R^2
Тропическая Азия	$y = 16,042 \ln x - 19,5600$	0,638
Тропическая Африка	$y = 15,206 \ln x + 7,8446$	0,717
Тропическая Латинская Америка	$y = 16,896 \ln x - 7,0200$	0,672
Центральная Америка и Мексика	$y = 21,637 \ln x - 29,6430$	0,824
Европа	$y = 14,719 \ln x + 0,7280$	0,523

На основе изложенного выше подхода к изучению вопроса зависимости суммарных лесных потерь от плотности населения К. Rahagı и др. [14] дали некоторые прогнозные оценки для разных стран.

Однако, как нам представляется, подобный модельный подход к решению задачи формирования объективных прогнозных оценок не может быть признан достоверным. Во-первых, не рассмотрены отдельно составляющие потери лесов, т. е. механизмы возникновения лесных потерь, во-вторых, не учтено прямое и косвенное влияние населения (как антропогенного фактора) на лесные потери через различные механизмы.

Ниже приведен анализ некоторых основных моделей уничтожения лесов с учетом конкретных механизмов лесных потерь.

В работе J.F. Mas и др. [8] сообщается о разработке четырех различных моделей для оценки изменения площадей лесного покрова Земли. При этом, как утверждают авторы, основными факторами уничтожения лесов являются развитие сельского хозяйства и выделение лесных участков под пастбище для скота.

Согласно J.F. Mas [9], для моделирования процесса уничтожения лесов могут быть использованы искусственные нейронные сети. Оценка корреляционных связей между всеми факторами, влияющими на процесс уничтожения лесов, показала, что наиболее информативными для применения в нейронной сети являются индекс лесного покрова, уровень возвышенности и расстояние до населенных пунктов.

S. Arekhi [2] рассмотрел возможность применения пространственного моделирования уничтожения лесов с использованием географических информационных систем (ГИС) и уравнений регрессии. Им было исследовано влияние следующих факторов на темпы уничтожения лесов: расстояние от дорог и поселений; индекс фрагментации лесов; географическая высота; наличие склонов; расстояние до края леса. Проведенные исследования показали, что такие факторы, как наличие склонов, расстояние от дорог и поселений, находятся в отрицательной корреляции с темпами уничтожения лесов. При этом скорость уничтожения лесов уменьшается с увеличением географической высоты.

Как указывает L.Sch. Olabisi [12], динамика развития процесса уничтожения лесов может быть отображена с помощью причинно-контурных диаграмм,

указывающих причинно-следственные связи появления факторов, приводящих к уничтожению лесов. Такие диаграммы удобны для отслеживания временных измерений лесного покрова под воздействием различных факторов.

К. Весек и др. [3] утверждают, что, кроме антропогенного фактора, связанного с деятельностью человека, существуют и другие факторы: ураганные ветра, нашествие диких животных, засуха. Однако первенство антропогенного фактора в уничтожении лесов неоспоримо [3]. В качестве глобального антропогенного фактора рассматривается повышение средней температуры во всей планете. Этот факт они объясняют тем, что эффективность фотосинтеза зависит от средней температуры на планете и имеет экстремальный характер. Несмотря на несколько абстрактный характер данного фактора существенное повышение средней температуры на планете, в принципе, может привести к исчезновению определенных видов растений и сокращению площадей, занятых лесом.

Авторы работы [16] основными причинами уничтожения лесов считают развитие сельского хозяйства, расширение культивационных работ на горных склонах, культивационную деятельность путем смены плодородных земель, развитие скотоводства, сбор древесного топлива, производство деревянных строительных материалов.

Обобщая изложенное выше, можно сделать заключение, что к настоящему времени существуют следующие методы исследования процесса уничтожения лесов из-за антропогенного фактора:

- метод логистических регрессионных уравнений;
- метод сопоставления с приростом населения (или с приростом плотности населения);
- метод причинно-следственных диаграмм;
- метод моделирования процессов уничтожения лесов с применением различных программных средств и ГИС;
- использование других интеллектуальных методов (нейронные сети, нечеткие множества и др.).

Таким образом, все рассмотренные методы исследования влияния антропогенного фактора основываются на модели прямого его воздействия на состояние лесов. Структурная схема такой модели приведена на рис. 2.

Отметим, что основным методом проверки достоверности модели прямого воздействия является исследование корреляционных связей между параметрами блоков 2_i и 3 или межкорреляционных связей между 2_i и 2_j ($i, j = \overline{1, n}, i \neq j$).

В настоящей статье приведен новый метод исследования процесса уничтожения лесов, названный нами «Метод кумулятивного показателя антропогенных факторов, воздействующих прямым и косвенным образом на состояние лесов через кумулятивный показатель» (или с его помощью). Под кумулятивным показателем предложено использовать некоторые количественные показатели оползней.

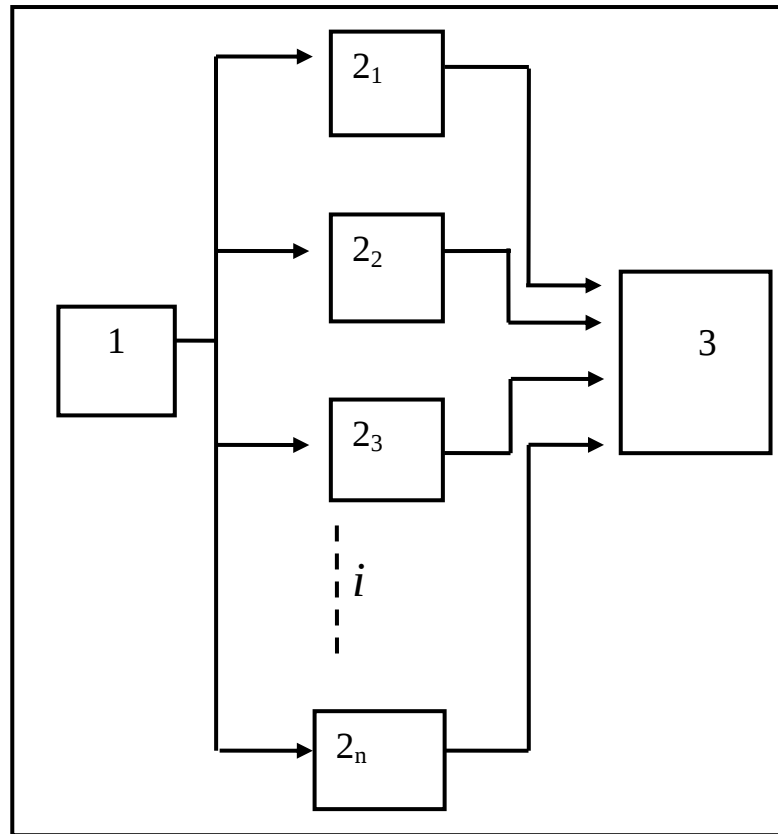


Рис. 2. Модель прямого воздействия антропогенного фактора на леса: 1 – базовый антропогенный фактор; 2 – разновидности антропогенного фактора (2_1 – увеличение населения (рост плотности населения; 2_2 – развитие скотоводства; 2_3 – развитие дорожно-транспортной сети; 2_n – увеличение средней температуры на планете); 3 – состояние лесов

Приведем некоторые сведения о воздействии антропогенных факторов на оползни. Исследованиями Р.В. Gorsevski и др. [5] установлено, что устойчивость склонов и вероятность возникновения оползней в зоне склонов в значительной степени зависят как от антропогенного фактора, так и от природных условий.

Согласно D. Ren и др. [15] оползни могут вызывать нарушение режима функционирования растительной экосистемы и приводить к уничтожению лесов.

Как указывает М.Д. Dixon [4], идентификация участков, подверженных оползням, является одним из основных требований в деятельности по менеджменту земель многих западных национальных лесных территорий. В работе [7]

получено хорошее совпадение между увеличением количества оползней и площадью земель, эродированных в результате антропогенной деятельности (рис. 3).

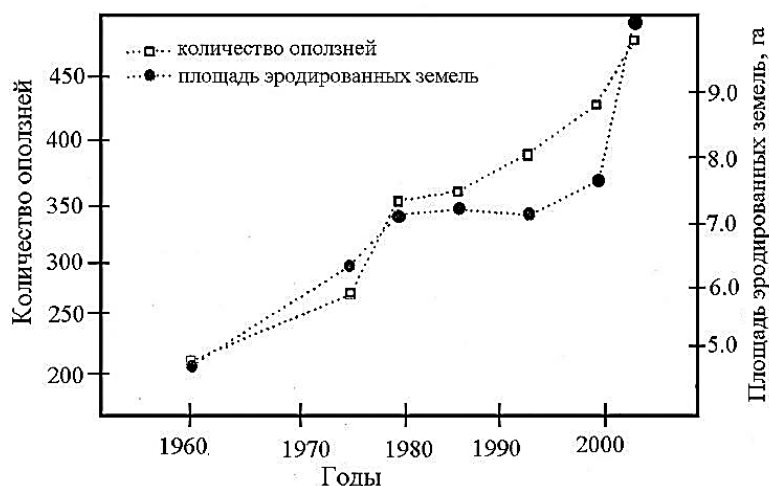


Рис. 3. Динамика увеличения количества оползней и площади эродированных земель в горной местности в 1959–2000 гг. [7]

Согласно работе D. Nikolaishvili и др. [10], высокогорные субальпийские ландшафты с относительно малыми лесными зонами встречаются во всем Кавказском экорегионе. Антропогенная деятельность в области скотоводства и лесозаготовки привела к значительным изменениям ландшафта. Состояние ландшафта в субальпийской зоне в основном определяется социально-экономическими процессами.

В работе А. Najiyeva [6] проанализировано влияние антропогенных трансформаций на состояние земель юга-восточного склона Большого Кавказа в пределах территорий Азербайджана. Указывается, что на возникновение оползней воздействуют такие факторы, как тектонические движения, атмосферные осадки, растительный покров, различные виды сельскохозяйственной деятельности. Автор разработал карту юга-восточного склона Большого Кавказа на территории Азербайджана, в которой отмечено пять характерных зон, выделенных согласно уровню подверженности риску возникновения оползней в результате чрезмерной антропогенной деятельности:

- с очень высокой степенью опасности;
- с высокой степенью опасности;
- со средней степенью опасности;
- с малой степенью опасности;
- с отсутствием опасности.

Автор [6] отмечает, что несмотря на то, что оползни являются природными процессами, антропогенная деятельность может их значительно ускорить.

С учетом изложенного выше нами предложена комплексная модель прямого и косвенного воздействия антропогенного фактора на состояние лесов, блок-схема которой приведена на рис. 4.

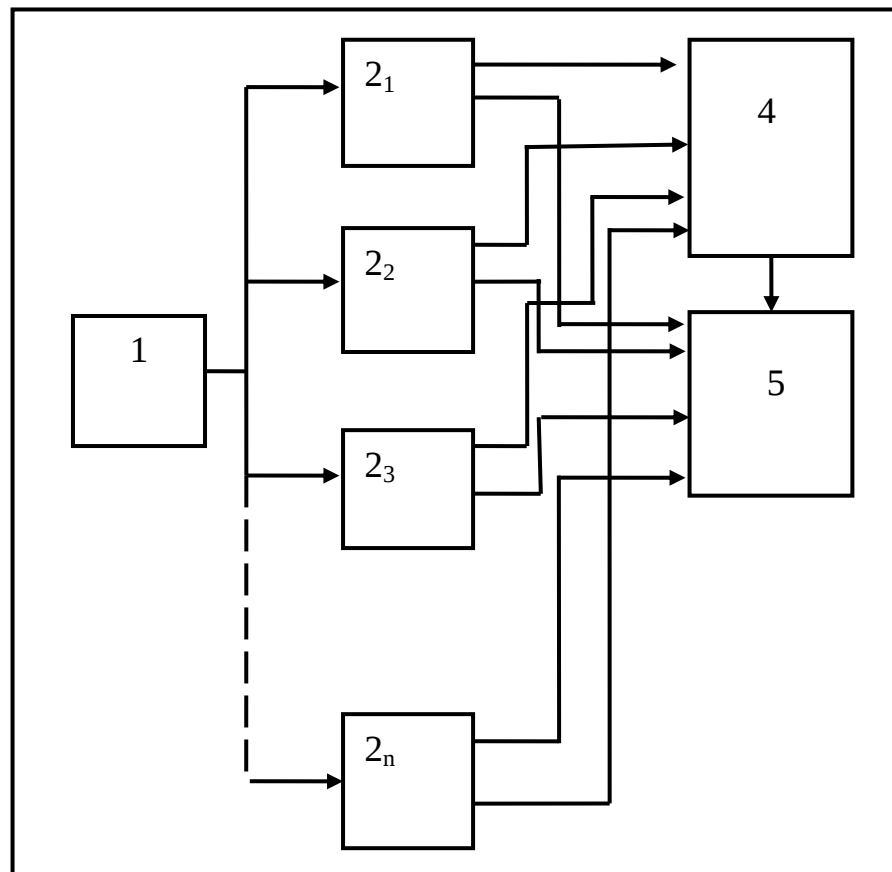


Рис. 4. Блок-схема модели прямого и косвенного воздействия антропогенного фактора на состояние лесов: 1, $2_1 \dots 2_n$ – повторяют обозначения, указанные на рис. 2; 4 – процессы образования оползней; 5 – леса

Научная значимость комплексной модели прямого и косвенного воздействия антропогенного фактора на лес в отличие от модели прямого воздействия заключается в том, что для зон с высокой степенью риска возникновения оползней информационный показатель на выходе блока 4 может быть рассмотрен в качестве единого кумулятивного параметра, отображающего тяжесть всей антропогенной нагрузки, воздействующей двояко: прямым и косвенным образом через процессы образования оползней. Следовательно, в данном случае изучение процессов влияния различных составляющих суммарной антропогенной нагрузки

на состояние лесов может быть заменено на изучение корреляционных связей между суммарным кумулятивным показателем антропогенной нагрузки и состоянием лесов.

Другое преимущество предлагаемой модели заключается в возможности формирования некоторых оптимизационных соотношений, касающихся отдельных показателей антропогенной нагрузки на лесные зоны. Так, в первом приближении лесные потери, возникающие из-за рубки лесов (Δ_p), определим как

$$\Delta_p = k_p(H)D_{\text{ост}} \quad (9)$$

где k_p – коэффициент рубки;

H – численность населения участка;

$D_{\text{ост}}$ – остаточная площадь лесов,

$$D_{\text{ост}} = D_0 - \left(a_0 \ln \frac{H}{S} \pm b_0 \right). \quad (10)$$

Здесь a_0 и b_0 – постоянные коэффициенты, подобные указанным в табл. 1, но отличающиеся тем, что определены применительно к комплексной модели, показанной на рис. 4.

С учетом выражений (9) и (10) получим

$$\Delta_p = k_p(H) \left[D_0 - \left(a_0 \ln \frac{H}{S} \pm b_0 \right) \right]. \quad (11)$$

Если в первом приближении принять функцию k_p линейной, т. е. $k_p(H) = k_{p_0} H$ (где $k_{p_0} = \text{const}$), то

$$\Delta = k_{p_0} H \left[D_0 - \left(a_0 \ln \frac{H}{S} \pm b_0 \right) \right]. \quad (12)$$

Исследуя выражение (12) на максимум от H , получим, что показатель Δ_p достигает максимума при выполнении следующего условия:

$$H_{\text{extr}} = S \exp \left(\frac{D_0 - b}{a} - 1 \right). \quad (13)$$

Очевидно, что при $H > H_{\text{extr}}$ масштабы рубки будут снижены из-за повышенной степени уничтожения лесов возникающими оползнями, т. е. за счет уменьшения $D_{\text{ост}}$, а при $H < H_{\text{extr}}$ еще существует определенный потенциал для увеличения Δ_p , если это допустимо с экологической точки зрения.

Выводы

1. Предложен порядок проведения ландшафтных и литологических измерений, позволяющий повысить достоверность результатов при исследовании взаимосвязи разнообразия литологии и земельного покрова, а также повысить эффективность методов прогнозирования биоразнообразия в природе.

2. В связи с тем, что анализ существующих данных показал отсутствие моделей, учитывающих как прямое, так и косвенное воздействие антропогенного фактора на состояние лесов, предложена модель, учитывающая как прямое, так и косвенное воздействие антропогенного фактора на состояние лесов

и реализуемая через оползневый фактор, который является кумулятивным индикатором разных видов антропогенных факторов.

3. Сформулирована и решена задача синтеза экстремального режима рубки леса путем оптимизации созданной модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Элсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М.: Наука, 1969. 430 с.
2. Arekhi S. Modeling Spatial Pattern of Deforestation Using GIS and Logistic Regression: A Case Study of Northern Ilam Forests, Ilam Province, Iran. *African J. of Biotechnology*, 2011, vol. 10(72), pp. 16236–16249.
3. Becek K., Odihi J.O. Identification and Assessment of Factors Affecting Forest Depletion in Brunei Darussalam. *The international Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Beijing, 2008, vol. XXXVII, part B2.
4. Dixon M.D. *Landslide Computer Modeling Potential*. Available at: <http://www.fs.fed.us/t-d/pubs/pdfpubs/pdf03713804/pdf03713804dpi72.pdf> (accessed 10.10.2015).
5. Gorsevski P.V., Gessler P.E., Boll J., Paul E., Elliot W.J., Foltz R.B. Spatially and Temporally Distributed Modeling of Landslide Susceptibility. *Geomorphology*, 2006, vol. 80, pp. 178–198.
6. Hajiyeva A. Risks and Threats Emerging Due to Anthropogenic Transformations on the South-Eastern Slope of the Greater Caucasus. *J. of Agriculture and Life Sciences*, 2015, vol. 2, no. 1 pp. 173–180.
7. Impacts of Anthropogenic and Environmental Factors on the Occurrence of Shallow Landslides in an Alpine Catchment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2008, vol. 8, pp. 509–520. Available at: <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/8/509/2008/nhess-8-509-2008.pdf> (accessed 10.10.2015).
8. Mas J.-F., Paegelow M., De Jong B., Masera O., Guerrero G., Follador M., Olguin M., Diaz J.R., Castillo M.A., Garcia T. Modeling Tropical Deforestation: A Comparison of Approaches. 32nd *Symposium on Remote Sensing of Environment*. San Jose, Costa Rica, June 2007. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal.shs-01063568/document> (accessed 10.10.2015).
9. Mas J.F., Puig H., Palacio J.L., Sosa-Lopez A. Modeling Deforestation Using GIS and Artificial Neural Networks. *Environmental Modeling & Software*, 2004, vol. 19, pp. 461–471.
10. Nikolaishvili D., Dvalashvili G. Anthropogenic Changes of Caucasus Forest Landscapes. *Earth Sciences*, 2015, vol. 4, iss. 5-1, pp. 54–59.
11. Nogues-Bravo D. Assessing the Effect of Environmental and Anthropogenic Factors on Land-Cover Diversity in a Mediterranean Mountain Environment. *Area*, 2006, no. 38(4), pp. 432–444.
12. Olabisi L. Sch. The System Dynamics of Forest Cover in the Developing World: Researcher Versus Community Perspectives. *Sustainability*, 2010, no. 2, pp. 1523–1535.
13. Ortega M., Bunce R.G.H., Garcia del Barrio J.M., Rossello E.R. The Relative Dependence of Spanish Landscape Pattern on Environmental and Geographical Variables Over Time. *Investigacion Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 2008, vol. 17(2), pp. 114–129.
14. Pahari K., Murai Sh. Modeling for Prediction of Global Deforestation Based on the Growth of Human Population. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1999, vol. 54, pp. 317–324.
15. Ren D., Leslie L.M. Landslides Caused Deforestation. *Deforestation*. Ed. by A. Lazinic. Croatia, Rijeka, 2012. Available at: <http://www.intechopen.com> (accessed 10.10.2015).

16. *What are the Major Causes of Deforestation?* Available at: <http://www.preservearticles.com/20122021623379/what-are-the-major-causes> (accessed 11.10.2015).

17. World Population From Year 0 to Stabilization. *Population Division, Department of Economic and Social Information and Policy Analysis, United Nations, 1994.*

Поступила 26.02.16

UDC 631.47

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.76

Interrelation of Diversity Levels of Land Cover and Lithology and the Anthropogenic Impact on Canopy Cover in the Mountainous Area

F.E. Gulieva, *Postgraduate Student*

National Aerospace Agency, S.S. Akhundova ul., 1, Baku, AZ1115, Azerbaijan;

e-mail: Fidash11@hotmail.com

The spatial pattern of the landscape depends on the environment factors and anthropogenic activity. The human activity has widely modified the original type of land cover and significantly has changed the level of the external impact on the landscape. The level and the result of anthropogenic factor intrusion into the interrelation of the landscape and the environment are of current interest. The factors, reflecting the influence of the environment, cause a greater degree of variability of the main types of land cover than the geographical factors. Moreover, such factor as a lithology coefficient can characterize the distribution of forest and productivity types of land cover. The paper considers the development question of practical recommendations on the optimal experimental studies to determine the interrelation of the Shannon diversity factor of land cover and of the lithological factor. The analysis of the interrelation indicates that the formulated question can be successfully solved by the formulation of the minimization problem of the residual information in the area, formed by the curve of the single-factor analysis of dependence of the diversity coefficients of land cover and lithology. The analysis of existing materials demonstrates the lack of the models taking into account both direct and indirect impacts of the anthropogenic factor on forests. We present such model where the indirect effect is realized using the landslide factor, which is a cumulative indicator of different anthropogenic factors. The synthesis problem of the extreme mode of felling by optimizing the developed model is formulated and solved.

Keywords: lithology, landscape, optimization, diversity, anthropogenic activity, measurement.

REFERENCES

1. Elsgol'ts L.E. *Differentsial'nye uravneniya i variatsionnoe ischislenie* [Differential Equations and Calculus of Variations]. Moscow, 1969. 430 p.

2. Arekhi S. Modeling Spatial Pattern of Deforestation Using GIS and Logistic Regression: A Case Study of Northern Ilam Forests, Ilam Province, Iran. *African J. of Biotechnology*, 2011, vol. 10(72), pp. 16236–16249.

For citation: Gulieva F.E. Interrelation of Diversity Levels of Land Cover and Lithology and the Anthropogenic Impact on Canopy Cover in the Mountainous Area. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 76–88. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.76

3. Becek K., Odihi J.O. Identification and Assessment of Factors Affecting Forest Depletion in Brunei Darussalam. *The international Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Beijing, 2008, vol. XXXVII, part B2.
4. Dixon M.D. *Landslide Computer Modeling Potential*. Available at: <http://www.fs.fed.us/t-d/pubs/pdfpubs/pdf03713804/pdf03713804dpi72.pdf> (accessed 10.10.2015).
5. Gorsevski P.V., Gessler P.E., Boll J., Paul E., Elliot W.J., Foltz R.B. Spatially and Temporally Distributed Modeling of Landslide Susceptibility. *Geomorphology*, 2006, vol. 80, pp. 178–198.
6. Hajiyeva A. Risks and Threats Emerging Due to Anthropogenic Transformations on the South-Eastern Slope of the Greater Caucasus. *J. of Agriculture and Life Sciences*, 2015, vol. 2, no. 1 pp. 173–180.
7. Impacts of Anthropogenic and Environmental Factors on the Occurrence of Shallow Landslides in an Alpine Catchment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2008, vol. 8, pp. 509–520. Available at: <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/8/509/2008/nhess-8-509-2008.pdf> (accessed 10.10.2015).
8. Mas J.-F., Paegelow M., De Jong B., Masera O., Guerrero G., Follador M., Olguin M., Diaz J.R., Castillo M.A., Garcia T. Modeling Tropical Deforestation: A Comparison of Approaches. *32nd Symposium on Remote Sensing of Environment*. San Jose, Costa Rica, June 2007. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal.shs-01063568/document> (accessed 10.10.2015).
9. Mas J.F., Puig H., Palacio J.L., Sosa-Lopez A. Modeling Deforestation Using GIS and Artificial Neural Networks. *Environmental Modeling & Software*, 2004, vol. 19, pp. 461–471.
10. Nikolaishvili D., Dvalashvili G. Anthropogenic Changes of Caucasus Forest Landscapes. *Earth Sciences*, 2015, vol. 4, iss. 5-1, pp. 54–59.
11. Nogues-Bravo D. Assessing the Effect of Environmental and Anthropogenic Factors on Land-Cover Diversity in a Mediterranean Mountain Environment. *Area*, 2006, no. 38(4), pp. 432–444.
12. Olabisi L. Sch. The System Dynamics of Forest Cover in the Developing World: Researcher Versus Community Perspectives. *Sustainability*, 2010, no. 2, pp. 1523–1535.
13. Ortega M., Bunce R.G.H., Garcia del Barrio J.M., Rossello E.R. The Relative Dependence of Spanish Landscape Pattern on Environmental and Geographical Variables Over Time. *Investigacion Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 2008, vol. 17(2), pp. 114–129.
14. Pahari K., Murai Sh. Modeling for Prediction of Global Deforestation Based on the Growth of Human Population. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1999, vol. 54, pp. 317–324.
15. Ren D., Leslie L.M. Landslides Caused Deforestation. *Deforestation*. Ed. by A. Lazinic. Croatia, Rijeka, 2012. Available at: <http://www.intechopen.com> (accessed 10.10.2015).
16. *What are the Major Causes of Deforestation?* Available at: <http://www.preservearticles.com/20122021623379/what-are-the-major-causes> (accessed 11.10.2015).
17. World Population From Year 0 to Stabilization. *Population Division, Department of Economic and Social Information and Policy Analysis, United Nations*, 1994.

Received on February 26, 2016

УДК 630*27:630*181.28

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.89

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR) ПРИ ИНТРОДУКЦИИ

В.А. Брынцев¹, д-р с.-х. наук, проф.

А.А. Коженкова², канд. с.-х. наук, доц.

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

²Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, ул. Ботаническая, д. 4, Москва, Россия, 127276; e-mail: kozhenkova_anna@mail.ru

Целью исследований было определение наиболее перспективных районов-поставщиков семян для Московской области на основании изучения семян и саженцев сосны кедровой сибирской разного географического происхождения. В задачи исследований входило: изучить всходы сосны кедровой сибирской разного географического происхождения и показатели 1- и 2-летних семян; изучить параметры роста 5- и 6-летних саженцев разных климатипов в школьном отделении; провести корреляционный анализ между показателями всходов и характеристиками 5- и 6-летних саженцев; определить лучшие по комплексу признаков климатипы в 6-летнем возрасте. Объектами исследования являлись семена и саженцы сосны кедровой сибирской разного географического происхождения в возрасте от 1 до 6 лет. Семена для опыта отбирали из остатков средних проб семян зональных лесосеменных станций. Сеянцы и саженцы выращивали в лесном питомнике Правдинского лесхоза-техникума Московской области. В ходе исследования семенного потомства разного происхождения установлено, что различия между климатипами с возрастом увеличиваются. Проведенный корреляционный анализ показал слабую (от 0,01 до 0,39) связь между средним количеством семян у всходов разных климатипов и средними показателями роста (высота, диаметр у корневой шейки) семян и саженцев в возрасте от 1 до 6 лет. Был рассчитан обобщенный относительный показатель успешности внедрения (роста) испытываемых климатипов (по высоте и диаметру), который позволил выделить наиболее успешные из них. Лучшие результаты по этому показателю имеют 6-летние растения из следующих лесосеменных подрайонов: 20а (Красноярский край), 18а (Алтайский край), 21а (Красноярский край), 14а (Тюменская область), 16а (Новосибирская область), 39и (Новосибирская область), 8в (Тюменская область). Наиболее высокими показателями отличались саженцы из Красноярского (лесосеменные подрайоны 20а и 21а) и Алтайского (18а) краев. Семена из этих лесосеменных подрайонов должны иметь преимущество при интродукции сосны кедровой сибирской в Московскую область.

Ключевые слова: интродукция, сосна кедровая сибирская, географические посевы, климатипы.

Для цитирования: Брынцев В.А., Коженкова А.А. Географическая изменчивость сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) при интродукции // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 89–97. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.89

Введение

Благодаря совокупности ценных свойств сосна кедровая сибирская культивируется в европейской части России на протяжении длительного периода. Она обладает комплексом хозяйственно-полезных свойств: устойчивостью к загрязнению воздуха, продолжительным периодом жизни, декоративностью, высокими вкусовыми качествами орехов, ценными продуктами переработки семян, шишек, хвои, живицы и др. [8]. Успешность ее выращивания за пределами ареала подтверждается образованием жизнеспособных семян в условиях интродукции [3, 5].

С учетом того, что сосна кедровая сибирская имеет широкий естественный ареал, особое значение для интродукции приобретает выбор районов-поставщиков семян. Определить их достоверно можно только на основе изучения опыта выращивания этой породы в географических посевах и культурах в условиях интродукции [2, 6, 7].

Цель исследований – определение наиболее перспективных районов-поставщиков семян для Московской области.

В задачи исследований входило: изучить всходы сосны кедровой сибирской и показатели 1- и 2-летних сеянцев; исследовать параметры роста 5- и 6-летних саженцев в школьном отделении; провести корреляционный анализ между показателями всходов и параметрами 5- и 6-летних саженцев.

Методы и объекты исследования

Объектами исследования являлись сеянцы и саженцы сосны кедровой сибирской разного географического происхождения в возрасте от 1 до 6 лет. Семена отбирали из остатков средних проб семян зональных лесосеменных станций. Сеянцы и саженцы выращивали в лесном питомнике Правдинского лесхоза-техникума (Московская область). Создание и исследование географических посевов и посадок проводили по методике ВНИИЛМ [4].

Для измерения посадочного материала использовали мерную металлическую линейку со значением отсчета 0,1 см и штангенциркуль ШД-1 с точностью измерений 0,1 мм. Замеры проводили осенью, после окончания вегетации. Номера лесосеменных подрайонов приведены согласно [7].

Для расчета показателя успешности роста климатипов была применена методика, разработанная М.Д. Мерзленко и П.Г. Мельником [9] на основе методики IUFRO [10]. Она позволяет дать обобщенную характеристику успешности роста климатипов по нескольким показателям (в нашем случае – по высоте и диаметру). Согласно этой методике, сначала определяется среднее по всем климатипам, потом это значение вычитается из показателя для каждого климатипа. Так находится абсолютная успешность провениенции (U) в абсолютных единицах. Выражая ее в долях стандартного отклонения, получаем относительную успешность внедрения климатипов (Q). Относительную успешность климатипов по разным признакам суммируем, делим на количество признаков

и имеем обобщенный относительный показатель успешности внедрения испытываемых климатипов (q).

Статистические расчеты проведены с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Данные о количестве семян и грунтовой всхожести сосны сибирской из разных областей и краев России представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели всходов сосны кедровой сибирской разного географического происхождения

Происхождение семян – область, край	Лесосемен- ной подрайон	Грунтовая всхожесть, %	Количество семян				
			M	δ	$\pm m$	V	P
			шт.			%	
Тюменская	8б	51	11,2	1,00	0,20	9	1,8
Свердловская	13б	12	9,3	0,60	0,12	6	1,3
Тюменская	14а	30	10,4	1,73	0,35	17	3,3
Томская	15а	26	10,2	2,90	0,58	28	5,7
Кемеровская	15в	36	11,0	1,92	0,38	17	3,5
Новосибирская	16а	29	10,9	3,03	0,61	28	5,6
Новосибирская	16б	37	11,6	1,68	0,34	14	2,9
Красноярский	17а	22	10,9	2,03	0,41	19	3,7
Алтайский	18а	57	10,8	3,06	0,61	28	5,7
Красноярский	20а	25	10,2	2,92	0,58	29	5,7
Красноярский	20в	48	10,7	1,05	0,21	10	2,0
Красноярский	21а	29	10,7	2,46	0,49	23	4,6
Красноярский	21б	22	10,4	2,49	0,50	24	4,8
Иркутская	22а	20	10,0	1,79	0,36	18	3,6
Новосибирская	39и	37	9,8	2,72	0,54	28	5,6
Новосибирская	40и	60	10,8	3,25	0,65	30	6,0
Красноярский	41и	55	11,2	1,89	0,38	17	3,4

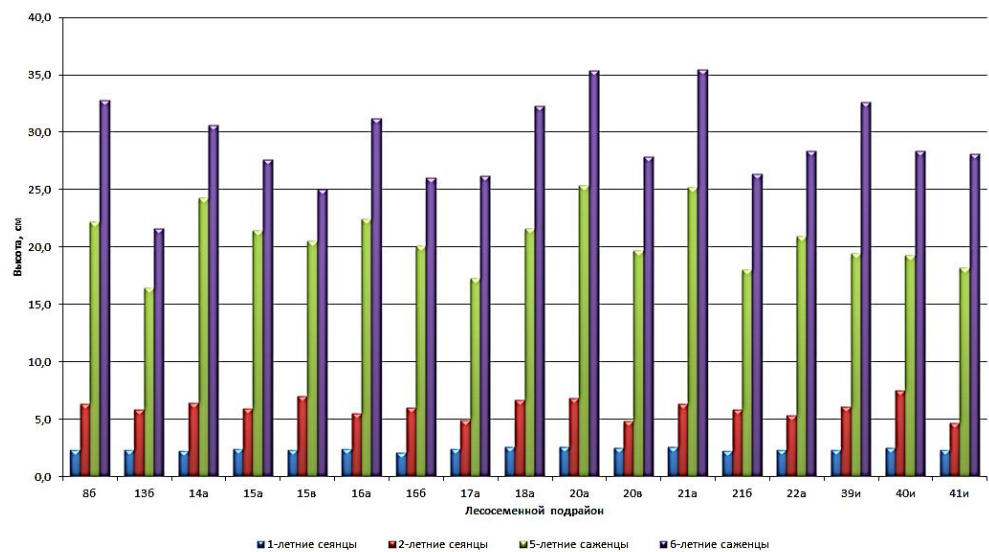
Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, M – среднее значение показателя; δ – среднеквадратическое отклонение; m – ошибка опыта; V – коэффициент вариации; P – показатель точности опыта.

Данные табл. 1 показывают, что грунтовая всхожесть семян у разных климатипов варьировала от 12 до 60 %. Среднее количество семян составляло от 9,3 до 11,6.

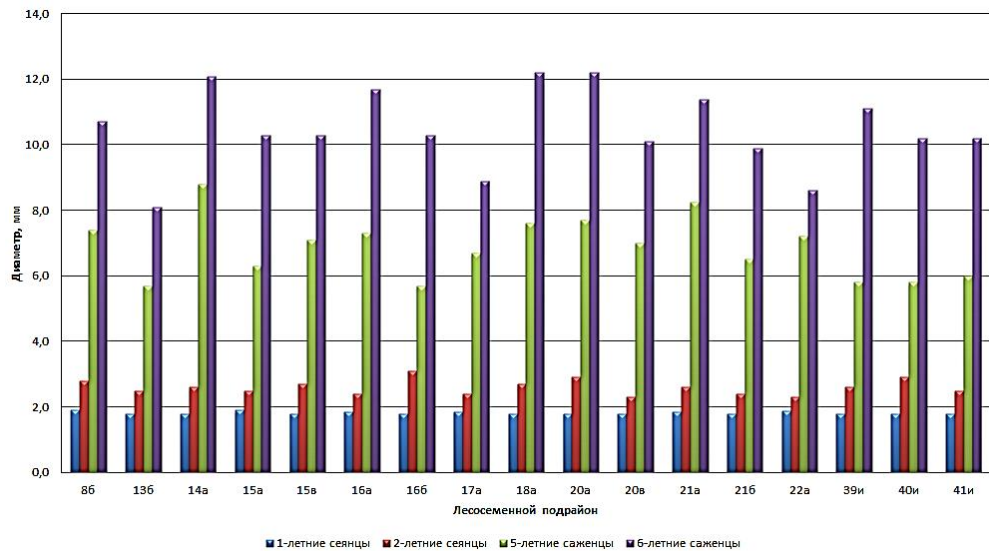
По литературным данным [1], у всходов сосны кедровой сибирской с большим числом семян отмечается в дальнейшем лучший рост по высоте, диаметру, повышенное накопление фитомассы, более раннее репродуктивное развитие и повышенная урожайность. Однако проведенный корреляционный анализ показал слабую положительную связь (коэффициент корреляции

от 0,01 до 0,39) между средним количеством семядолей у климатипов и средними показателями роста (высота, диаметр) климатипов в возрасте от 1 до 6 лет. В данном опыте не было обнаружено существенной устойчивой корреляционной связи между грунтовой всхожестью и дальнейшим ростом климатипов.

Динамика роста разных климатипов по высоте и диаметру у корневой шейки представлена на рис. 1.



a



б

Рис. 1. Высота (*a*) и диаметр у корневой шейки (*б*) 1- и 2-летних сеянцев и 5- и 6-летних саженцев разного географического происхождения

Как видно из рис. 1, различия между климатипами по высоте и диаметру с возрастом усиливаются и максимальны у 6-летних саженцев. Статистические показатели роста 6-летних саженцев разного географического происхождения приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Показатели роста 6-летних саженцев сосны кедровой сибирской
разного географического происхождения**

Лесосеменной подрайон	Высота, см			Диаметр, мм		
	<i>M</i>	$\pm m$	V, %	<i>M</i>	$\pm m$	V, %
8б	32,8	1,80	27	10,7	0,42	19,7
13б	21,6	1,32	31	8,1	0,44	27,3
14а	30,6	1,51	25	12,1	0,42	17,4
15а	27,6	1,86	34	10,3	0,43	21,1
15в	25,0	1,17	23	10,3	0,40	19,3
16а	31,2	1,66	27	11,7	0,37	15,7
16б	26,0	1,47	28	10,3	0,49	23,7
17а	26,2	1,25	24	8,9	0,50	28,0
18а	32,3	1,47	23	12,2	0,53	21,9
20а	35,4	1,71	24	12,2	0,36	14,9
20в	27,9	1,34	24	10,1	0,44	21,7
21а	35,5	1,93	27	11,4	0,52	22,7
21б	26,4	1,36	26	9,9	0,48	24,3
22а	28,4	1,24	22	8,6	0,62	35,8
39и	32,6	1,68	26	11,1	0,35	15,9
40и	28,4	1,35	24	10,2	0,37	18,3
41и	28,1	1,23	22	10,2	0,31	15,3

Для того, что бы определить лучшие районы-поставщики семян для интродукции сосны кедровой сибирской в Московскую область, были рассчитаны показатели успешности внедрения (роста по высоте и диаметру) испытываемых климатипов кедр сибирского в 6-летнем возрасте (табл. 3).

Таблица 3

Показатели успешности роста климатипов кедр сибирского в 6-летнем возрасте

Происхождение семян – область, край	Лесосемен- ной подрайон	По высоте			По диаметру			<i>q</i>
		<i>H</i>	<i>U_h</i>	<i>Q_h</i>	<i>D</i>	<i>U_d</i>	<i>Q_d</i>	
		см			мм			
Тюменская	8б	32,8	3,6	1,0	10,7	0,2	0,2	0,6
Свердловская	13б	21,6	–7,6	–2,0	8,1	–2,4	–2,0	–2,0
Тюменская	14а	30,6	1,4	0,4	12,1	1,6	1,3	0,9
Томская	15а	27,6	–1,6	–0,4	10,3	–0,2	–0,2	–0,3
Кемеровская	15в	25,0	–4,2	–1,1	10,3	–0,2	–0,2	–0,6
Новосибирская	16а	31,2	2,0	0,5	11,7	1,2	1,0	0,8

Окончание табл. 3

Происхождение семян – область, край	Лесосемен- ной подрайон	По высоте			По диаметру			q
		H	U _h	Q _h	D	U _d	Q _d	
		см			мм			
Новосибирская	16б	26,0	–3,2	–0,8	10,3	–0,2	–0,2	–0,5
Красноярский	17а	26,2	–3,0	–0,8	8,9	–1,6	–1,3	–1,0
Алтайский	18а	32,3	3,1	0,8	12,2	1,7	1,4	1,1
Красноярский	20а	35,4	6,2	1,7	12,2	1,7	1,4	1,5
Красноярский	20в	27,9	–1,3	–0,3	10,1	–0,4	–0,3	–0,3
Красноярский	21а	35,5	6,3	1,7	11,4	0,9	0,7	1,2
Красноярский	21б	26,4	–2,8	–0,7	9,9	–0,6	–0,5	–0,6
Иркутская	22а	28,4	–0,8	–0,2	8,6	–1,9	–1,6	–0,9
Новосибирская	39и	32,6	3,4	0,9	11,1	0,6	0,5	0,7
Новосибирская	40и	28,4	–0,8	–0,2	10,2	–0,3	–0,2	–0,2
Красноярский	41и	28,1	–1,1	–0,3	10,2	–0,3	–0,2	–0,3

Результаты расчетов показателей относительной успешности внедрения климатипов по высоте и диаметру свидетельствуют о весьма неоднозначной адаптации разных климатипов в условиях Московской области.

Эффективность при интродукции климатипов наглядно видна в сравнении на рис. 2, где приведен обобщенный по высоте и диаметру относительный показатель успешности внедрения испытываемых климатипов.

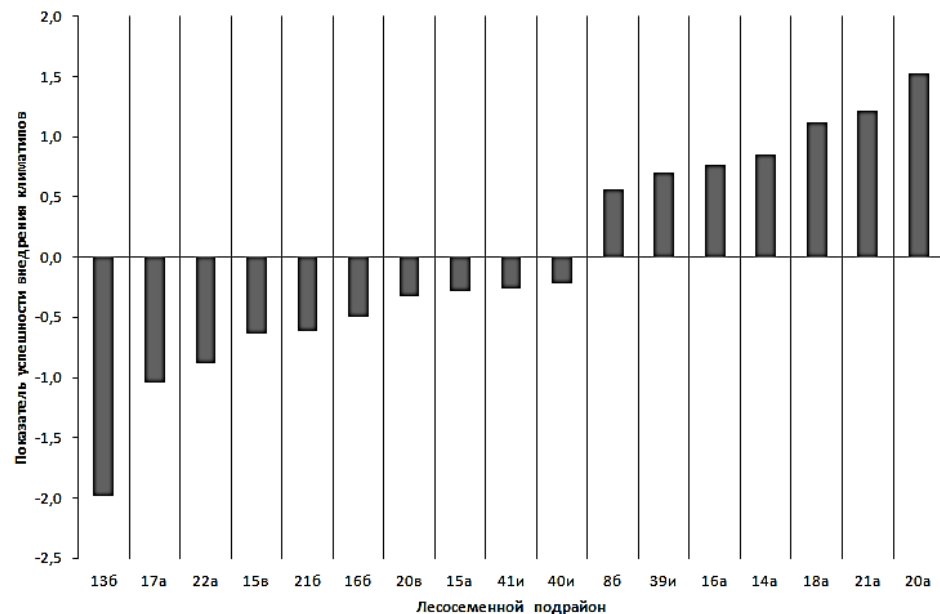


Рис. 2. Показатель успешности внедрения испытываемых климатипов кедр сибирского в 6-летнем возрасте

Заключение

Низкие значения показателя успешности внедрения имеют климатипы из следующих лесосеменных подрайонов: 17а, 20и, 41и, 21б (Красноярский край), 22а (Иркутская область), 15а (Томская область), 13б (Свердловская область), 15в (Кемеровская область), 16б и 40и (Новосибирская область).

Лучшие результаты по обобщенному показателю успешности в 6-летнем возрасте имеют климатипы из лесосеменных подрайонов: 20а (Красноярский край), 18а (Алтайский край), 21а (Красноярский край), 14а (Тюменская область), 16а (Новосибирская область), 39и (Новосибирская область), 8в (Тюменская область). При этом обобщенный показатель успешности внедрения климатипов у лесосеменного подрайона 20а (Красноярский край) составил полуторократную величину, а у лесосеменных подрайонов 21а (Красноярский край) и 18а (Алтайский край) он был больше единицы. Семена из этих лесосеменных подрайонов должны иметь преимущество при интродукции сосны кедровой сибирской в Московскую область.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Братилова Н.П. Влияние числа семядолей на рост 25-летнего кедра сибирского в плантационных культурах // Лесн. журн. 2007. № 6. С. 56–60. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Брынцев В.А., Коженкова А.А. Рост и развитие сеянцев кедра сибирского разных климатипов при интродукции // Лесохоз. информ. 1992. № 4. С. 17–20.
3. Брынцев В.А., Храмова М.И. Изменчивость семенного потомства сосны кедровой сибирской при интродукции // Лесн. журн. 2013. № 6(336). С. 38–49. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Изучение имеющихся и создание новых географических культур. Пушкино: ВНИИЛМ, 1972. 52 с.
5. Коженкова А.А. Способы размножения пятихвойных сосен для целей лесовыращивания в зоне смешанных лесов: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1987. 18 с.
6. Коженкова А.А., Брынцев В.А. Использование эмпирических кривых для изучения динамики сезонного роста пятихвойных сосен при интродукции // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 1999. № 4. С. 33–37.
7. Лесосеменное районирование основных лесобразующих пород в СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 368 с.
8. Матвеева Р.Н., Бутерова О.Ф., Братилова Н.П. Королева тайги. Красноярск: СибГТУ, 2003. 144 с.
9. Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Итог тридцати вегетаций в географических культурах ели Сергиево-Посадского опытного лесхоза // Вопросы лесоведения и лесоводства: науч. тр. МГУЛ. 1995. Вып. 274. С. 64–77.
10. Giertych M. Summary of results of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) height growth in IUFRO provenance experiments // *Silvae Genetica*, 1979, 28(4). pp. 136–152.

Поступила 07.06.16

UDC 630*27:630*181.28

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.89

Geographic Variation of Siberian Stone Pine (*Pinus Sibirica* du Tour) at the Introduction

V.A. Bryntsev¹, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

A.A. Kozhenkova², Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

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

²N.V. Tsytin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, Botanicheskaya ul., 4, Moscow, 127276, Russian Federation; e-mail: kozhenkova_anna@mail.ru

The goal of research is the determination of the most promising areas-suppliers of seeds for the Moscow region on the basis of the study of seedlings and saplings of Siberian stone pine of different geographical origin. The research objectives are: to study the shoots of Siberian stone pine of different geographical origin and indicators of the 1- and 2-year-old seedlings; to explore the growth parameters of the 5- and 6-year-old seedlings of different climatotypes in the school department; to conduct the correlation analysis between the indicators of germination and features of the 5- and 6-year-old seedlings; to determine the best climatotypes at the age of 6 years according to the complex of indicators. The objects of the study are the seedlings and saplings of Siberian stone pine of different geographical origin at the ages from 1 to 6. Seeds for the experience have been taken from the remains of the average seed samples of the zonal forest seed stations. Seedlings and saplings have been grown in a nursery forest of the Pravdinsk Forestry College, the Moscow region. In the study of the seed progeny of different origin we have revealed the increase of differences between the climatotypes with age. The correlation analysis has shown a weak (0.01...0.39) relationship between the average number of cotyledons of seedlings of different climatotypes and the average growth indicators (height, diameter at the root collar) of seedlings and saplings at the ages from 1 to 6. We have calculated the generalized introduction (growth) success ratio of the test climatotypes (according to the height and diameter), which has allowed identifying the most successful types. The best results on this age indicator have the 6-year-old plants of the following forest seed subareas: 20a (Krasnoyarsk Territory), 18a (Altai Territory), 21a (Krasnoyarsk Territory), 14a (Tyumen region), 16a (Novosibirsk region), 39и (Novosibirsk region), 8в (Tyumen region). Seedlings from the Krasnoyarsk (forest seed subareas 20a and 21a) and Altai (18a) Territories have the highest rates. Seeds of these forest seed subareas should have an advantage in the introduction of Siberian stone pine in the Moscow region.

Keywords: introduction, Siberian stone pine, geographic sowing, climatype.

REFERENCES

1. Bratilova N.P. Vliyanie chisla semyadoley na rost 25-letnego kedra sibirskogo v plantatsionnykh kul'turakh [Influence of Cotyledon Number on Growth of 25-year Siberian Cedar in Plantation Cultures]. *Lesnoy zhurnal*, 2007, no. 6, pp. 56–60.

For citation: Bryntsev V.A., Kozhenkova A.A. Geographic Variation of Siberian Stone Pine (*Pinus sibirica* Du Tour) at the Introduction, *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 89–97. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.89

2. Bryntsev V.A., Kozhenkova A.A. Rost i razvitie seyantsev kedra sibirskogo raznykh klimatipov pri introduktsii [Growth and Development of the Siberian Stone Pine Seedlings of Various Climates at the Introduction]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], 1992, no. 4, pp. 17–20.

3. Bryntsev V.A., Khramova M.I. Izmenchivost' semennogo potomstva sosny kedrovoy sibirskoy pri introduktsii [Variability of Seed Progeny of Siberian Pine at Introduction]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 6, pp. 38–49.

4. *Izucheniye imeyushchikhsya i sozdanie novykh geograficheskikh kul'tur* [The Study of Existing and Creation of New Geographical Cultures]. Pushkino, 1972. 52 p.

5. Kozhenkova A.A. *Sposoby razmnzheniya pyatikhvoynykh sosen dlya tseley lesovyrashchivaniya v zone smeshannykh lesov*: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk [Methods of Propagation of Penta- Coniferous Pines for Forest Cultivation in the Mixed Forest Zone: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Moscow, 1987. 18 p.

6. Kozhenkova A.A., Bryntsev V.A. Ispol'zovanie empiricheskikh krivyykh dlya izucheniya dinamiki sezonnogo rosta pyatikhvoynykh sosen pri introduktsii [The Use of Empirical Curves to Study the Dynamics of Seasonal Growth of Penta- Coniferous Pines at the Introduction]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 1999, no. 4, pp. 33–37.

7. *Lesosemennoe rayonirovanie osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod v SSSR* [Seed Zoning of the Main Forest-Forming Species in the USSR]. Moscow, 1982. 368 p.

8. Matveeva R.N., Buterova O.F., Bratilova N.P. *Koroleva taygi* [The Queen of the Taiga]. Krasnoyarsk, 2003. 144 p.

9. Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. Itog tridtsati vegetatsiy v geograficheskikh kul'turakh eli Sergievo-Posadskogo opytного leskhoza [The Result of Thirty Vegetations in Geographical Cultures of Spruce in the Sergiev Posad Experimental Forestry]. *Voprosy lesovedeniya i lesovodstva* [The Issues of Sylviculture and Forest Science], 1995, no. 274, pp. 64–77.

10. Giertych M. Summary of Results of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Height Growth in IUFRO Provenance Experiments. *Silvae Genetica*, 1979, vol. 28, no. 4, pp. 136–152.

Received on June 07, 2016



УДК 630*90

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.98

ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРА И ПЕРЕРАБОТКИ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ И ДРОВ НА ЛЕСОСЕКЕ*

К.Л. Михайлов, канд. экон. наук, вед. науч. сотр.

В.А. Гуцин, ст. науч. сотр.

А.М. Тараканов, д-р с.-х. наук, зав. лаб., гл. науч. сотр.

Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия, 163062; e-mail: Sevniilh@sevniilh-arh.ru

Реализация глобальной концепции устойчивого природопользования применительно к лесной отрасли предполагает комплексный системный подход в организации и управлении хозяйственной деятельностью при жестком соблюдении экологических требований. В результате проведенного анализа хозяйственной деятельности лесозаготовительных предприятий Европейского Севера России выявлено, что при заготовке древесины практически не использованными на лесосеке остаются 16...22 % древесных отходов от общего объема заготовленной и вывезенной для реализации древесины. Только в Архангельской области ежегодно на лесосеке остаются без использования от 1,6 до 2,2 млн м³ лесосечных отходов и дров, пригодных для дальнейшего использования в виде топлива. В результате SWOT-анализа выявлено перспективное направление хозяйственной и коммерческой деятельности арендаторов лесных участков под заготовку древесины: организация сбора и переработки лесозаготовительных отходов на делянке для производства щепы и дров. Кроме того, сбор и утилизация данного сырья полностью отвечает лесоводственным и противопожарным требованиям, ликвидируется захламленность площадей, пройденных рубками, улучшаются условия для естественного возобновления от источников семян, оставленных на лесосеке, снижается пожароопасность и возможность возникновения очагов лесных вредителей. Выполненная работа направлена на реализацию подпрограмм

*Публикация подготовлена по результатам исследования в рамках Государственного контракта «Разработка рекомендаций по повышению лесоводственно-экономической эффективности лесного хозяйства и лесопользования на основе оценки и внедрения системы лесохозяйственных мероприятий в лесах Европейского Севера».

Для цитирования: Михайлов К.Л., Гуцин В.А., Тараканов А.М. Организация сбора и переработки лесосечных отходов и дров на лесосеке // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 98–109. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.98

«Обеспечение использования лесов» и «Воспроизводство лесов» Государственной программы РФ «Развитие лесного хозяйства на 2013–2020 годы», утвержденной постановлением Правительства РФ № 318 от 15.04.2014 г. Приведенные данные соответствуют направлениям развития лесного комплекса, предусмотренным в Государственной программе «Развитие лесного комплекса Архангельской области на 2014–2020 годы». Цель работы – показать технологическую возможность и целесообразность сбора и переработки в биотопливо древесных отходов и дров на лесосеке. По результатам полевых исследований определены ресурсы ожидаемых лесосечных отходов. Приведен расчет хозяйственной эффективности организации сбора и переработки лесосечных отходов на делянке для производства топливной щепы и дров с применением современной техники. Результаты маркетингового исследования рынка биотоплива в Архангельской области свидетельствуют о больших возможностях и высокой эффективности переработки лесосечных отходов. Представлены широкие перспективы интеграции лесного бизнеса и привлечения инвестиций.

Ключевые слова: лесосечные отходы, дрова, биотопливо, организация лесного бизнеса, технология сбора и переработки древесных отходов, хозяйственная целесообразность.

Перспективным направлением обеспечения хозяйственного успеха арендаторов лесных участков, помимо заготовки древесины, является организация сбора и переработки лесосечных отходов на делянке для производства топливной щепы и дров. На рисунке представлена система хозяйственной организации сбора и переработки древесных отходов и дров на лесной делянке.

Ниже проведены расчеты хозяйственной целесообразности производства щепы из лесосечных отходов с использованием рубительной машины FARMИ 260 F (Финляндия) производительностью 10...40 м³/ч, а также производства топливной древесины из древесных отходов с использованием древокола JAPA 355 (Финляндия). Привлекательность для использования выбранной техники определяется ее высокой производительностью и мобильностью.

К отходам лесозаготовок относят древесные остатки, образующиеся при валке деревьев, очистке их от сучьев, раскряжевке хлыстов, разделке долготы и окорке сортиментов. В своем естественном виде отходы лесозаготовок малотранспортабельны, поэтому при энергетическом использовании их предварительно измельчают и доставляют к месту дальнейшего использования в виде топливной щепы. Рыночная конъюнктура потребности в биотопливе (топливной щепе, пеллетах и др.) на территории Архангельской области (в разрезе муниципальных районов) представлена в работе О.Д. Мюллера и др. [11]. Анализ размещения на территории области муниципальных котельных на биотопливе (работающих и строящихся) и производств по выпуску пеллет позволил определить предельное расстояние транспортировки лесосечных отходов (200 км).



Система хозяйственной организации использования лесосечных отходов и дров на лесосеке

Приняты следующие удельные нормативы образования отходов (вершинки, сучья, ветки): для ели – 16,0 %, для сосны – 12,0 %, для березы – 10,0 % к объему заготовленной древесины [3, С. 173]. Усредненные потенциальные нормативы образования сучьев, вершинок и ветвей на лесосеке для экономических районов России представлены в работе проф. В.И. Мосягина [9]. Для Северного экономического района России данный показатель составляет 16,1 %. В табл. 1 приведены объемы образования отходов в зависимости от

породного состава и полноты древостоя на лесных участках Архангельской области (по данным полевых исследований СевНИИЛХ) [13]. Расчет отходов проводили, используя формулу

$$P = \frac{HA}{100},$$

где P – ресурсы лесосечных отходов, м^3 ;

H – норматив образования отходов, %;

A – объем заготавливаемой древесины, м^3 .

Т а б л и ц а 1

**Расчет объема лесосечных ресурсов для производства биотоплива
(по данным стационара «Ломовое» Обозерского лесничества
Архангельской области)**

Тип леса*, породный состав (квартал)	Запас стволовой древесины, $\text{м}^3/\text{га}$	Объем лесосечных ресурсов для производства биотоплива, $\text{м}^3/\text{га}$	Объем лесосечных ресурсов, м^3 , на делянке площадью, га	
			20	25
Ельник чернич- ный свежий 8Е 2С ед.Ос Б (квартал 10)	Е – 128,8 С – 28,8 Ос – 3,6 Б – 3,4 Σ – 164,6	17,2	344	430
Березняк чер- ничный свежий 8Б 1Ос 1С (квартал 38)	Б – 185,5 Ос – 26,0 С – 15,5 Σ – 227,0	17,8	356	445
Ельник чернич- ный свежий 8Е 2Б ед.С,Ос (квартал 10)	Е – 166,4 Б – 27,8 С – 3,6 Ос – 1,9 Σ – 199,7	21,9	438	547,5

*На сухих почвах и в лишайниковых сосняках порубочные остатки собирать не рекомендуется из-за органической обедненности почв.

Норматив образования лесосечных отходов с учетом породного состава заготавливаемой древесины рассчитывали по следующей формуле:

$$H_{\text{п}}^{\text{ло}} = \sum_{i=1}^n \frac{a_i b_i}{100},$$

где a_i – доля древесины i -й породы;

b_i – норматив образования данных видов отходов i -й породы, %;

n – число пород древесины.

Для промышленной переработки на топливно-энергетические цели пригодны лесосечные отходы в виде сучьев диаметром свыше 3 см, длиной 0,5 м и более, а также вершинки и маломерная древесина диаметром 8 см и длиной от 1,0 м, не содержащая гнили. Площадь делянки принимается равной 20 и 25 га. Рассчитанный объем лесосечных ресурсов должен соотноситься с производительностью применяемой на лесосеке техники.

В табл. 2 представлен расчет эффективности организации производства топливной щепы из лесосечных отходов. Для сравнения, финский лесовладелец (ель 250 м³, сплошная рубка) с продажи на щепу отходов древесины и пней может выручить примерно 1 евро на 1 м³ заготовленных хлыстов [5, С. 19].

Т а б л и ц а 2

**Расчет ожидаемой эффективности производства щепы
из лесозаготовительных отходов при использовании
рубительной машины FARMI 260 F производительностью 10...40 м³/ч**

Показатель	Варианты (по загрузке рубительной машины)			
	1	2	3	4
Принятая для расчетов производительность рубительной машины по вариантам, м ³ /ч	10 (min)	20	30	40(max)
Объем переработки отходов (производства щепы) в смену (8 ч), м ³	80	160	240	320
Объем производства щепы в месяц (21 день), м ³	1680	3360	5040	6720
Отпускная цена щепы, р./ м ³	504,43	479,21	455,24	432,48
Выручка от реализации щепы в смену, р.	40354	76674	109257	138393
Выручка от реализации щепы в месяц (21 день), тыс. р.	847,4	1610,1	2294,4	2906,2
Сумма расходов для производства щепы (без транспортировки и накладных расходов), р./ м ³	38,80	38,80	38,80	38,80
Сумма расходов для производства щепы с транспортировкой (без накладных расходов), р./ м ³	88,80	88,80	88,80	88,80
Накладные расходы в месяц, тыс. р.	50	50	50	50
Прибыль в месяц (21 день), тыс. р.	648,3	1261,8	1796,9	2259,5
Прибыль на 1 м ³ , р.	385,89	375,53	356,53	336,23
Прибыль на 1 га*, р.	6637	6637	6637	6637
Прибыль на делянку в 20 / 25 га, тыс. р.	132/166	132/166	132/166	132/166

*Ельник черничный свежий 8Е 2С ед.Ос Б (квартал 10) [13].

Цена в расчетах принята на уровне статистических данных по Северо-Западному федеральному округу (графа «Отходы лесозаготовок») [6] на 15 мая 2015 г. для варианта 1. Далее по вариантам заложено снижение цены на 5,0 % к предыдущему варианту, в итоге цена в варианте 4 на 14,3 % ниже, чем в варианте 1. Применен маркетинговый подход снижения цены на вели-

чину роста цены за месяц (с 15 апреля по 15 мая 2015 г. рост цены по рассматриваемой позиции составил 5,7 %). Данный подход направлен на повышение ценовой конкурентоспособности производителя, упрочение позиции на рынке сбыта продукции [10].

Условно-переменные расходы на переработку лесосечных отходов складываются из амортизации рубильной машины FARMИ 260 F, аренды трактора «Беларусь» МТЗ-82.1 и расходов на топливо, заработной платы (с отчислениями) двух рабочих, найма автотранспорта для перевозки щепы щеповозом с фурой вместимостью 85 м³ на расстояние 200 км.

Расчет амортизации рубильной машины FARMИ 260 F: стоимость машины на складе компании-дилера «Русобалт Трейд» в г. Пскове на 25 июня 2015 г. составляет 10 364 евро [7]. Курс евро – 61,2 р. Доставка из Пскова в Архангельск – 20,0 тыс. р. Итого балансовая стоимость рубильной машины 654 276,8 р. Амортизация рассчитана на 8 лет. Следовательно, ежемесячная сумма амортизационных отчислений – 6 607,05 р.

В месяц заработная плата двух рабочих, занятых сбором лесосечных отходов и производством топливной щепы, с отчислениями на социальное страхование принимается на уровне 97,0 тыс. р. (из расчета средней заработной платы в Архангельской области за 2-й квартал 2015 г.) [12].

Затраты на аренду трактора «Беларусь» МТЗ-82.1 в месяц – 80,0 тыс. р. Удельный расход топлива при номинальной мощности – 162 г/(л.с.·ч). Цена дизельного топлива в Архангельске на 25.06.2015 г. – 34,99 р./л. Рассчитаем затраты на топливо за месяц при работе в одну смену (продолжительность 8 ч) [15]: $162 \text{ г} \cdot 81 \text{ л.с.} \cdot 8 \text{ ч} \cdot 21 \text{ день} \cdot 34,99 = 77\,135 \text{ р.}$

Найм щеповоза с фурой (85 м³) и водителем при постоянной загрузке составляет 1 тыс. р./ч [1]. По варианту 4 двум щеповозам требуется сделать по 2 ездки в смену, или $6\,720 \text{ м}^3 : 85 \text{ м}^3 = 79 \text{ фур}$. Умножим число ездов в день на 21 день и получим 42 рейса. Если 79 разделим на 42, то коэффициент использования щеповозов составит 1,88. Таким образом, стоимость найма щеповозов в месяц: $336 \text{ тыс. р.} : 21 \text{ день по } 8 \text{ ч для двух автомобилей}$. Итого 336 ч по 1 тыс. р./ч, или 50 р./м³.

Накладные расходы, включающие расходы на учет производственной и финансовой деятельности, расходы на маркетинг и менеджмент, приняты для расчета в объеме 50 тыс. р. (рассчитаны по результатам опроса финансовых консалтинговых фирм г. Архангельска, занимающихся бухгалтерским сопровождением бизнеса, маркетинговыми исследованиями на лесном рынке Архангельской области).

Цена для варианта 1 (табл. 3) принята по статистическим данным (графа «Древесина топливная») [6]. Применен подход изменения отпускной цены на древесину топливную исходя из роста на 3,7 % в месяц (по вариантам от 536,37 до 598,14 р./м³). В целом рост от варианта 1 к варианту 4 составил

Т а б л и ц а 3

**Расчет хозяйственной целесообразности производства
топливной древесины из лесосечных отходов при использовании
дровокола JAPA 355 производительностью 4...10 м³/ч**

Показатель	Варианты (по загрузке дровокола)			
	1	2	3	4
Принятая для расчетов производительность дровокола по вариантам, м ³ /ч	4	6	8	10
Объем производства древесины топливной в смену (8 ч), м ³	32	48	64	80
Объем производства древесины топливной в месяц (21 день), м ³	672	1 008	1 344	1 680
Отпускная цена древесины топливной, р./м ³	536,37	556,21	576,80	598,14
Выручка от реализации древесины топливной в смену, р.	17 164	26 698	36 915	47 851
Выручка от реализации древесины топливной в месяц (21 день), тыс. р.	360,440	560,660	775,219	1 004,875
Сумма расходов для производства древесины топливной (без транспортировки и накладных расходов), р./м ³	154,31	154,31	154,31	154,31
Сумма расходов для производства древесины топливной с транспортировкой (без накладных расходов), р./м ³	229,31	229,31	229,31	229,31
Накладные, расходы в месяц, тыс. р.	50	50	50	50
Прибыль в месяц, тыс. р.	256,344	279,515	417,026	569,634
Прибыль на 1 м ³ , р.	381,46	277,3	310,29	339,06

11,1 %. С 15 апреля по 15 мая 2015 г. рост цены на древесину топливную составил 3,7 % по рассматриваемой позиции. Для расчетов перевозку древесины топливной производим на расстояние 50 км на арендованной технике самосвалами (вместимость кузова 6 м³). Уровень рентабельности рассматриваемого примера допускает увеличение расстояния перевозки древесины топливной на большие расстояния при обеспечении прибыльности ее производства. Стоимость аренды самосвала с водителем – 1 тыс. р./ч. Вывозку древесины топливной рассчитываем по варианту 4 на 1 680 м³/мес. В месяц осуществляется по два рейса в день за 14 рабочих дней по 8 ч аренды, плюс заправка топливом. Стоимость перевозки древесины топливной составляет 75 р./м³. Формирование других статей расходов проводим аналогично расчетам, приведенным в табл. 3.

В табл. 4 представлен расчет целесообразности приобретения техники – рубильной машины FARMИ 260 F и дровокола JAPA 355.

Т а б л и ц а 4

**Расчет хозяйственной целесообразности приобретения
рубильной машины FARMИ 260 F и древокола JAPA 355**

Приобретаемая техника	Балансовая стоимость техники, тыс. р.	Прибыль по варианту 1 использования техники (минимальная загрузка), тыс. р.	Срок окупаемости, мес.
Рубильная машина FARMИ 260 F	654,3	648,3	1
Древокол JAPA 355	491,2	256,3	2
<i>Всего</i>	1145,5	904,6	1,3

Расчет окупаемости финансовых вложений в приобретение этой техники:

$$N = \frac{B}{P},$$

где N – срок окупаемости, мес.;

B – балансовая стоимость техники, тыс. р.;

P – прибыль, тыс. р.

Реализация мероприятий по утилизации отходов лесозаготовки может стать производственной специализацией арендаторов в рамках формирующегося в Архангельской области инновационного лесного кластера «ПоморИнноЛес», участие в котором позволяет решать ряд проблем, например, гарантированные поставки продукции по ценам договоренности.

Кроме того, перспективным представляется интеграция хозяйствующих субъектов по приобретению техники, координация их производственной деятельности по отгрузке продукции, созданию и совместному использованию объектов лесной инфраструктуры. Координацию их работы по созданию и развитию кластера может осуществлять АО «Корпорация развития Архангельской области» [4]. Формирование кластеров в различных сферах экономики является современной научно-практической задачей и изучается учеными и специалистами [8]. Деятельность по утилизации лесозаготовительных отходов попадает в перечень приоритетных направлений поддержки предпринимательства на территории Архангельской области, определена программой «Экономическое развитие и инвестиционная деятельность на 2014–2020 гг.» [2]. В рамках участия в указанной программе возможно получение льготного кредита через Фонд «Архангельский региональный центр микрофинансирования» [16]. Производство биотоплива из лесосечных отходов соответствует принципам устойчивого лесопользования, передовому опыту развития энергетики на возобновимом топливе [14, 17, 18].

Как показали расчеты использование лесосечных отходов и дров на лесосеке имеет большое практическое значение, отличается высокой коммерче-

ской привлекательностью и быстрой окупаемостью инвестиций, ориентировано на применение современных форм организации и интеграции лесного бизнеса. При реализации предлагаемых мероприятий обеспечивается экологическая безопасность хозяйственной деятельности с повышением лесоводственно-хозяйственной эффективности лесопользования в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аренда спецтехники. Режим доступа: <http://www.rent.odee.ru>. Дата обращения 25.06.2015.
2. Государственная программа «Экономическое развитие и инвестиционная деятельность на 2014–2020 гг.». Режим доступа: <http://dvinaland.ru/-9g4v0cum>. Дата обращения 25.06.2015.
3. Коробов В.В., Рушинов Н.П. Переработка низкокачественного сырья (проблемы безотходной технологии). М.: Экология, 1991. 288 с.
4. Корпорация развития Архангельской области. Режим доступа: <http://krao29.ru/clusters/lesopromyshlennyy-klaster/>. Дата обращения 22.07.2015.
5. Лейнонен Т., Туртиайнен М., Сиеккинен А. Лесовосстановление на Северо-Западе России и сравнение с Финляндией. Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии, 2009.
6. ЛесОнлайн. Лесная промышленность. Режим доступа: <http://www.lesonline.ru>. Дата обращения 25.06.2015.
7. Лесопильное оборудование. Режим доступа: <http://www.r6m5.ru/drobilki>. Дата обращения 25.06.2015.
8. Михайлов К.Л., Михайлова Г.В. Производственно-экологические кластеры как инновационная форма обеспечения социальной устойчивости и конкурентоспособности территории // Науч. тр. Вольного экономического общества России. 2013. Т. 175. С. 403–409.
9. Мосягин В.И. Проблемы экологизации лесного комплекса. СПб.: ЛТА, 1999. 375 с.
10. Мосягин В.И., Михайлов К.Л. Определение хозрасчетных цен на полуфабрикаты и отходы гидролизного производства // Лесн. журн. 1992. № 1. С. 107–108. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. Мюллер О.Д., Малыгин В.И., Харитоненко В.Т. Перспективы использования древесных отходов в муниципальной энергетике // Лесн. регион. 2011. № 6 (92). С. 20–21.
12. Официальный сайт Территориального органа Федеральной службы гос. статистики по Архангельской области. Режим доступа: <http://www.arhangelskstat.ru>. Дата обращения 25.06.2015.
13. Рабочий материал полевых исследований на территории Обозерского лесхоза ж/д. ст. «Ломовое» Архангельской области. Архангельск: СевНИИЛХ, 1996.
14. Резанов В.К., Грушина А.Ю. Исследование условий эффективного использования древесных отходов для выработки тепловой энергии // Власть и управление на Востоке России. 2013. № 3 (64). С. 55–62.
15. Спецтехника. Режим доступа: <http://www.arhangelskspcteh.ru>. Дата обращения 25.06.2015.
16. Фонд «Архангельский региональный центр микрофинансирования». Режим доступа: <http://msp29.ru/registry/infr/fco/11,377378/>. Дата обращения 25.06.2015.

17. Helmisaari H.S., Hanssen K.H., Jacobson S., Kukkola M., Luiro J., Saarsalmi A., Tamminen P., Tveite B. Logging Residue Removal after Thinning in Nordic Boreal Forests: Long-Term Impact on Tree Growth. *Forest Ecology and Management*, 2011, vol. 261, no. 11, pp. 1919–1927.

18. Victor D., Yueh L. The New Energy Order. *Foreign Affairs*, 2010, vol. 89, no. 1, pp. 61–73.

Поступила 08.02.16

UDC 630*90

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.98

Collection and Processing of Logging Residual and Firewood in a Felling Area

K.L. Mikhaylov, Candidate of Economic Sciences, Leading Researcher

V.A. Gushchin, Senior Research Officer

A.M. Tarakanov, Doctor of Agricultural Sciences, Chief of Laboratory,
Chief Research Scientist

Northern Research Institute of Forestry, Nikitova ul., 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; e-mail: Sevniilh@sevniilh-arh.ru

The implementation of the global concept of sustainable environmental management in the forestry sector supposes an integrated system approach in the organization and management of economic activity under strict compliance with environmental requirements. The analysis of economic activities of logging companies of the European North of Russia revealed 16...22 % of unused wood waste from the total harvested and exported timber in the felling areas. Every year from 1.6 to 2.2 million cubic meters of logging residual and firewood, suitable for the further use as a fuel, remain in the cutting areas without using in the Arkhangelsk region. As a result of the SWOT-analysis we revealed a promising direction of economic and commercial activities of the tenants of forest plots for logging: the collection and processing of logging waste on a plot for the production of wood chips and firewood. In addition, the collecting and recycling of raw materials meets silvicultural and fire protection requirements; clutter areas covered by logging are eliminated; the conditions for natural regeneration from seed sources left on the cutting area are improved; the fire risk and the emergence of forest pest centers are reduced. This paper is aimed to the realization of the subprogram “The forests use support” and “Reforestation” of the State program of the Russian Federation “Forestry Development for 2013–2020”, approved by the RF Government Decree no. 318 of 15 April 2014. These data correspond to the directions of the forest complex development, stated in the State Program “Development of the forest complex of the Arkhangelsk region for 2014–2020”. The work objective is to show the technological possibility and expediency of collecting and recycling of waste wood and firewood in the cutting areas into biofuel. According to the results of the field research we identified the resources of the expected logging residues. The calculation of the economic effectiveness of collecting and processing of logging residual in a plot for the production of wood chips and firewood

For citation: Mikhaylov K.L., Gushchin V.A., Tarakanov A.M. Collection and Processing of Logging Residual and Firewood in a Felling Area. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 98–109. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.98

with the use of modern equipment is made. The results of the marketing research of biofuels in the Arkhangelsk region indicate the comprehensive facilities and high efficiency of processing of logging residues. The paper presents the healthy outlook for the integration of forestry business and attraction of investments.

Keywords: logging residual, firewood, biofuel, forest business administration, technology of collection and utilization of wood leftovers, economic expediency.

REFERENCES

1. *Arenda spetstekhniki* [Rental of Machinery]. Available at: <http://www.rent.odee.ru> (accessed 25.06.2015).
2. *Gosudarstvennaya programma "Ekonomicheskoe razvitie i investitsionnaya deyatel'nost' na 2014–2020 gg."* [The State Program "Economic Development and Investment Activity in 2014–2020"]. Available at: <http://dvinaland.ru/-9g4v0cym> (accessed 25.06.2015).
3. Korobov V.V., Rushnov N.P. *Pererabotka nizkokachestvennogo syr'ya (problemy bezotkhodnoy tekhnologii)* [Processing of Low-Grade Raw Materials (Problems of Non-Waste Technology)]. Moscow, 1991. 288 p.
4. *Korporatsiya razvitiya Arkhangel'skoy oblasti* [Development Corporation of the Arkhangelsk Region]. Available at: <http://krao29.ru/clusters/lesopromyshlennyy-klaster> (accessed 22.07.2015).
5. Leynonen T., Turtiainen M., Siekkien A. *Lesovosstanovlenie na Severo-Zapade Rossii i sravnenie s Finlyandiei* [Reforestation in the North-West of Russia and a Comparison with Finland]. Joensuu, 2009.
6. *LesOnlayn. Lesnaya promyshlennost'* [LesOnline. Timber Industry]. Available at: <http://www.lesonline.ru> (accessed 25.06.2015).
7. *Lesopil'noe oborudovanie* [Sawmill Equipment]. Available at: <http://www.r6m5.ru/drobilki> (accessed 25.06.2015).
8. Mikhaylov K.L., Mikhaylova G.V. *Proizvodstvenno-ekologicheskie klasteri kak innovatsionnaya forma obespecheniya sotsial'noy ustoychivosti i konkurentosposobnosti territorii* [Industrial and Environmental Clusters as an Innovative Form of Ensuring Social Stability and Competitiveness of the Territory]. *Nauchnye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii* [Scientific Works of the Free Economic Society of Russia], 2013, vol. 175, pp. 403–409.
9. Mosyagin V.I. *Problemy ekologizatsii lesnogo kompleksa* [Problems of the Forest Sector Greening]. Saint Petersburg, 1999. 375 p.
10. Mosyagin V.I., Mikhaylov K.L. *Opredelenie khozraschetnykh tsen na polufabrikaty i otkhody gidroliznogo proizvodstva* [Definition of Self-Supporting Prices for Semi-Finished Products and Wastes of Hydrolytic Production]. *Lesnoy zhurnal*, 1992, no. 1, pp. 107–108.
11. Myuller O.D., Malygin V.I., Kharitonenko V.T. *Perspektivy ispol'zovaniya drevesnykh otkhodov v munitsipal'noy energetike* [Prospects for the Wood Waste Use in Municipal Energy]. *Lesnoy region*, 2011, no. 6(92), pp. 20–21.
12. *Ofitsial'nyy sayt Territorial'nogo organa Federal'noy sluzhby gos. statistiki po Arkhangel'skoy oblasti* [The Official Website of the Territorial Body of the Federal Service of the State Statistics in the Arkhangelsk Region]. Available at: <http://www.arhangelstat.ru> (accessed 25.06.2015).

13. *Rabochiy material polevykh issledovaniy na territorii Obozerskogo leskhoza zh/d. st. "Lomovoe" Arkhangel'skoy oblasti* [The Working Paper of the Field Research in the Obozerskiy Forestry, Railway Station "Lomovoye" of the Arkhangelsk Region]. Arkhangelsk, 1996.

14. Rezanov V.K., Grushina A.Yu. Issledovanie usloviy effektivnogo ispol'zovaniya drevesnykh otkhodov dlya vyrabotki teplovoy energii [Investigation of Conditions of the Effective Use of Waste Wood to Produce Heat Power]. *Vlast' i upravlenie na Vostoke Rossii* [Governance and Management in the East of Russia], 2013, no. 3(64), pp. 55–62.

15. *Spetsstekhnika* [Special Equipment]. Available at: [http://www. arhangel'skspcteh.ru](http://www.arhangel'skspcteh.ru) (accessed 25.06.2015).

16. *Fond "Arkhangel'skiy regional'nyy tsentr mikrofinansirovaniya"* [The Foundation "Arkhangelsk Regional Microfinance Center"]. Available at: [http://msp29.ru/ registry/infr/fco/11,377378](http://msp29.ru/registry/infr/fco/11,377378) (accessed 25.06.2015).

17. Helmisaari H.S., Hanssen K.H., Jacobson S., Kukkola M., Luiro J., Saarsalmi A., Tamminen P., Tveite B. Logging Residue Removal after Thinning in Nordic Boreal Forests: Long-Term Impact on Tree Growth. *Forest Ecology and Management*, 2011, vol. 261, no. 11, pp. 1919–1927.

18. Victor D., Yueh L. The New Energy Order. *Foreign Affairs*, 2010, vol. 89, no. 1, pp. 61–73.

Received on February 08, 2016

УДК 662.63

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.110

РАСЧЕТ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ПО ЭЛЕМЕНТНОМУ СОСТАВУ

Ю.В. Максимук¹, канд. хим. наук, доц.

В.С. Крук¹, канд. хим. наук, науч. сотр.

З.А. Антонова¹, канд. хим. наук, доц.

Д.А. Пономарев², д-р хим. наук, проф.

А.В. Сушкова¹, мл. науч. сотр.

¹ НИИ физико-химических проблем Белорусского государственного университета, ул. Ленинградская, д. 14, Минск, Беларусь, 220030; e-mail: maksimuk@bsu.by

² Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: dponomarev1@mail.ru

Главным показателем качества твердого топлива является теплота сгорания, которую можно вычислить на основе его элементного состава. Показано, что точность расчета теплоты сгорания древесного топлива по имеющимся универсальным уравнениям недостаточна (более 2 %). В работе для 43 различных образцов древесного топлива представлены результаты определения зольности (при температуре 800 °С), теплоты сгорания и элементного состава (углерод, водород, кислород, сера и азот). Проанализированы данные по элементному составу древесного топлива из других литературных источников: для данных конца XIX в. характерно более высокое содержание углерода и водорода. По 11 уравнениям представлены результаты расчета высшей теплоты сгорания древесного топлива в абсолютно сухом состоянии. Установлено, что для вычисления этого показателя наиболее оптимальными являются уравнения, учитывающие вклад основного компонента (углерода) с корректировкой его либо за счет свободного члена, либо за счет незначительного вклада водорода. Методом наименьших квадратов с использованием экспериментальных данных по 35 образцам произведен расчет коэффициентов при углероде и водороде и предложено уравнение для расчета высшей теплоты сгорания древесного топлива в абсолютно сухом состоянии. Проверка уравнения проведена на основании экспериментальных данных для 28 образцов из трех различных литературных источников. Среднее абсолютное отклонение расчетных значений от экспериментальных (погрешность расчета) составило 1,5 %, что соответствует максимальной допустимой погрешности калориметрического определения высшей теплоты сгорания. Содержание водорода и углерода целесообразно определять одновременно с помощью автоматических

Для цитирования: Максимук Ю.В., Крук В.С., Антонова З.А., Пономарев Д.А., Сушкова А.В. Расчет теплоты сгорания древесного топлива по элементному составу // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 110–121. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.110

элементных анализаторов, при этом содержание водорода следует использовать для расчета низшей теплоты сгорания.

Ключевые слова: древесное топливо, высшая теплота сгорания, элементный состав.

Введение

Древесная биомасса, являясь старейшим видом топлива, до сих пор используется человеком, поэтому проблема ее эффективного использования по-прежнему остается актуальной во всем мире. Основным показателем оценки энергоэффективности топлива – теплота его сгорания, которая определяется либо непосредственно методом бомбовой калориметрии, либо косвенно, обычно расчетом на основе элементного состава топлива. Первый бомбовый калориметр был изготовлен Бертло в 1881 г., первые зависимости для расчета были предложены Дюлоном для углей (опубликовано в 1843 г.) и Д.И. Менделеевым в 1897 г. [4] для различных видов твердых и жидких топлив. Позднее на основании теоретических представлений Дюлона и Менделеева было предложено множество аналогичных зависимостей. Со второй половины XX в. начинают доминировать эмпирические зависимости, основанные на различных видах статистической обработки экспериментальных данных, появляются зависимости не только по элементному, но и компонентному, химическому и др. составам, а также по их комбинациям [9, 20]. Не понятно по какой причине, но формула Менделеева в зарубежных публикациях не упоминается, а в русскоязычной литературе, за исключением отдельных статей [1, 7], является единственным вариантом расчета теплоты сгорания по элементному составу для любых органических веществ и материалов в конденсированном состоянии. Уравнения для вычисления теплоты сгорания различных видов биомассы разрабатывались с 80-х гг. XX в. и представлены в обзоре [20]. Для расчета высшей теплоты сгорания (ВТС) с большей точностью целесообразно разработать специализированное уравнение для древесного топлива, поскольку значения ВТС для этого вида топлива варьируются в узком интервале ($\pm 10\%$).

Цель данной работы – проверка применимости различных уравнений, включая формулу Менделеева, для расчета ВТС древесного топлива по элементному составу и предложение оптимального уравнения.

Объекты и методы исследования

В качестве исходных образцов отбирали пробы из промышленных партий древесного топлива (чаще всего это древесина с содержанием коры $\sim 10\%$). Для измерений использовали аналитические пробы, имеющие частицы размерами более 1 мм. Определение элементного состава, зольности и теплоты сгорания проводили параллельно с измерениями влажности.

Влажность определяли путем высушивания (сушильный шкаф SNOL 24/200) до постоянного веса навески массой 1,0...2,0 г при температуре 105 °С в алюминиевых бюксах вместимостью 100 мл по ГОСТ 32975.3–2014 (EN 14774-3:2009). Для определения зольности (А) предварительно обугленную навеску массой ~1,0 г прокаливали в фарфоровых тиглях при 800 °С в течение 60 мин в муфельной печи МИМП-3П. Точность поддержания температур в рабочих камерах сушильного шкафа и муфельной печи составляла ± 2 °С. Измерения выполняли в трех параллельных повторностях, при этом повторяемость (сходимость) результатов не превышала 0,2 %.

ВТС определяли по ГОСТ 33106–2014 (EN 14918:2009) с использованием бомбового изопериболического калориметра В-08 МА с водяной оболочкой. Калибровку калориметра осуществляли по стандартному образцу бензойной кислоты марки К-3 (ГСО 5504–90). Образцы массой 1,0...1,2 г сжигали в виде спрессованных на воздухе таблеток в жаропрочных тиглях из нержавеющей стали. В качестве запала использовали медную проволоку диаметром 0,5 мм. Средняя сходимость результатов измерений ВТС составляла 0,05 МДж/кг, максимальная – 0,15 МДж/кг.

Для определения содержания элементов (углерода С, водорода Н, азота N) использовали инструментальный метод по ГОСТ 32985–2014 (EN 15104:2011) на анализаторах VarioEL III (Elementar Analysensysteme GmbH) и Flash 2000 (ThermoFisher Sci.). Масса навесок: 2...3 мг – для Flash 2000, 5...10 мг – для VarioEL III. В качестве стандартов для калибровки приборов использовали сертифицированные образцы сульфаниловой и бензойной кислот. Средняя сходимость результатов измерений составляла: по С – 0,5 %, по Н – 0,2 %, по N – 0,1 %. Одновременно на анализаторе VarioEL III определяли содержание серы S. Кроме того, наличие S серы контролировали гравиметрически путем осаждения хлоридом бария сульфат-ионов из промывных вод калориметрической бомбы. Содержание S для большинства образцов варьировало в пределах 0,02...0,05 %. Повышенное содержание S отмечено в образцах № 5, 41 (0,09 %) и № 3, 22, 28 (0,10 %), максимальное – в образце № 43 (0,11 %).

Данные об элементном составе и ВТС, полученные для аналитических проб, были пересчитаны на абс. сухое состояние (d) с учетом значений влажности и представлены в табл. 1. Сравнение полученных нами результатов с литературными данными приведено в табл. 2. Данные первой половины XX в. [2, 5] суммированы в монографии [6], данные из работы [8] представлены как среднее арифметическое ВТС^d хвойных и лиственных пород. Средние значения содержания элементов (С, Н, N) близки в пределах погрешности их определения, что свидетельствует о согласованности данных разных исследователей. Можно отметить, что наибольшие значения С и Н получены в конце XIX в.

Т а б л и ц а 1

**Элементный состав, зольность (A^d) и ВТС древесного топлива
в пересчете на сухое вещество (d)**

№ образца	Древесное топливо	Элементный состав, %				A^d , %	ВТС ^d , МДж/кг
		C^d	H^d	N^d	O^{d*}		
1	Щепа	48,6	6,2	0,6	38,7	5,8	18,89
2	«	53,4	6,7	0,4	37,7	1,6	23,57
3	«	47,1	6,3	1,1	42,0	3,4	21,78
4	Гранулы	52,9	5,9	0,2	39,3	1,8	21,57
5	Щепа	54,2	–	0,4	–	1,0	21,49
6	«	52,9	–	0,2	–	2,3	20,78
7	Дрова	48,8	5,8	0,3	37,5	7,5	19,34
8	«	49,5	6,0	0,1	43,1	1,3	19,79
9	«	50,7	6,3	0,3	41,7	1,1	19,60
10	Гранулы	51,3	6,0	0,2	41,3	1,2	20,61
11	Опилки	49,5	6,3	0,1	43,0	1,0	20,12
12	Брикеты из пыли	49,6	6,0	0,3	43,7	0,3	19,64
13	«	49,4	6,0	0,3	43,8	0,4	19,55
14	«	49,4	6,0	0,1	44,2	0,4	19,74
15	Дрова	52,5	6,7	0,1	40,0	0,8	20,99
16	«	49,6	6,5	0,1	43,3	0,6	19,75
17	Гранулы	52,3	6,2	0,1	41,1	0,3	21,20
18	Брикеты из пыли	51,9	6,0	0,1	41,7	0,2	21,01
19	Гранулы	52,0	6,2	0,2	41,4	0,3	21,06
20	«	50,6	6,2	0,5	41,9	0,9	20,40
21	Опилки	49,8	–	0,03	–	0,2	19,97
22	«	49,9	–	0,1	–	0,5	20,29
23	Гранулы	51,3	6,0	0,05	42,2	0,4	20,60
24	Щепа	50,3	6,1	0,4	42,7	0,5	20,22
25	Пыль	48,3	6,4	5,0	38,4	2,0	19,79
26	Щепа	50,0	6,3	0,4	42,6	0,7	20,01
27	Гранулы	50,0	6,0	0,2	43,0	0,9	20,29
28	«	50,3	6,0	0,1	42,3	1,2	20,53
29	Брикеты	50,1	5,8	0,2	39,0	4,8	19,57
30	«	51,3	5,8	0,2	41,3	1,4	20,54
31	«	49,6	5,7	0,2	42,0	2,4	19,72
32	«	50,5	5,8	0,1	43,0	0,5	20,56
33	Гранулы	50,3	5,6	0,0	40,5	3,5	19,95
34	«	50,2	6,1	0,2	42,3	1,3	20,57
35	Брикеты	50,2	6,0	0,3	43,1	0,4	20,71
36	«	48,3	5,8	0,2	45,5	0,2	19,42
37	Гранулы	50,5	5,9	0,6	42,4	0,6	20,50
38	«	49,6	6,0	0,3	42,2	1,9	20,04
39	Брикеты	49,8	5,7	0,3	43,4	0,7	20,12
40	«	51,1	5,9	0,3	41,3	1,5	20,38
41	Брикеты из шпалы	52,9	5,9	0,6	36,9	3,7	21,15
42	Гранулы	49,5	5,8	0,6	43,2	0,9	19,41
43	Щепа	49,8	–	0,4	–	1,4	19,94

*Содержание кислорода рассчитывали по разности: $100\% - (C^d + H^d + N^d + S^d + A^d)$.

Т а б л и ц а 2

**Средние значения ВТС и элементного состава древесного топлива
в пересчете на сухое вещество (*d*) по разным литературным источникам**

Литература	ВТС ^d , МДж/кг	A ^d , %	N ^d , %	C ^d , %	H ^d , %	S ^d , %	O ^d , %
[3]	–	1,0	1,3	50,6	6,2	–	41,9
[2, 5]	20,10	1,0	0,6	50,5	6,0	–	41,9
[8]	20,28±1,78	1,0		49,5	6,0	–	43,5
[11]	20,04	1,3	0,2	50,4	6,05	0,02	42,2
[10]	19,58	2,9	0,4	49,0	5,7	0,10	41,9
[18]	19,26±0,91	0,7	0,2	48,3	5,8	0,03	45,0
Данная работа	20,35±0,75	1,4±1,4	0,3±0,2	50,4 ±1,5	6,05±0,25	0,04±0,03	41,8±1,9

Вычисление ВТС древесного топлива по элементному составу

Для расчета ВТС^d использовали уравнения с различным числом параметров, разработанные ранее для древесины и различных видов биомассы, а также универсальные уравнения для всех видов топлива (табл. 3). Необходимость разработки нового уравнения и обоснование вида этого уравнения основано на следующих положениях:

1) Анализ данных по элементному составу древесного топлива показывает, что содержание N и S в этом виде топлива незначительно – максимум 1,0 и 0,1 % соответственно. Поэтому учитывать вклады этих элементов в уравнениях для древесного топлива не оправдано.

2) В работе [10] авторами предложен кластерный анализ, при использовании которого для различных видов биомассы установлено, что суммарное содержание C и H в общем вкладе составляет примерно 70 %.

3) Содержание H необходимо знать также и потому, что оно используется при пересчете ВТС в низшую теплоту сгорания (НТС), имеющую практическое значение.

4) В современных аналитических анализаторах содержание C и H определяется быстро и одновременно.

5) Для уравнения (4), основанного на использовании коэффициентов при C и H, наблюдаются наибольшие отклонения расчетных значений от экспериментальных, что, на наш взгляд, связано с большим значением коэффициента при H.

6) Из девяти специализированных для биомассы уравнений только два уравнения ((6) и (8)) учитывают вклады содержания O. Несмотря на то, что содержание O в биомассе велико (порядка 40 %), это значение наименее достоверно, поскольку оно является, как правило, остатком после вычитания из 100 % массовой доли других элементов.

7) Переходы от уравнения (2) к (8) и от (3) к (6), предлагаемые одними и теми же авторами ([17] и [13, 14] соответственно), в которых число параметров изменяется от одного до трех, приводит к снижению отклонений

Таблица 3

Уравнения для вычисления $ВТС^d$ (в МДж/кг) топлив по их элементному составу и золе

№ уравнения	Правая часть уравнения	Топливо	Количество образцов	ААЕ, %	Авторы уравнения
1	$0,4373 \cdot C^d - 1,6701$	Биомасса	57	1,52	Tillman [19]
2	$0,293 \cdot C^d + 5,205$	Древесина	191	1,92	Jenkins and Ebelling [15]
3	$0,3259 \cdot C^d + 3,4597$	Биомасса	44	1,98	Sheng and Azevedo [17]
4	$0,2949 \cdot C^d + 0,8250 \cdot H^d$	«	63	2,27	Yin [21]
5	$0,4078 \cdot C^d + 0,0506 \cdot H^d$	Древесина	191	1,48	Данная работа
6	$0,3137 \cdot C^d + 0,7009 \cdot H^d + 0,03189 \cdot O^d - 1,3675$	Биомасса	430	1,80	Sheng and Azevedo [17]
7	$0,339 \cdot C^d + 1,256 \cdot H^d - 0,109 \cdot (O^d - S^d)$	Твердое, жидкое	57	2,39	Д.И. Менделеев [4]
8	$0,306 \cdot C^d + 0,703 \cdot H^d + 0,016 \cdot O^d + 1,177$	Древесина	122	1,58	Jenkins and Ebelling [14]
9	$0,00355 \cdot (C^d)^2 - 0,232 \cdot C^d - 2,230 \cdot H^d + 0,0512 \cdot C^d \cdot H^d + 0,131 \cdot N^d + 0,0206$	Биомасса	Нет инф.	1,56	Friedl et al. [10]
10	$0,328 \cdot C^d + 1,4306 \cdot H^d - 0,0237 \cdot N^d + 0,0929 \cdot S^d - (1 - A^d/100) \cdot 40,11 \cdot H^d/C^d$	«	275	1,60	Graboski and Bain [12]
11	$0,3491 \cdot C^d + 1,1783 \cdot H^d - 0,0151 \cdot N^d + 0,1005 \cdot S^d - 0,1034 \cdot O^d - 0,0211 \cdot A^d$	Твердое, жидкое и газообразное		1,96	Canniwalla and Parikh [9]

Таблица 4

Параметры статистической обработки расчетных и экспериментальных значений $ВТС^d$

№ уравнения	СКО, МДж/кг		ААЕ, %		АВЕ, %	
	Данная работа	Другие источники	Данная работа	Другие источники	Данная работа	Другие источники
1	0,30	0,43	1,22	1,82	0,61	0,94
2	0,34	0,49	1,84	2,00	-1,31	0,34
3	0,33	0,47	2,07	1,89	-1,75	-0,45
4	0,38	0,45	2,37	2,18	-2,00	-1,28
5	0,30	0,44	1,17	1,79	0,03	0,67
6	0,36	0,46	1,79	1,81	-1,16	-0,03
7	0,50	0,53	2,09	2,68	-0,64	-2,19
8	0,37	0,44	1,48	1,67	-0,35	0,26
9	0,31	0,43	1,37	1,76	-0,77	-0,69
10	0,36	0,42	1,49	1,71	0,87	0,57
11	0,46	0,52	1,70	2,21	0,53	-0,86

Примечание. Для данной работы $n = 35$, для других источников $n = 28$.

между расчетными и экспериментальными значениями ВТС. Но это снижение незначительно и в среднем составляет 0,3 %, т. е. для разработки уравнения расчета ВТС^d древесного топлива целесообразно использовать максимум два параметра.

8) После уравнения (4) самые большие отклонения отмечены для универсальных уравнений (7) и (11). Это логичный результат, поскольку специализированные уравнения применительно к своим образцам дают, по определению, более точные значения.

Результаты проведенного анализа свидетельствуют о целесообразности разработки нового двухпараметрового уравнения, учитывающего содержание С и Н. Коэффициенты при С и Н рассчитывали методом наименьших квадратов с использованием экспериментальных данных по элементному составу и ВТС^d (см. табл. 1). Исключение составляют образцы, для которых не было определено содержание Н (№ 5, 6, 21, 22, 43) или отклонения расчетных и экспериментальных значений превышали 5 % (№ 2, 3, 42). Для оценки применимости полученного нами уравнения (5), приведенного в табл. 3, были использованы статистические параметры из других работ [10, 14, 21]:

среднеквадратичное (стандартное) отклонение (*standard error of prediction*):

$$\text{СКО} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\Delta(\text{ВТС}^d)_i - \Delta(\overline{\text{ВТС}^d}) \right)^2}{n-1}},$$

где n – число образцов,

$$\Delta(\text{ВТС}^d) = \text{ВТС}_{\text{расч}}^d - \text{ВТС}_{\text{эксп}}^d;$$

$$\Delta(\overline{\text{ВТС}^d}) - \text{среднее отклонение, } \Delta(\overline{\text{ВТС}^d}) = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{ВТС}_{\text{расч}}^d - \text{ВТС}_{\text{эксп}}^d)_i}{n};$$

среднее абсолютное отклонение расчетных значений от экспериментальных – погрешность расчета (*average absolute error*):

$$\text{AAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\Delta(\text{ВТС}^d)_i|}{(\text{ВТС}_{\text{эксп}}^d)_i} 100 \%;$$

среднее отклонение расчетных значений от экспериментальных (*average bias error*):

$$\text{ABE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta(\text{ВТС}^d)_i}{(\text{ВТС}_{\text{эксп}}^d)_i} 100 \%.$$

Для проверки воспроизводимости статистических параметров уравнения (5) использовали экспериментальные данные по ВТС^d и составу для 28 образцов древесины, взятые из разных литературных источников: 17 об-

разцов – из [18], 8 образцов – из [15], 3 образца – из [16]. Статистические параметры отклонений экспериментальных и расчетных значений $ВТС^d$, полученные по нашим и литературным данным, представлены в табл. 4.

Если сравнивать массивы экспериментальных данных, взятых из данной работы и других источников, то погрешность расчета (ААЕ) по ним слабо зависит от вида применяемого уравнения: для уравнений (3) и (4) она уменьшается на 0,19 %, для остальных – увеличивается в среднем на 0,37 %. Если не учитывать универсальные уравнения (7) и (11), предложенные для всех видов топлива, то СКО изменяется для нашей работы и других источников в узких интервалах: 0,3...0,4 и 0,4...0,5 МДж/кг соответственно, что свидетельствует о надежности используемых уравнений. Кроме того, из результатов статистической обработки данных, полученных по уравнениям (1) – (11) (табл. 4), видно, что число уравнений, имеющих положительные и отрицательные отклонения расчетных значений $ВТС^d$ от экспериментальных (АВЕ), примерно одинаково. Так, положительные отклонения наблюдались для четырех и пяти, отрицательные – для семи и шести уравнений (по данным этой работы и по литературным данным) соответственно, что косвенно свидетельствует о достоверности использовавшихся при анализе экспериментальных величин.

Выполненный анализ значений погрешности расчета (ААЕ) по всем уравнениям (1) и (11) (см. табл. 3) показывает, что для вычисления $ВТС^d$ древесного топлива по элементному составу наиболее предпочтительными (точными) являются уравнения, которые учитывают содержание С (основной вклад) с корректировкой этого вклада либо свободным членом (уравнение (1)), либо вкладом, учитывающим содержание Н (уравнение (5)). В последнем случае вклад Н невелик по сравнению с вкладом С. Полученный результат можно наглядно интерпретировать следующим образом. По мнению Д.И. Менделеева «...как топливо дерево или дрова отличаются тем, что содержат много элементов воды (кислорода и водорода) ..., так что горит почти исключительно углерод» [3, с. 374]. Элементами воды и соответственно основными компонентами древесины в современной трактовке являются углеводы (соединения «углерода и воды»), представленные в виде целлюлозы и гемицеллюлоз. Следующим по значимости и количеству компонентом древесины является лигнин, в составе которого содержится меньше кислорода, из-за чего горит не только углерод, но и часть «свободного» водорода.

Выводы

На основании экспериментальных значений содержания С и Н, получаемых одновременно с помощью элементного анализатора (для большого числа образцов является более удобным, чем использование бомбового калориметра), можно рассчитать $ВТС^d$ древесного топлива с погрешностью 1,5 %, которая соответствует максимально допустимой погрешности калориметрического определения $ВТС^d$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков А.Л., Денькин А.И., Тихова В.Д., Ломовский О.И. Расчет теплоты сгорания лигноцеллюлозы на основании данных элементного состава // Химия растит. сырья. 2014. № 3. С. 99–104.
2. Котельные установки: в 2 т. / под ред. М.В. Кирпичева, Э.И. Ромма, Т.Т. Усенко. Т. 1. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1941. 280 с.
3. Менделеев Д.И. Горючие материалы // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. Санкт-Петербург: Тип. И.А. Ефрона, 1893. Т. IX. С. 372–383.
4. Менделеев Д.И. Основы фабрично-заводской промышленности. Вып. 1. Санкт-Петербург: Тип. В. Демакона, 1897. С. 90.
5. Нормы теплового расчета котельного агрегата. М.:Л.: Госэнергоиздат, 1952. 237 с.
6. Равич М.Б. Эффективность использования топлива. М.: Наука, 1977. 344 с.
7. Стрижакова Ю.А., Рыжов А.Н., Чуваева И.В., Смоленский Е.А., Ланидус А.Л. Зависимость теплоты сгорания горючих сланцев от их химического состава // Химия твердого топлива. 2011. № 5. С. 11–15.
8. Baldwin S.F. Boimass Stoves: Engineering Desigh, Development and Dissemination. *Volunteers in Technical Assistance (VITA)*. Arlington, 1987. 382 p.
9. Channiwala S.A., Parikh P.P. A Unified Correlation for Estimating HHV of Solid, Liquid and Gaseous Fuels. *Fuel*, 2002, vol. 81, no. 8, pp. 1051–1063.
10. Friedl A., Padouvas E., Rotter H., Varmuza K. Prediction of Heating Values of Biomass Fuels from Elemental Composition. *Analytica Chimica Acta.*, 2005, vol. 544, pp. 191–198.
11. Gaur S., Reed T.B. *Thermal Data for Natural and Synthetic Fuels*. New York, 1998. 280 p.
12. Graboski M., Bain R. Properties of Biomass Relevant to Gasification. *Biomass Gasification – Principles and Technology*. Ed. by T.B. Reed. New Jersey, 1981, pp. 41–70.
13. Jenkins B.M., Ebelling J.M. Correlation of Physical and Chemical Properties of Terrestrial Biomass with Conversion. *Symposium Energy from Biomass and Waste IX IGT*, 1985, p. 371.
14. Jenkins B.M., Ebelling J.M. Physical and Chemical Properties of Biomass Fuels. *Trans. ASAE*, 1985, vol. 28, no. 3, pp. 898–902.
15. Jenkins B.M., Ebelling J.M. Thermochemical Properties of Biomass Fuels. *California agriculture*, 1985, May–June, pp. 14–16.
16. Sebestyen Z., Lezsovits F., Jakab E., Varhegyi G. Correlation between Heating Values and Thermogravimetric Data of Sewage Sludge, Herdaceous Crops and Wood Samples. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2012, vol. 110, pp. 1501–1509.
17. Sheng C., Azevedo J.L.T. Estimating the Higher Heating Value of Biomass Fuels from Basic Analysis Data. *Biomass and Bioenergy*, 2005, vol. 28, no. 5, pp. 499–507.
18. Telmo C., Lousada J., Moreira N. Proximate Analysis, Backwards Stepwise Regression between Gross Calorific Value, Ultimate and Chemical Analysis of Wood. *Biore-source Technology*, 2010, vol. 101, no. 11, pp. 3808–3815.
19. Tillman D.A. *Wood as an Energy Resource*. New York, 1978. 252 p.

20. Vargas-Moreno J.M., Callejón-Ferre A.J., Perez-Alonso J., Velázquez-Martí B. A Review of the Mathematical Models for Predicting the Heating Value of Biomass Materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, vol. 16, pp. 3065–3083.

21. Yin C.-Y. Prediction of Higher Heating Values of Biomass from Proximate and Ultimate Analyses. *Fuel*, 2011, vol. 90, pp. 1128–1132. Поступила 07.07.16

Поступила 07.07.16

UDC 662.63

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.110

Calculation of the Heating Value of Wood Fuel from the Elemental Composition

Yu.V. Maksimuk¹, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

V.S. Kruk¹, Candidate of Chemical Sciences, Research Officer

Z.A. Antonova¹, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

D.A. Ponomarev², Doctor of Chemical Sciences, Professor

A.V. Sushkova¹, Research Assistant

¹Research Institute for Physical Chemical Problems of the Belarusian State University, Leningradskaya ul., 14, Minsk, 220030, Belarus; e-mail: maksimuk@bsu.by

²Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: dponomarev1@mail.ru

The heating value is the main quality indicator of solid fuel, which can be calculated on the basis of its elemental composition. The accuracy of the heating value calculation of wood fuel by the available universal equations is insufficient (over 2 %). The article presents the results of the determination of ash (at 800 °C), heating value and elemental composition (carbon, hydrogen, oxygen, sulfur and nitrogen) for 43 different samples. The elemental composition data of wood fuel from different literary sources are analyzed: the higher content of carbon and hydrogen is characteristic for the data of the end of the 19th century. According to 11 equations the paper presents the results of the calculation of the high heat value of wood fuel in an absolutely dry state. The equations, which take into account the main component contribution (carbon) with the adjustment by a free member or by a minor contribution of hydrogen, are the most optimal for the calculation of this index. By the method of minimum squares and with the use of the experimental data of 35 samples we perform the coefficients calculation of carbon and hydrogen and propose an equation to calculate the high heat value of wood fuel in a completely dry state. The test of equation is carried out on the basis of the experimental data for 28 samples from three different literary sources. The average absolute deviation of the calculated and experimental values (calculation error) is 1.5 %, which corresponds to the peak error of the calorimetric test of the high heat value.

For citation: Maksimuk Yu.V., Kruk V.S., Antonova Z.A., Ponomarev D.A., Sushkova A.V. Calculation of the Heating Value of Wood Fuel from the Elemental Composition. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 110–121. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.110

The hydrogen and carbon content is advisable to determine simultaneously using the automatic elemental analyzers; and the hydrogen content should be used to calculate a low heat value.

Keywords: wood fuel, high heat value, elemental composition.

REFERENCES

1. Bychkov A.L., Den'kin A.I., Tikhova V.D., Lomovskiy O.I. Raschet teploty sgoraniya lignotsellyulozy na osnovanii dannykh elementnogo sostava [The Lignocellulose Heating Value Calculation Based on the Elemental Composition Data]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2014, no. 3, pp. 99–104.
2. *Kotel'nye ustanovki* [Boilers]. Ed. by M.V. Kirpichev, E.I. Romm, T.T. Usenko. Moscow; Leningrad, 1941. vol. 1. 280 p.
3. Mendeleev D.I. Goryuchie materialy [Combustible Materials]. *Entsiklopedicheskiy slovar' Brokgauza i Efrona* [Brockhaus and Efron Encyclopedic Dictionary]. St. Petersburg, 1893, vol. IX, pp. 372–383.
4. Mendeleev D.I. *Osnovy fabrichno-zavodskoy promyshlennosti* [Fundamentals of the Manufacturing Industry]. St. Petersburg, 1897, p. 90.
5. *Normy teplovogo rascheta kotel'nogo agregata* [The Norms of Heat Calculation for Boiler Units]. Moscow; Leningrad, 1952. 237 p.
6. Ravich M.B. *Effektivnost' ispol'zovaniya topliva* [Fuel Efficiency]. Moscow, 1977. 344 p.
7. Strizhakova Yu.A., Ryzhov A.N., Chuvaeva I.V., Smolenskiy E.A., Lapidus A.L. Zavisimost' teploty sgoraniya goryuchikh slantsev ot ikh khimicheskogo sostava [The Dependence of the Combustion Heat of Oil Shale on Their Chemical Composition]. *Khimiya tverdogo topliva* [Solid Fuel Chemistry], 2011, no. 5, pp. 11–15.
8. Baldwin S.F. Boimass Stoves: Engineering Desigh, Development and Dissemination. *Volunteers in Technical Assistance (VITA)*. Arlington, 1987. 382 p.
9. Channiwala S.A., Parikh P.P. A Unified Correlation for Estimating HHV of Solid, Liquid and Gaseous Fuels. *Fuel*, 2002, vol. 81, no. 8, pp. 1051–1063.
10. Friedl A., Padouvas E., Rotter H., Varmuza K. Prediction of Heating Values of Biomass Fuels from Elemental Composition. *Analytica Chimica Acta.*, 2005, vol. 544, pp. 191–198.
11. Gaur S., Reed T.B. *Thermal Data for Natural and Synthetic Fuels*. New York, 1998. 280 p.
12. Graboski M., Bain R. Properties of Biomass Relevant to Gasification. *Biomass Gasification – Principles and Technology*. Ed. by T.B. Reed. New Jersey, 1981, pp. 41–70.
13. Jenkins B.M., Ebellling J.M. Correlation of Physical and Chemical Properties of Terrestrial Biomass with Conversion. *Symposium Energy from Biomass and Waste IX IGT*, 1985, p. 371.
14. Jenkins B.M., Ebellling J.M. Physical and Chemical Properties of Biomass Fuels. *Trans. ASAE*, 1985, vol. 28, no. 3, pp. 898–902.
15. Jenkins B.M., Ebellling J.M. Thermochemical Properties of Biomass Fuels. *California agriculture*, 1985, May–June, pp. 14–16.
16. Sebestyen Z., Lezsovits F., Jakab E., Varhegyi G. Correlation between Heating Values and Thermogravimetric Data of Sewage Sludge, Herdaceous Crops and Wood Samples. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2012, vol. 110, pp. 1501–1509.

17. Sheng C., Azevedo J.L.T. Estimating the Higher Heating Value of Biomass Fuels from Basic Analysis Data. *Biomass and Bioenergy*, 2005, vol. 28, no. 5, pp. 499–507.
18. Telmo C., Lousada J., Moreira N. Proximate Analysis, Backwards Stepwise Regression between Gross Calorific Value, Ultimate and Chemical Analysis of Wood. *Biore-source Technology*, 2010, vol. 101, no. 11, pp. 3808–3815.
19. Tillman D.A. *Wood as an Energy Resource*. New York, 1978. 252 p.
20. Vargas-Moreno J.M., Callejón-Ferre A.J., Perez-Alonso J., Velázquez-Martí B. A Review of the Mathematical Models for Predicting the Heating Value of Biomass Materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, vol. 16, pp. 3065–3083.
21. Yin C.-Y. Prediction of Higher Heating Values of Biomass from Proximate and Ultimate Analyses. *Fuel*, 2011, vol. 90, pp. 1128–1132.

Received on July 07, 2016



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.053:621.934.321.21

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.122

СТАНКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КРУГЛЫХ СОРТИМЕНТОВ

А.М. Буглаев, д-р техн. наук, проф.

М.П. Бокачева, инж.

В.В. Сиваков, канд. техн. наук, доц.

Брянский государственный инженерно-технологический университет, пр. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: marya.corosteleva2010@yandex.ru, ABuglaev-bgita@yandex.ru, svv000@yandex.ru

Развитие деревянного домостроения сдерживается из-за недостатка станков для обработки круглых сортиментов и получения заготовок высокого качества. Целью работы является разработка станков для изготовления заготовок круглых сортиментов высокого качества в виде цилиндров и бруса, которые используются в деревянном домостроении. Приведены конструкции станков для обработки круглых сортиментов, позволяющие получать такие заготовки. Обработка круглых сортиментов производится фрезами, перемещающимися вдоль оси бревна. Получение заготовок в виде цилиндров и многогранных призм обеспечивается с помощью различных фрез соответствующего профиля и поворота бревна на определенный угол после каждого прохода фрезы. На станках также возможна установка круглых пил вместо фрез, что дает возможность получать доски и брус и расширяет их конструктивные возможности. Для повышения качества обработанных бревен предложена усовершенствованная конструкция станка, в котором имеется устройство, позволяющее выполнять в бревнах продольные пазы, вводить в них жидкий быстросхватывающийся клей, маскирующий полученный паз. Это способствует снижению остаточных напряжений и уменьшает опасность растрескивания бревна. Формирование паза осуществляется с помощью сборной фрезы, производящей одновременно обработку бревна. Количество пропилов и их глубина зависят от диаметра бревна. В статье приведена таблица для определения количества и глубины пропилов. Другое устройство обеспечивает упаковку бревна в пленку, что позволяет защитить бревно от загрязнения, изолирует клей от вытекания и сохраняет исходную влажность бревна. Мощность электродвигателей для фрезерования составляет 5,0...10,0 кВт, мощность мотор-редуктора механизма подачи – 1,0...2,0 кВт, мощность мотор-редуктора для поворота бревна – 0,5...1,0 кВт. Суммарная максимальная мощность составляет 13,0 кВт, что меньше чем у серийных аналогичных станков. Предложенная конструкция позволяет получать сортименты высокого качества без трещин и растрескиваний через несколько лет после изготовления. Новая разработка защищена патентами на изобретения.

Ключевые слова: станки, обработка бревен, цилиндрированные бревна, брус, качество заготовок.

Для цитирования: Буглаев А.М., Бокачева М.П., Сиваков В.В. Станки для обработки круглых сортиментов // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 122–129. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.122

Развитие деревянного домостроения [1, 2] вызывает необходимость создания новых конструкций станков для обработки круглых сортиментов (бревен). Недостатками серийных станков для обработки бревен являются сложность получения бревен в виде многогранных призм (бруса) и низкое качество обработанных бревен, которые растрескиваются через некоторое время [3, 6].

Цель работы – снижение этих недостатков, разработка и совершенствование станков для обработки бревен, которые могут быть использованы при строительстве домов, бань, хозяйственных построек и др. строений.

С помощью станков для обработки бревен можно получать заготовки в виде цилиндров и многогранного бруса. Станок (рис. 1) содержит станину 1, на концах которой имеются вертикальные стойки 2 и 3. На стойке 2 размещен левый центр в виде вала 4, на стойке 3 – правый центр в виде винта 5 с маховиком 6. В центрах закрепляется бревно 7. Вал 4 с бревном 7 получает вращение от мотор-редуктора 8 через клиноременную передачу 9 [4].

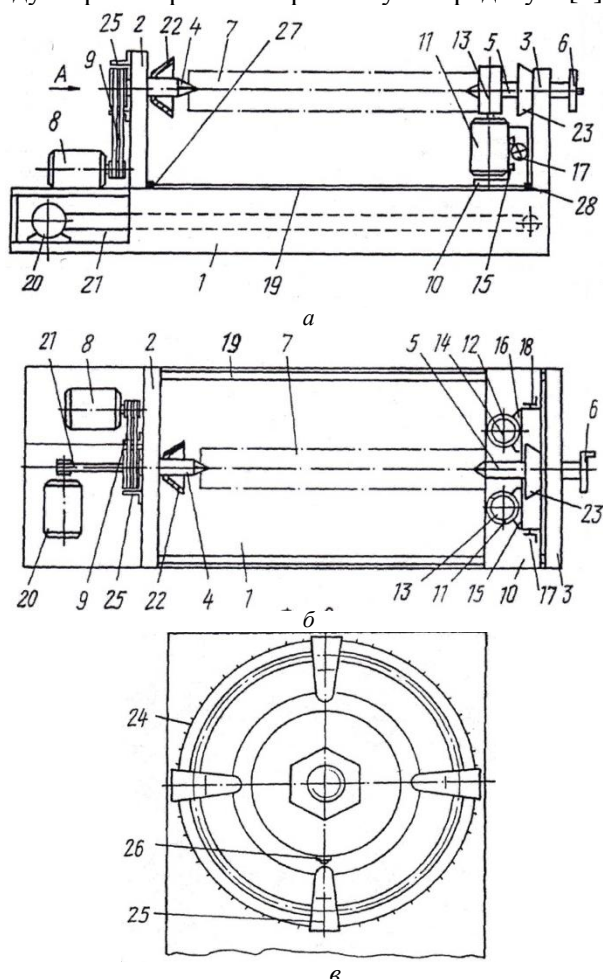


Рис. 1. Схема станка для обработки бревен: а – вид спереди; б – вид сверху; в – вид А

Механизм резания представляет собой каретку 10, на которой закреплены электродвигатели 11 и 12 с фрезами 13 и 14, механизмы 15 и 16 для регулировки их положения типа «ласточкин хвост» с маховиками 17 и 18. Каретка 10 может перемещаться на колесах (не показано) по направляющим 19 от мотора редуктора 20 через клиноременную передачу 21. Бревно 7 центрируют с помощью центроискателей 22 и 23, выполненных в виде чаш.

Угол поворота бревна 7 отсчитывается по лимбу 24 (рис. 1, в) и определяется положением упоров 25, смонтированных на стойке 2, и концевого выключателя 26, закрепленного на ведомом шкиве клиноременной передачи 9.

Станок работает следующим образом. Бревно 7 краном или вручную подается к центрам 4 и 5, центрируется центроискателями 22 и 23 и закрепляется винтом 5 с помощью маховика 6. После закрепления бревна 7 центроискатели 22 и 23 смещаются к опорам 2 и 3 и фиксируются штифтами (не показано).

Фрезы 13 и 14, закрепленные на валах электродвигателей 11 и 12, с помощью маховиков 17 и 18 механизмов 15 и 16 регулировки положения устанавливаются на толщину срезаемого слоя. После включения электродвигателей 11 и 12 и мотор-редуктора 20 каретка 10 перемещается и бревно 7 обрабатывается с двух сторон. При подходе каретки 10 к опоре 2 срабатывает концевой выключатель 27, обеспечивающий отключение мотора редуктора 20, электродвигателей 11, 12 и включение мотор-редуктора 8, который через клиноременную передачу 9 поворачивает вал с бревном 7 на заданный угол α . При этом упор 25 (рис. 1, в) нажимает на концевой выключатель 26, что обеспечивает отключение мотора-редуктора 8, включение электродвигателей 11 и 12, включение и реверс мотор-редуктора 20. Происходит обработка еще двух сторон бревна 7. При подходе каретки к опоре 3 срабатывает концевой выключатель 28, мотор-редуктор 20, электродвигатели 11 и 12 отключаются, мотор-редуктор 8 включается, происходит поворот бревна и повторение обработки. После обработки всех сторон бревна оператор отключает мотор-редукторы 8 и 20, а также электродвигатели 11 и 12, с помощью маховика 6 отворачивает винт 5, удаляет бревно на подстопное место. На позицию обработки к центрам 4 и 5 подается следующее бревно.

Время на подготовку станка к работе включает: подачу бревна, закрепление его в центрах, смещение чаш центроискателей от торцов бревна к станине и регулировку положения фрез на толщину снимаемого слоя.

Станок позволяет путем установки различных ножей сборных фрез получать оцилиндрованные бревна, а также заготовки в виде многогранных призм.

В предлагаемом станке мощность электродвигателей для фрезерования – 5,0...10,0 кВт, мощность мотора редуктора механизма подачи – 1,0...2,0 кВт, мощность мотора редуктора для поворота бревна – 0,5...1,0 кВт. Суммарная максимальная мощность станка составит 13,0 кВт, что меньше чем у серийных аналогичных станков.

Обработку бревна можно производить одной фрезой, что приведет к экономии электроэнергии, но снизит производительность станка.

На станке возможна установка круглых пил, закрепляемых на валах электродвигателей 11 и 12 взамен фрез 13 и 14. Применение круглых пил дает возможность получать доски и брус, увеличивает полезный выход древесины. После отпиливания досок поверхности бруса целесообразно обработать фрезами для снижения шероховатости.

Недостатком описанного станка является неудовлетворительное качество бревен: после обработки бревна растрескиваются ввиду наличия остаточных напряжений, что снижает срок их эксплуатации.

Нами разработана конструкция станка для обработки бревен [5], имеющая устройство для формирования поверхности заготовки, которое исключает ее растрескивание.

На рис. 2 изображена схема станка для обработки бревен, который отличается тем, что имеет дополнительный шпиндель 10 с устройствами для введения клея в формируемый паз и для упаковывания бревна в пленку. Паз формируется с помощью сборной фрезы, производящей обработку бревна. Количество пропилов и их глубина определяются диаметром бревна. Предложены следующие соотношения глубины пропила к диаметру бревна (см. таблицу).

Количество и глубина пропилов в зависимости от диаметра бревна

Диаметр бревна, мм	Количество пропилов / глубина пропилов, шт./мм, для сечения	
	круглого	шестиугольного
180...220	4/30...35	6/30...35
220...280	4/40...45	6/40...45
280...320	4/45...50	6/30...35

Станок содержит станину 1, на концах которой имеются вертикальные стойки 2 и 3. Бревно 11 получает вращение от мотора редуктора 4.

Обработка производится фрезерным шпинделем 8, на котором закреплены фрезы 6, состоящие из нижней и верхней фрез 12 (рис. 2, в) и расположенной посередине дисковой пилы 13. Продольное перемещение шпинделя относительно бревна осуществляется с помощью мотор-редуктора 5 (рис. 2, г).

Дополнительный шпиндель 10 закреплен на вертикальных стойках 2 и 3 и включает устройство 14 для введения клея в формируемый пропил 15 и устройство для упаковывания бревен 16 пленкой 17 (рис. 2, г).

Станок работает следующим образом. Бревно 11 подается к центрам и закрепляется маховиком 9. При включении электродвигателя 7 фрезерной головки 6 происходит обработка бревна по образующей с одновременным созданием продольного паза, при этом движение подачи осуществляется с помощью механизма подачи 5. В зависимости от необходимого профиля фрезы могут быть с плоскими или профильными ножами (см. рис. 2, в).

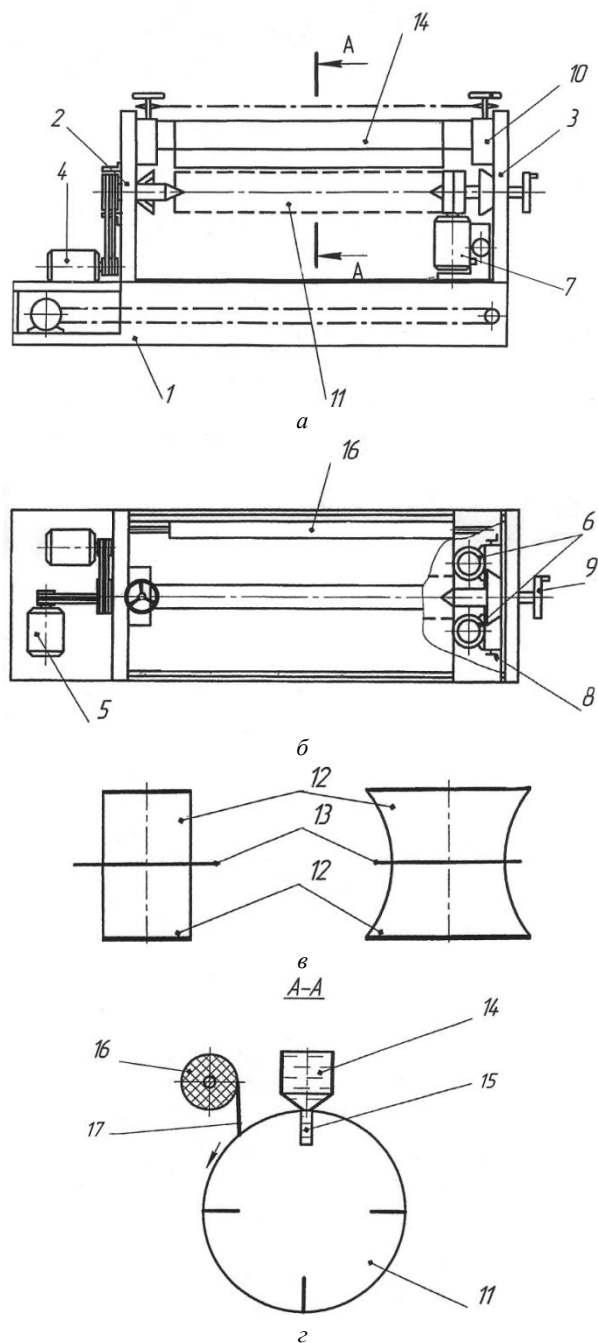


Рис. 2. Схема станка для обработки бревен: *а* – вид спереди; *б* – вид сверху; *в* – сборные фрезы (слева – с плоскими ножами, справа – с профильными); *з* – узел для нанесения клея и упаковки в пленку

После окончательной обработки бревно поворачивается на необходимый угол. Происходит обработка одной стороны бревна. Когда бревно обработано со всех сторон, оператор отключает мотор-редукторы 4 и 5. Приводится в действие механизм дополнительного шпинделя 10, суть работы которого заключается в следующем: к бревну подводится устройство 14 для нанесения клея (рис. 2, *г*) по всей длине бревна. В пазы 15 вводится жидкий быстро затвердевающий клей, который маскирует полученные пазы и способствует снижению остаточных напряжений. Затем бревно поворачивается против часовой стрелки, на него наматывается пленка 17 с помощью специального устройства 16. Использование пленки позволяет защищать бревно от загрязнений, изолирует клей от вытекания и сохраняет исходную влажность бревна. После этого бревно снимается, цикл повторяется.

Предлагаемый станок позволяет производить цилиндрованное бревно и брус высокого качества и без появления трещин и растрескиваний через несколько лет после изготовления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амалицкий В.В., Амалицкий В.В. Деревообрабатывающие станки и инструменты: учеб. для сред. проф. образования по специальности 250403 «Технологии деревообработки». В.В. 5-е изд. стер. М.: Академия, 2009. 400 с.
2. Буглаев А.М., Громыкин В.П., Сиваков В.В. Мобильные круглопильные станки для распиловки тонкомерной древесины // Деревообраб. пром-сть. 1998. № 6. С. 6–8.
3. Маковский Н.В., Амалицкий В.В., Комаров Г.А., Кузнецов В.М. Теория и конструкция деревообрабатывающих машин: учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 608 с.
4. Пат. 2171741 (РФ). Станок для обработки бревен / Буглаев А.М., Памфилов Е.А., Машков Р.А.; БГИТА. № 99113664; опубл. 10.08.01, Бюл. № 22.
5. Пат. 2497661 (РФ). Станок для обработки бревен / Сиваков В.В., Попова И.Г., Буглаев А.М.; БГИТА. № 2012123528/13; опубл. 10.11.13, Бюл. № 31.
6. Martin Janzen. *Method and Apparatus for Profiling a Log for Use in Building Timber or Log Homes*. Patent US, no. 7712494 B2, 2006.

Поступила 18.01.16

UDC 674.053:621.934.321.21

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.122

The Roundwood Assortment Machines

A.M. Buglaev, *Doctor of Engineering Sciences, Professor*

M.P. Bokacheva, *Engineer*

V.V. Sivakov, *Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

Bryansk State Engineering Technological University, Stanke Dimitrova ul., 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: marya.corosteleva2010@yandex.ru, ABuglaev-bgita@yandex.ru, svv000@yandex.ru

The development of wooden house construction is retarded due to the lack of roundwood assortment machines as well as the production of timber blanks of high quality. The work objective is the developing of machines for the manufacture of high quality roundwood assortments in the form of cylinders and beams, which are used in wooden house construction. The paper presents a machine design for roundwood assortments processing, allowing us to obtain such timber blanks. Cutters, moving along an axis of a beam, carry out the processing of roundwood assortments. The timber blanks in the form of cylinders and polygonal prisms are provided by various cutters of the corresponding profile and a beam rotation through the definite angle after each pass of the cutter. The machines also can be provided by circular saws instead of cutters, which gives the opportunity to obtain the boards and beams and expands their structural features. The authors propose an improved design of the machine in order to increase the quality of the processed logs. It has a device to make longitudinal grooves in logs and enter the liquid rapidly polymerizing adhesive to mask the obtained grooves. This reduces residual stresses and the risk of log cracking. The grooves are formed by the interlocking side milling cutter simultaneously processing a log. The depth and the number of kerfs depend on a log diameter. The paper contains a table for determining the number and depth of kerfs. Another device provides the log polythene wrapping to protect a log from contamination, isolate the adhesive from flowing and preserve the log original moisture content. The power of motors for milling is 5.0...10.0 kW; the power of motor reducers of a molder-planer feed mechanism is 1.0...2.0 kW; the power of motor reducers to rotate a log is 0.5...1.0 kW. The total maximum power is 13.0 kW that is less than that of similar serial machines. The proposed design allows us to produce high-quality assortments without cracks and cracking in several years after their manufacture. The designed machine is protected by the invention patents.

Keywords: machine, log processing, cylindered log, beam, blank quality.

REFERENCES

1. Amalitskiy V.V., Amalitskiy V.V. *Derevoobrabatyvayushchie stanki i instrumenty* [Woodworking Machines and Tools]. Moscow, 2009. 400 p.

For citation: Buglaev A.M., Bokacheva M.P., Sivakov V.V. The Roundwood Assortment Machines. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 122–129. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.122

2. Buglaev A.M., Gromykin V.P., Sivakov V.V. Mobil'nye kruglopil'nye stanki dlya raspilovki tonkomernoy drevesiny [Mobile Circular Saws for Cutting]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 1998, no. 6, pp. 6–8.

3. Makovskiy N.V., Amalitskiy V.V., Komarov G.A., Kuznetsov V.M. *Teoriya i konstruktsiya derevoobrabatyvayushchikh mashin* [Theory and Design of Woodworking Machines]. Moscow, 1990. 608 p.

4. Buglaev A.M., Pamfilov E.A., Mashkov R.A. *Stanok dlya obrabotki breven* [The Machine for Logs Processing]. Patent RF, no. 2171741, 2001.

5. Sivakov V.V., Popova I.G., Buglaev A.M. *Stanok dlya obrabotki breven* [The Machine for Logs Processing]. Patent RF, no. 2497661, 2013.

6. Martin Janzen. *Method and Apparatus for Profiling a Log for Use in Building Timber or Log Homes*. Patent US, no. 7712494 B2, 2006.

Received on January 18, 2016



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 665.944.54: 664.046

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.130

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СОСНОВОЙ ЖИВИЦЫ МЕТОДОМ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ЭКСТРАКЦИИ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА*

С. Бакиер¹, д-р с.-х. наук, проф.

Э. Байко¹, магистр

Н.В. Черная², д-р техн. наук, проф.

В.Л. Флейшер², канд. техн. наук, доц.

¹Белостокский технологический университет, ул. Пилсутского, д. 8, г. Гайновка, Польша, 17200; e-mail: s.bakier@pb.edu.pl

²Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, д. 13а, Минск, Беларусь, 220006; e-mail: v_fleisher@list.ru

Способ получения сосновой живицы сверхкритической экстракцией диоксидом углерода является альтернативой традиционному, который основан на применении органических растворителей (бензина, петролейного эфира и т. д.). Сущность этого способа заключается в обработке опилок или «монолита» из древесины сосны (*Pinus sylvestris* L.) диоксидом углерода при давлении до 50,0 МПа и температуре до 100 °С. Дозировка диоксида углерода в процессе экстракции – 20...100 кг на 1 кг сырья, продолжительность экстракции – до 240 мин. Опыты проведены при одно- и двухстадийной сепарации. Одностадийную сепарацию проводили через декомпрессию до 5,3 МПа при температуре 27 °С, двухстадийную осуществляли вначале до давления 21,0 МПа при температуре 50 °С, затем до 5,3 МПа при 27 °С. Во всех экспериментах после снятия давления диоксид углерода вновь сжимали и использовали для экстракции в замкнутом контуре. Продуктами сверхкритической экстракции древесины *Pinus sylvestris* L. являются порошкообразная канифоль и живичный экстракт, суммарный выход которых достигал

*Исследования проведены в рамках проекта S/ZWL/1/2014 и финансировались из научных фондов Министерства науки и высшего образования Республики Польша.

Для цитирования: Бакиер С., Байко Э., Черная Н.В., Флейшер В.Л. Альтернативный способ получения сосновой живицы методом сверхкритической экстракции диоксидом углерода // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 130–141. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.130

25 % от веса древесины. Результаты исследований свидетельствуют о следующих преимуществах этого способа по сравнению с традиционным: возможность получения живицы из сухой сосновой древесины в монолитной или измельченной форме; отсутствие изменений в структуре древесного сырья; снижение трудоемкости и сокращение продолжительности процесса выделения живицы из древесины; отсутствие загрязнения окружающей среды. Проведенные опыты показали, что полученные порошкообразная канифоль и живичный экстракт являются чистыми высококачественными продуктами, в состав которых в основном (до 56,9 %) входят смоляные кислоты (изопимаровая, пимаровая, дегидроабиединовая, абиединовая). Внедрение способа сверхкритической экстракции сосновой древесины в производство позволит получать значительное количество чистых живичных материалов без высоких технологических затрат.

Ключевые слова: сосновая древесина, экстрактивные вещества, живица, смоляные кислоты, экстракция, сверхкритическая экстракция, диоксид углерода.

Введение

Живица – смесь, состоящая из множества соединений, среди которых доминируют растворимые в терпеновых углеводородах смоляные кислоты (левопимаровая, декстропимаровая, изопимаровая, абиединовая, неоабиединовая, дигидроабиединовая, дегидроабиединовая, палюстровая и др.). Содержание смоляных кислот в живице древесины рода *Pinus*, произрастающих в России, Франции, США и Республике Беларусь, приведено в табл. 1 [13], общий состав живицы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – в табл. 2.

Т а б л и ц а 1

Содержание смоляных кислот в живице представителей рода *Pinus*

Смоляные кислоты	Содержание смоляных кислот, %			
	<i>Pinus sylvestris</i> L. (Россия)	<i>Pinus maritima</i> Poir. (Франция)	<i>Pinus palustris</i> Dougl. (США)	<i>Pinus sylvestris</i> L. (Республика Беларусь)
Левопимаровая	18	35	30...35	36
Декстропимаровая и изопимаровая	28	27	8	20
Абиединовая	13	17	15...20	15
Неоабиединовая	13	21	15...20	10
Дигидро- и дегидро- абиединовая	12	–	4	5
Палюстровая	16	–	–	12

Т а б л и ц а 2

**Химический состав живицы сосны обыкновенной
в древесине и экстракте *Pinus sylvestris* L.**

Компоненты	Содержание компонентов, %			
	в заболони		в ядре древесины	
	Древесина	Экстракт	Древесина	Экстракт
Смоляные кислоты	0,3	10,3	9,4	62,9
Жирные кислоты	1,4	44,5	1,9	12,6
Другие кислоты	0,4	11,4	1,1	7,4
Сложные эфиры	0,7	22,4	0,9	6,3
Фенольные соединения	0,2	5,3	0,6	4,0
Неомыляемые соединения	0,1	6,1	1,0	6,8

Невысокая экономическая эффективность получения живицы подсочкой хвойных деревьев явилась одной из основных причин полного прекращения ее добычи в Польше в 90-х гг. XX в. и сокращения в Республике Беларусь. Альтернативный, на наш взгляд, способ – экстракция хвойного древесного сырья органическими растворителями.

Существующая технология получения живичных продуктов путем экстракции древесины традиционными органическими растворителями (бензином, петролейный эфиром, нефрасом) не позволяет выпускать высококачественный продукт. Кроме того, применение больших количеств органических растворителей значительно усложняет процесс их рекуперации из-за высокой адсорбционной способности древесины и повышенной степени удержания растворителя.

К перспективным технологическим приемам получения сосновой живицы относится сверхкритическая экстракция (СКЭ) углекислым газом CO₂ (или экстракция сверхкритической жидкостью), которая относится к числу «зеленых» технологий.

Возможность практического использования CO₂ для экстракции растительного сырья впервые была исследована в 1960 г. [12]. С того времени многие лаборатории в разных странах приобрели оборудование для проведения СКЭ. Наиболее широкое применение она получила при выделении кофеина из плодов кофе, чайного листа, шишек хмеля, а также ароматических компонентов из приправ. Этот способ используется в фармацевтической, парфюмерной и химической промышленности, при переработке угля, нефти и различных продуктов для извлечения из них биологически активных веществ, антиоксидантов и жирорастворимых витаминов [3]. В последние годы возрос спрос на биологически активные соединения, извлекаемые из разных частей дерева и проявляющие антиокислительные и антимикробные свойства [6]. Поэтому СКЭ оказалась перспективным способом выделения природных соединений из хвойной древесины.

Большинство исследователей считают [1–7, 9–11], что способ СКЭ с применением CO₂ может быть использован для удаления смолистых веществ

из древесной щепы и опилок перед их пропариванием или перед проведением других процессов переработки, однако сообщения и результаты, полученные в этом направлении, противоречивы.

Установлено, что сверхкритический CO_2 в весовом соотношении с древесиной 1,5:1,0 можно использовать для количественной экстракции и выделения смоляных и жирных кислот, а также монотерпенов из древесины сосны при давлении 7,98 МПа и температуре 40 °С [7]. Установлено, что полученные экстрактивные вещества содержат только 30 % смоляных кислот, растворимых в петролейном эфире [10].

В работе [11] показано, что при использовании сверхкритической жидкости выход экстрактивных веществ зависит от размеров частиц древесины, но он существенно ниже, чем при экстракции того же материала диэтиловым эфиром. Выход экстрактивных веществ в процессе СКЭ составлял 60,0 % от полученного в случае экстракции сосновой древесины диэтиловым эфиром только при обеспечении высокого давления, достигающего 30,0 МПа. Для образцов древесины сосны южной выход экстрактивных веществ возрастал с увеличением температуры, тогда как для сосны желтой – уменьшался. Эфирные экстракты характеризовались более высоким содержанием смоляных кислот, экстракты с применением сверхкритического CO_2 – более высоким содержанием жирных кислот.

Авторы работы [2] утверждают, что сверхкритический CO_2 является перспективным растворителем для экстракции жирных и смоляных кислот из древесных опилок *Pinus sylvestris* L., которые были использованы в качестве модельного материала при изучении СКЭ древесной биомассы. Максимальный выход (77,0 %) экстрактивных веществ (смесь жирных и смоляных кислот) был достигнут после 20 мин СКЭ при давлении 25,0 МПа и температуре 40 °С. Кроме того, они исследовали влияние продолжительности процесса экстракции и наличие дополнительно вводимого этанола на выход экстрактивных веществ. В присутствии 10 % этанола выход экстрактивных веществ достигал 97,0 % в течение 2 ч, без добавления этанола примерно такой же выход (92,7 %) был получен лишь через 8 ч.

Заслуживает внимание тот факт, что удаление смоляных и жирных кислот из сосновых опилок с помощью СКЭ не повлияло на топливную ценность пеллет из проэкстрагированных опилок [1]. Пеллеты из опилок с пониженным содержанием смоляных и жирных кислот характеризовались повышенной насыпной плотностью и устойчивостью к истиранию по сравнению с пеллетами, полученными из свежих опилок. Удаление липофильных соединений также значительно уменьшило потенциальную возможность автоокисления опилок, тем самым, снижая опасность неконтролируемого самовозгорания в процессе их хранения [2].

Сверхкритическую экстракцию CO_2 можно использовать не только для выделения смоляных и жирных кислот, но и для фенольных и низкомолекулярных липофильных соединений. В результате СКЭ *Pinus pinaster* [4] уста-

новлено, что максимальная концентрация фенольных (80,0 %) и липофильных (49,0 %) соединений в выделенных экстрактивных веществах достигается при следующих условиях: соответственно 5 % этанола – при давлении 25,0 МПа и температуре 30 °С, 1 % этанола – при 10,0 МПа и 50 °С.

Кроме этанола, в качестве соэкстрагента применение нашел метанол. Авторами работы [8] был исследован процесс выделения липидных компонентов из древесины (в виде стружки) *Eucalyptus globus* с использованием сверхкритического CO₂ и добавлением метанола при давлении 8,0...30,0 МПа и температуре 70 °С.

Экстракцию сверхкритическим CO₂ использовали для выделения из коры эфирных масел и биологически активных соединений. Чаще всего экстрагируют кору деревьев рода *Eucalyptus* по причине содержания в ней ценных тритерпеновых кислот (урсуловой и бетулиновой) [5]. Способ СКЭ также с успехом применяли для получения эфирных масел: коричневого с высоким содержанием коричневого альдегида из коры *Cinnamomum zeylanicum* [9]; соснового из коры *Pinus brutia* (сосна турецкая); кедрового [6] из древесины *Juniperus virginiana* и др.

Таким образом, экстракция древесины сверхкритическим CO₂ позволяет получать смоляные и жирные кислоты, эфирные масла и фенольные соединения. До настоящего времени экстракцию проводили в основном при давлении не выше 25,0...30,0 МПа. Анализ литературных данных показал, что увеличение давления способствует повышению выхода экстрактивных веществ, чего нельзя утверждать о температуре. Увеличению выхода способствует добавление некоторых спиртов. Следует заметить, что проводимая в тех же условиях экстракция древесины разных видов древесного сырья рода *Pinus* характеризуется не только разным выходом, но и составом экстрактивных веществ. Сообщения о возможности использования процесса сепарации при изменении давления для фракционирования получаемых экстрактов отсутствуют.

Цель работы – проведение СКЭ для получения сосновой живицы из древесины сосны (в виде опилок или монолита) с использованием чистого CO₂ при давлении менее 50,0 МПа, а также разделение экстрактов на две фракции при давлении 21,0 МПа.

Объект и методы исследований

Основные исследования проводили в отделе сверхкритической экстракции Института новых методов химического синтеза в Пулавах (Польша). Объект исследований – древесина сосны *Pinus sylvestris* L. (происхождение – Беловежская Пуща, Республика Беларусь).

В первом (А) и во втором (Б) экспериментах использовали опилки сосновой древесины, дополнительно просеянные через сито с диаметром отверстий 1,6 мм. Масса навески опилок для экстракции составляла 150 г. В третьем эксперименте (В) применяли сухую сосновую древесину в виде паралле-

пипедов, вырезанных из заболони и сердцевина. Было приготовлено пять фрагментов сосновой древесины следующих размеров:

- I (сердцевина) – 280×20×20 мм, масса 75,63 г;
- II (сердцевина) – 280×40×10 мм, масса 71,98 г;
- III (заболонь) – 280×10×10 мм, масса 12,50 г;
- IV (сердцевина) – 280×10×10 мм, масса 17,71 г;
- V (заболонь) – 280×10×8 мм, масса 9,07 г.

Вырезанные фрагменты сосновой древесины общей массой 186,89 г помещали в экстракционный сосуд таким образом, чтобы они не соприкасались друг с другом своими поверхностями.

Эксперимент А: экстракцию проводили при давлении 50,0 МПа, температуре 80 °С и удельном расходе CO₂ от 20 до 100 кг/кг сырья; двухстадийную сепарацию осуществляли вначале до давления 21,0 МПа при температуре 50 °С, затем – до 5,3 МПа при 27 °С; продолжительность экстракции – 240 мин.

Эксперимент Б: использовали одностадийную экстракцию при давлении 30,0 МПа и температуре 100 °С, остальные параметры аналогичны эксперименту А; в эксперименте изучали влияние давления на выход экстрактивных веществ.

Эксперимент В: давление – 50,0 МПа, температура – 100 °С; удельный расход CO₂ (как и в эксперименте А) повышали от 20 до 100 кг/кг сырья; одностадийную сепарацию осуществляли до давления 5,3 МПа при температуре 27 °С.

Во всех экспериментах после снятия давления CO₂ был вновь сжат и использован для экстракции в замкнутом контуре.

Исследование химического состава полученного экстракта проведено методом хромато-масс-спектрометрии. Идентификация выполнена по зарегистрированным масс-спектрам, которые в ходе анализа сравнивали с имеющимися в библиотеке масс-спектрами NIST Mass Spectral Date Base, а также с использованием вычисленных хроматографических индексов удерживания, сравниваемых с имеющимися в собственной базе экспериментальных значений индексов удерживания. Процентное содержание отдельных соединений вычисляли методом внутренней нормализации по зарегистрированным значениям поверхностей хроматографических пиков этих соединений.

Результаты исследований

В эксперименте А на этапе I при сепарации получен порошок соломенно-желтого цвета, образованный очень мелкими гранулами без запаха, на этапе II – вязкая масса с сильным бальзамическим запахом. Специфический запах продукта, полученного на этапе II, свидетельствовал о содержании в выделенной субстанции монотерпенов. Весьма интересным оказался эксперимент, заключавшийся в нагревании обоих продуктов до температуры выше

100 °С: порошок плавился с образованием прозрачной жидкости, после охлаждения которой получался прозрачный твердый материал светло-желтого цвета; вязкая масса при нагревании превращалась в однородную жидкость соломенного цвета с характерным запахом живицы. Первый продукт – хрупкий порошок, который, по существу, является канифолью. Выход экстрактивных веществ – 24,57 %. Масса порошка на этапе I – 1 % от количества всех экстрактивных веществ (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

**Условия проведения экспериментов (А – В)
и выход экстрактивных веществ**

Показатель	Значение показателя в эксперименте		
	А	Б	В
Давление экстракции, МПа	50	30	50
Масса сырья, г	150,0	150,0	186,9
Масса сырья после экстракции, г	113,1	125,2	168,2
Суммарная масса экстрактивных веществ, г	36,5	24,8	18,7
В том числе на этапе:			
I	1,5	–	–
II	35,4	–	–
Выход экстрактивных веществ, масс. %	24,6	16,6	10,0

Т а б л и ц а 4

Состав (масс. %) выделенных экстрактивных веществ в эксперименте В

Компоненты	Состав
Монотерпены	18,5
В том числе:	
α-пинен	8,8
3-карен	3,7
Сесквитерпены	0,1
Дитерпены вместе со смоляными кислотами	73,7
Смоляные кислоты	56,9
В том числе:	
изопимаровая	3,1
пимаровая	9,2
дегидроабетиновая	11,7
абетиновая	14,1
Ароматические соединения	0,1
Алифатические кислоты	3,6
В том числе олеиновая	1,7
Неидентифицированные соединения	4,1

В эксперименте Б был получен экстракт вязкой консистенции с интенсивным бальзамическим запахом, подобным запаху продукта этапа II в эксперименте А. Следует обратить внимание на то, что выход продукта был значительно меньше (более 8 %), чем в эксперименте А. Следовательно, увеличение давления от 30,0 до 50,0 МПа оказало существенное влияние на снижение (от 36,9 до 24,8 г) выхода экстрактивных веществ.

В эксперименте В свойства экстракта были аналогичны свойствам продуктов, полученных на этапе II в экспериментах А и Б. Это была полутекучая вязкая масса с интенсивным живичным запахом. Из табл. 4, где представлен ее химический состав, видно, что продукт содержал 18,5 % моно- и 73,7 % дитерпенов, в том числе 56,9 % смоляных кислот, в состав которых входили в основном изопимаровая, пимаровая, дегидроабетиновая и абетиновая. На долю других соединений приходилось 7,8 %.

Установлено, что эффективность экстракции в эксперименте В была значительно меньше, чем в экспериментах А и Б, но все же достаточно высокой, поскольку выход экстрактивных веществ составлял 10,0 масс. % (см. табл. 3). Это означает, что использованная сосновая древесина богата живичными веществами и их содержание намного больше, чем указано в литературных источниках [13].

Заключение

По результатам проведенных экспериментов можно сделать важный вывод о том, что использование чистого CO₂ (без соэкстрагента) позволяет проводить эффективную экстракцию живичных компонентов из сосновой древесины (как в виде опилок, так и монолита). Выход экстрактивных веществ в последнем случае достигает 25,0 %. Подтверждено сделанное на основании литературных данных предположение о том, что увеличение давления экстракции от 30,0 до 50,0 МПа повышает эффективность процесса экстракции. Процесс может быть реализован при температуре выше 80 °С. Применение сепарации при давлении 21,0 МПа дает практическую возможность выделения канифоли в виде порошка. Экстракция монолитной древесины сверхкритическим CO₂ способствует удалению избытка живицы без нарушения ее структуры.

Способ получения живичных продуктов с использованием СКЭ диоксидом углерода имеет существенные преимущества по сравнению с применением органических растворителей. Во-первых, он позволяет получать живицу из сухой сосновой древесины в монолитной или измельченной форме, которые в настоящее время не используются. Во-вторых, процесс не приводит к нарушению структуры древесного сырья, но облагораживает его за счет удаления живицы, что необходимо при производстве древесностружечных плит и др. В-третьих, в случае монолитной древесины исключается (после проведения экстракции) вытекание живицы из готовой продукции. Такие

натеки являются недостатком продукции, изготовленной из хвойной древесины. В-четвертых, процесс сверхкритической экстракции CO₂ можно проводить без использования органических соэкстрагентов, поэтому загрязнение окружающей среды исключено.

Экстракция с использованием сверхкритического CO₂ дает возможность получать живичные компоненты непосредственно из древесины при минимальных временных затратах. Полученные порошкообразная канифоль и живичный экстракт являются чистыми высококачественными продуктами. Для их производства не использовалась высокая температура и исключено автоокисление, поскольку процесс проводится в атмосфере CO₂. Производство канифоли и скипидара может быть осуществлено путем сплавления порошка или отгонки скипидара традиционными способами.

Таким образом, применение СКЭ позволяет устранить главные недостатки традиционного способа получения живицы – невысокое качество продукта и высокую трудоемкость. Однако для практической реализации способа СКЭ требуется дорогостоящая аппаратура, обеспечивающая протекание процесса при высоком давлении. В последнее время, несмотря на технологические трудности, аппаратура для проведения экстракции сверхкритическими жидкостями в промышленных масштабах становится более доступной, стоимость ее снижается. Внедрение этого способа в производство позволит получать значительное количество чистых живичных материалов без чрезмерных технологических затрат и с соблюдением экологических требований.

Авторы выражают благодарность В.А. Исидорову за проведение хромато-масс-спектрометрического анализа живичных продуктов в Белостокском технологическом университете (проект S/ZWL/1/2014) и помощь в переводе части статьи польских авторов на русский язык.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Arshadi M., Gref R., Geladi P., Dahlqvist S., Lestander T. The Influence of Raw Material Characteristics on the Industrial Pelletizing Process and Pellet Quality. *Fuel Processing Technology*, 2008, vol. 89(12), pp. 1442–1447.
2. Arshadi M., Hunt A.J., Clark J.H. Supercritical Fluid Extraction (SFE) as an Effective Tool in Reducing Auto-Oxidation of Dried Pine Sawdust for Power Generation. *RSC Advances*, 2012, no. 2, pp. 1806–1809.
3. Brignole E.A. Supercritical Fluid Extraction. *Fluid Phase Equilibria*, 1986, vol. 29, pp. 133–144.
4. Conde E., Hemming J., Smeds A., Diaz Reinoso B., Moure A., Willfor S., Dominguez H., Parajó J.C. Extraction of Low-Molar-Mass Phenolics and Lipophilic Compounds from *Pinus pinaster* Wood with Compressed CO₂. *The Journal of Supercritical Fluids*, 2013, vol. 81, pp. 193–199.
5. Domingues R.M.A., de Melo M.M.R., Neto C.P., Silvestre A.J.D., Silva C.M. Measurement and Modeling of Supercritical Fluid Extraction Curves of *Eucalyptus Globu-*

lus Bark: Influence of the Operating Conditions Upon Yields and Extract Composition. *The Journal of Supercritical Fluids*, 2012, vol. 72, pp. 176–185.

6. Eller F.J., Taylor S.L. Pressurized Fluids for Extraction of Cedarwood Oil from *Juniperus virginiana*. *J. Agric. Food Chem.*, 2004, vol. 52, pp. 2335–2338.

7. Fremont H.A. Extraction of Coniferous Woods with Fluid Carbon Dioxide and Other Supercritical Fluids. Patent US, no. 4308200 A, 1981.

8. González-Vila F.J., Bautista J.M., Gutiérrez A., Del Rio J.C., González A.G. Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Lipids from *Eucalyptus globulus* Wood. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 2000, vol. 43, pp. 345–351.

9. Marongiu B., Piras A., Porcedda S., Tuveri E., Sanjust E., Meli M., Sollai F., Zucca P., Rescigno A. Supercritical CO₂ Extract of *Cinnamomum zeylanicum*: Chemical Characterization and Antityrosinase Activity. *J. Agric. Food Chem.*, 2007, vol. 55(24), pp. 10022–10027.

10. McDonald E.C., Howard J., Bennett B. Chemicals from Forest Products by Supercritical Fluid Extraction. *Fluid Phase Equilibria*, 1983, vol. 10, pp. 337–344.

11. Ritter D.C., Campbell A.G. Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Southern Pine and Ponderosa Pine. *Wood and Fiber Science*, 1991, vol. 23(1), pp. 98–113.

12. Sovová H., Stateva R.P. Supercritical Fluid Extraction from Vegetable Materials. *Reviews in Chemical Engineering*, 2011, vol. 27, no. 3-4, pp. 79–156.

13. Surmiński J. *Żywności naturalne. Składniki chemiczne i reakcje*. Poznań, 1994.

Поступила 11.04.16

UDC 665.944.54: 664.046

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.130

Alternative Method for the Pine Turpentine Production by Supercritical Carbon Dioxide Extraction

S. Bakier¹, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

E. Bayko¹, Master

N.V. Chernaya², Doctor of Engineering Sciences, Professor

V.L. Fleysher², Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

¹Białystok University of Technology, Pilsudski str., 8, Hajnówka, 17-200, Poland;

e-mail: s.bakier@pb.edu.pl

²Belarusian State Technological University, Sverdlova ul., 13a, Minsk, 220006, Belarus;

e-mail: v_fleisher@list.ru

A method for the pine turpentine production by supercritical carbon dioxide extraction is an alternative method, based on the use of organic solvents such as benzene, petroleum-ether, etc. The essence of this method consists in the *Pinus sylvestris* L. wood sawdust or “monolith” treatment by carbon dioxide at a pressure up to 50 MPa and a temperature up to

For citation: Bakier S., Bayko E., Chernaya N.V., Fleysher V.L. Alternative Method for the Pine Turpentine Production by Supercritical Carbon Dioxide Extraction. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 130–141. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.130

100 °C. The carbon dioxide dosage in the extraction process is 20...100 kg per 1 kg of raw material, the extraction duration is up to 240 min. The experiments are conducted at the single- and two-stage separation. The single-stage separation is conducted by the decompression up to 5.3 MPa at a temperature of 27 °C. Two-stage separation is initially conducted at a pressure of 21 MPa at a temperature of 50 °C, then at a pressure up to 5.3 MPa at 27 °C. In all experiments after pressure decreasing CO₂ was compressed again and used in a closed loop circuit. The supercritical extraction products of *Pinus sylvestris* L. wood are the powdered rosin and turpentinic extract, the total output of which amounts by 25 % by wood weight. The results of these studies testify the following advantages of this method compared to the traditional one: the turpentine obtaining of dry pinewood in a monolithic or particulate form; a lack of change in the structure of the wood raw material; reduction of labour intensity and of the process duration of oleoresin exudation from wood; no environmental pollution. The conducted experiments showed that the obtained powdered rosin and turpentinic extract are pure and high-quality products consisting of mainly (up to 56.9 %) rosin acids (isopimaric, pimaric, dehydroabietic, abietic). The introduction of the supercritical extraction of pinewood into production will allow obtaining a significant amount of pure oleoresin materials without high technological costs.

Keywords: pinewood, extractive, turpentine, rosin acid, extraction, supercritical extraction, carbon dioxide.

REFERENCES

1. Arshadi M., Gref R., Geladi P., Dahlqvist S., Lestander T. The Influence of Raw Material Characteristics on the Industrial Pelletizing Process and Pellet Quality. *Fuel Processing Technology*, 2008, vol. 89(12), pp. 1442–1447.
2. Arshadi M., Hunt A.J., Clark J.H. Supercritical Fluid Extraction (SFE) as an Effective Tool in Reducing Auto-Oxidation of Dried Pine Sawdust for Power Generation. *RSC Advances*, 2012, no. 2, pp. 1806–1809.
3. Brignole E.A. Supercritical Fluid Extraction. *Fluid Phase Equilibria*, 1986, vol. 29, pp. 133–144.
4. Conde E., Hemming J., Smeds A., Diaz Reinoso B., Moure A., Willfor S., Dominguez H., Parajó J.C. Extraction of Low-Molar-Mass Phenolics and Lipophilic Compounds from *Pinus pinaster* Wood with Compressed CO₂. *The Journal of Supercritical Fluids*, 2013, vol. 81, pp. 193–199.
5. Domingues R.M.A., de Melo M.M.R., Neto C.P., Silvestre A.J.D., Silva C.M. Measurement and Modeling of Supercritical Fluid Extraction Curves of *Eucalyptus Globulus* Bark: Influence of the Operating Conditions Upon Yields and Extract Composition. *The Journal of Supercritical Fluids*, 2012, vol. 72, pp. 176–185.
6. Eller F.J., Taylor S.L. Pressurized Fluids for Extraction of Cedarwood Oil from *Juniperus virginiana*. *J. Agric. Food Chem.*, 2004, vol. 52, pp. 2335–2338.
7. Fremont H.A. Extraction of Coniferous Woods with Fluid Carbon Dioxide and Other Supercritical Fluids. Patent US, no. 4308200 A, 1981.
8. González-Vila F.J., Bautista J.M., Gutiérrez A., Del Rio J.C., González A.G. Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Lipids from *Eucalyptus globulus* Wood. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 2000, vol. 43, pp. 345–351.

9. Marongiu B., Piras A., Porcedda S., Tuveri E., Sanjust E., Meli M., Sollai F., Zucca P., Rescigno A. Supercritical CO₂ Extract of *Cinnamomum zeylanicum*: Chemical Characterization and Antityrosinase Activity. *J. Agric. Food Chem.*, 2007, vol. 55(24), pp. 10022–10027.
10. McDonald E.C., Howard J., Bennett B. Chemicals from Forest Products by Supercritical Fluid Extraction. *Fluid Phase Equilibria*, 1983, vol. 10, pp. 337–344.
11. Ritter D.C., Campbell A.G. Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Southern Pine and Ponderosa Pine. *Wood and Fiber Science*, 1991, vol. 23(1), pp. 98–113.
12. Sovová H., Stateva R.P. Supercritical Fluid Extraction from Vegetable Materials. *Reviews in Chemical Engineering*, 2011, vol. 27, no. 3-4, pp. 79–156.
13. Surmiński J. *Żywice naturalne. Składniki chemiczne i reakcje*. Poznań, 1994.

Received on April 11, 2016

УДК 552.577:676.01: 577.152.3
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.142

**ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ МИЦЕЛИАЛЬНОГО ГРИБА
TRICHODERMA REESEI M18 ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ
НА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ ИЗ ЦЕЛЛОЛИГНИНА ТОРФА**

С.В. Гаврилов¹, асп.

А.В. Канарский¹, д-р техн. наук, проф.

Е.В. Скворцов², канд. биол. наук

Ю.В. Севастьянова³, канд. техн. наук, доц.

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, д. 72, г. Казань, Россия, 420015; e-mail: ser-gavr@mail.ru

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, Россия, 420000; e-mail: eskvortsov@rambler.ru

³Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: j.sevastyanova@narfu.ru

Комплексная переработка торфа является важной хозяйственной проблемой. Методом электрохимического синтеза авторами получены хелатные соединения железа с гуминовыми кислотами, которые рекомендуется использовать в качестве кормовой добавки. В связи с образованием вторичного ресурса (целлолигинина) возникает проблема создания технологии его переработки на экономически эффективные продукты. Целлолигинин содержит большое количество целлюлозы, что делает его привлекательным сырьем для биотехнологической переработки микроорганизмами. Однако в целлолигнине содержится лигнин, препятствующий ферментативному гидролизу целлюлозы до простых сахаров, что обуславливает необходимость поиска способов его предварительной обработки. Целлолигинин может использоваться в качестве питательного субстрата для культивирования мицелиальных грибов рода *Trichoderma*, так как для них характерно проявление ксиланазной и целлюлазной активности, которая способствует ферментативному гидролизу целлолигинина. Цель работы – определение ферментативной активности при культивировании штамма мицелиального гриба *Trichoderma reesei* M18 на питательных средах из целлолигинина торфа. Для повышения ферментативной активности мицелиального гриба в питательную среду, содержащую целлолигинин торфа в твердой фазе, вводили мультиэнзимный комплекс, включающий целлюлазные и ксиланазные ферменты и редуцирующие вещества. Также в экспериментах целлолигинин обрабатывали бисульфитом натрия, после чего лигнин растворялся и клетчатка становилась более доступной для ассимилирования грибом. Установлена целесообразность культивирования мицелиального гриба *Trichoderma reesei* M18 на питательных средах из целлолигинина торфа, предварительно обработанного бисульфитом натрия. Показано, что внесение в питательную среду

Для цитирования: Гаврилов С.В., Канарский А.В., Скворцов Е.В., Севастьянова Ю.В. Ферментативная активность мицелиального гриба *Trichoderma reesei* M18 при культивировании на питательной среде из целлолигинина торфа // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 142–152. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.142

на основе целлолигнина, обработанного бисульфитом натрия, мультиэнзимных комплексов, содержащих целлюлазы и ксиланазы, способствует повышению ферментативной активности *Trichoderma reesei* M18, что увеличивает синтез белка и, соответственно, биомассы. Предварительная обработка целлолигнина торфа бисульфитом натрия рекомендуется для биоконверсии мицелиальным грибом *Trichoderma reesei* M18 с получением из биомассы адсорбента микотоксинов. Биомасса мицелиальных грибов *Trichoderma reesei* M18, выращенная на целлолигнине торфа, использована для получения адсорбентов микотоксинов, которые успешно испытаны *in vivo*.

Ключевые слова: торф, целлолигнин, обработка бисульфитом натрия, ксиланазы, целлюлазы, культивирование *Trichoderma reesei* M18.

Торф является гетерогенным по составу топливным и сырьевым ресурсом для промышленности. Основу торфа составляют остатки растений-торфообразователей – биополимеров растительного происхождения, продуктов распада этих растений, подвергшихся биоконверсии в природных условиях. Формирование торфа происходит за счет превращения части растений-торфообразователей в вещества сложной химической структуры под общим названием «гуминовые вещества». Кроме гуминовых веществ, в торфе содержится значительное количество неразложившихся остатков растений с сохранившимся клеточным строением и лигнин. Неорганическая часть представлена минеральными веществами разной природы, адсорбционными образованиями минералов с гуминовыми и другими веществами продуктов распада растений [3].

Экономическая эффективность переработки торфа возможна только при комплексном подходе с получением широкого ассортимента продуктов. Комплексный подход предполагает разделение торфа по фракционно-групповому составу и использование каждой фракции в качестве сырья при производстве конкретных продуктов. Торф по фракционно-групповому составу можно разделить на битумы, гуминовые вещества, легко- и трудногидролизуемые вещества (полисахариды) и лигнин [7].

Изучение процесса трансформации органических веществ растений при торфообразовании показывает, что скорость деструкции органических соединений определяется их способностью вступать в реакции и быть доступными для усвоения почвенными микроорганизмами. Углеводы являются преобладающим компонентом растений и составляют 40...80 % их органической массы. В результате торфообразования в первую очередь деструкции подвергаются легкогидролизуемые вещества – гемицеллюлозы. Целлюлоза торфа относится к трудногидролизуемым веществам. Не гидролизуемые в природных условиях вещества торфа гетерогенны по составу с преимущественным содержанием лигнина. Количество негидролизуемого остатка в торфе может достигать до 30 %.

Ранее проведенные авторами исследования показали возможность электрохимического синтеза хелатных соединений железа с гуминовыми кислота-

ми, которые целесообразно использовать в качестве кормовой добавки [2, 8, 10, 12].

При выделении гуминовых кислот из торфа образуется целлолигнин, разработка технологии переработки которого имеет практическую значимость. Одним из способов утилизации целлолигнина торфа может быть биотехнологический, в частности, с использованием мицелиальных грибов и последующим получением биопродуктов из биомассы.

Цель настоящей работы – определение эффективности культивирования штамма мицелиального гриба *Trichoderma reesei* M18 на питательных средах из целлолигнина торфа.

Для решения этой проблемы необходимо оценить эффективность культивирования мицелиального гриба на питательной среде, содержащей:

целлолигнин торфа в твердой фазе;

целлолигнин торфа в твердой фазе и целлюлолитические и ксиланазные ферменты;

целлолигнин торфа, обработанного бисульфитом натрия;

целлолигнин торфа, обработанного бисульфитом натрия, и целлюлолитические и ксиланазные ферменты.

Объект и методы исследований

В исследованиях использовался мицелиальный гриб *Trichoderma reesei* M18 предоставленный кафедрой биохимии и биотехнологии Казанского (Приволжского) федерального университета. Культуру гриба выращивали в чашке Петри на картофельно-глюкозном агаре, имеющем следующий состав, г/л: отвар картофеля – 200, агар – 2, стрептомицин – 1. Инокулирование культуры гриба в питательную среду проводили петлей из чашки Петри.

Для культивирования гриба применяли целлолигнин торфа после выделения гуминовых веществ, которые извлекались методом щелочной экстракции 1 %-м раствором NaOH (гидромодуль 1:100) в течение 60 мин. После чего экстракт отделяли центрифугированием, оставшийся целлолигнин торфа промывали дистиллированной водой.

Питательная среда содержала целлолигнин торфа в твердой фазе (10 г/л в пересчете на сухое вещество) и минеральные вещества (KH_2PO_4 – 15,0; CaCl_2 – 0,3; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 4,9; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,3 г/л. pH питательной среды варьировался от 4 и 8.

Для повышения ферментативной активности мицелиального гриба в питательную среду вводили мультиэнзимный комплекс (МЭК), включающий целлюлазные и ксиланазные ферменты и редуцирующие вещества.

МЭК получен культивированием штамма гриба *T. reesei* M18 на питательной среде из фугата послеспиртовой барды по методике, представленной в работе [4]. Ксиланазная активность в МЭК – 37,3 IU/мл, целлюлазная – 0,29 FPU/мл. МЭК вводили в питательную среду в виде культуральной жидкости в количестве 10...30 % от общего объема питательной среды, ко-

торая содержала 2,6 г/л редуцирующих веществ. Полагалось, что присутствие в питательной среде целлюлазы и ксиланазы будет способствовать при ферментативном гидролизе целлюлозы образованию олигомерных углеводов, являющихся индукторами дополнительного синтеза грибами целлюлазы и ксиланазы [5].

Для повышения физиологической активности мицелиального гриба *T. reesei* M18, целлолигнин торфа также обрабатывали бисульфитом натрия, при котором лигнин растворяется, а клетчатка торфа становится более доступной для ассимилирования грибом. Бисульфитную обработку осуществляли при температуре 170 °С, продолжительности – 3 ч, расходе сульфита натрия (по Na₂O) – 15 % к абс. сухому веществу, гидромодуле 1:8, pH 6,5. Содержание редуцирующих веществ в бисульфитном щелоке составило 1,3 г/л, что указывало на частичную деструкцию целлюлозы. Содержание редуцирующих веществ в питательных средах, обусловленное необходимостью роста гриба, варьировалось.

Культивирование на питательных средах из целлолигнина торфа проводили периодическим глубинным способом при температуре (28 ± 1) °С от 6 до 15 сут при непрерывном перемешивании (частота вращения 130 об/мин) в темноте на шейкере-инкубаторе Innova 43R (США) в колбах вместимостью 250 мл. Объем питательной среды 50 мл.

Определение ксиланазной активности проводили в трех повторностях по методу König [13], целлюлазной активности – в трех повторностях по методу IUPAC [11].

Для определения редуцирующих сахаров к 120 мкл исследуемой пробы добавляли 1200 мкл дистиллированной воды и 600 мкл DNSA (3,5-динитросалициловая кислота). Пробы сначала выдерживали в течение 10 мин при температуре 100 °С, затем – 5 мин при 0 °С. После этого добавляли во все пробы по 6 мл дистиллированной воды и измеряли оптическую плотность растворов при длине волны 540 нм. В качестве контроля использовали дистиллированную воду.

Долю негидролизованной целлюлозы в целлолигнине определяли в трех повторностях по методу [14], белок в твердой фазе культуральной жидкости – методом элементного анализа на анализаторе EuroEA-3000 (Euro Vector, Италия). Стандарт – стрептоцид (C₆H₈O₂N₂S).

Для статистической обработки результатов использовали программу Excel. Для сравнения применяли интервальные оценки. Уровень значимости $p < 0,05$.

Результаты и обсуждения

Анализ результатов, полученных при культивировании штамма гриба *T. reesei* M18 на питательной среде из целлолигнина торфа в твердой фазе, показывает, что данная культура в рассматриваемых условиях не проявляет существенной физиологической активности. Проявление незначительной ксиланазной и целлюлазной активностей вызывает гидролиз целлюлозы до про-

стых сахаров (глюкозы). Однако этого количества редуцирующих веществ недостаточно для интенсивного роста культуры, что подтверждается следовыми количествами белка (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Влияние pH, продолжительности культивирования и МЭК
на ферментативную активность штамма мицелиального гриба *T. reesei* M18
на питательной среде из целлолигнина торфа**

pH	Расход культуральной жидкости с МЭК, об. % от объема питательной среды	Продолжительность культивирования, сут	Редуцирующие вещества, г/л	Активность		Доля негидролизованной целлюлозы, %	Содержание белка в твердой фазе культуральной жидкости, %
				ксилазная, IU/мл	целлюлазная, FPU/мл		
4	0	6	– /Следы	Следы/0,10	Следы/0,001	95,20	Следы
8	0	6	– /0,01	Следы/0,11	Следы/0,001	96,50	Следы
4	0	9	– /Следы	Следы/0	Следы/Следы	97,01	Следы
8	0	9	– /0,03	Следы/0,12	Следы/0,002	94,20	Следы
4	30	6	0,86/1,12	11,2/27,28	0,09/0,295	13,26	7,7
8	30	6	0,86/4,05	11,2/40,46	0,09/0,454	10,11	16,5
4	30	9	0,86/1,61	11,2/30,30	0,09/0,260	12,96	11,0
8	30	9	0,86/4,33	11,2/34,55	0,09/0,386	12,01	11,5

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, 3 в числителе приведены начальные данные, в знаменателе – конечные.

С внесением редуцирующих веществ и МЭК из целлюлазных и ксиланазных ферментов в питательную среду из целлолигнина торфа в твердой фазе наблюдается увеличение физиологической активности культуры – рост культуры, что подтверждается увеличением синтеза белков. Эти закономерности взаимосвязаны с продолжительностью культивирования и pH среды. К концу культивирования мицелиального гриба отмечено повышение ферментативной активности культуры. Внеклеточные ксиланазные и целлюлазные ферменты, продуцируемые грибом, гидролизуют целлюлозу, обуславливая по окончании периода культивирования увеличение содержания редуцирующих веществ в культуральной жидкости. Рассматриваемая закономерность подтверждается снижением содержания целлюлозы в целлолигнине.

Культивирование мицелиального гриба *T. reesei* M18 на питательной среде из целлолигнина, обработанного бисульфитом натрия, позволяет значительно увеличить ферментативную активность культуры по сравнению с культивированием на питательной среде, содержащей не обработанный бисульфитом натрия целлолигнин (табл. 2). В рассматриваемом эксперименте повышению физиологической активности культуры способствовало наличие в среде редуцирующих веществ, образующихся при обработке целлолигнина бисульфитом натрия. При продолжительности культивирования 9 сут и pH 8

ксилазная и целлюлазная активность культуры сопоставима с данной ферментативной активностью гриба в случае внесения в питательную среду МЭК и редуцирующих веществ. При увеличении продолжительности культивирования до 15 сут ферментативная активность гриба увеличивается.

Следует отметить, что при первоначальном содержании в питательной среде редуцирующих веществ 0,65 г/л культивирование гриба более эффективно, так как наблюдается повышенная ферментативная активность культуры, сопровождающаяся гидролизом целлюлозы и, соответственно, увеличением содержания редуцирующих веществ к окончанию культивирования. Рост содержания белка в рассматриваемых условиях также подтверждает повышение ферментативной активности мицелиального гриба *T. reesei* M18 при культивировании на питательной среде из целлолигнина торфа, обработанного бисульфитом натрия.

Т а б л и ц а 2

**Влияние pH и продолжительности культивирования
на ферментативную активность штамма мицелиального гриба *T. reesei* M18
на питательной среде из целлолигнина торфа,
обработанного бисульфитом натрия**

pH	Продолжительность культивирования, сут	Редуцирующие вещества, г/л	Активность		Доля негидролизованной целлюлозы, %	Содержание белка, % к биомассе
			ксилазная, IU/мл	целлюлазная, FPU/мл		
8	9	0,65/3,09	63,14	0,612	10,27	19,3
4	9	0,65/2,12	44,34	0,491	13,12	17,6
8	9	1,30/1,96	29,78	0,205	12,08	14,3
4	9	1,30/0,85	15,85	0,144	15,22	9,4
8	15	0,65/4,09	76,54	0,352	9,52	19,8
4	15	0,65/2,10	55,55	0,206	11,86	14,8
8	15	1,30/1,13	24,93	0,348	12,24	14,3
4	15	1,30/1,09	18,83	0,231	16,61	8,5

Внесение в питательную среду целлолигнина торфа, обработанного бисульфитом натрия, и культуральной жидкости, содержащей МЭК 30 об. % от общего объема питательной среды, интенсифицирует синтез грибом *T. reesei* M18 внеклеточных ферментов целлюлазы и ксиланазы (табл. 3). Данная закономерность подтверждается повышением содержания этих ферментов при увеличении продолжительности культивирования и pH культивирования 8 и 4. Рост культуры подтверждается снижением содержания в целлолигнине целлюлозы, увеличением содержания белка и редуцирующих веществ в культуральной жидкости на момент окончания культивирования гриба *T. reesei* M18.

Следует отметить, что внесение культуральной жидкости с МЭК в питательную среду из целлолигнина торфа, обработанного сульфитом натрия, приводит к дополнительному повышению ферментативной активности гриба.

Т а б л и ц а 3

Влияние pH, продолжительности культивирования и МЭК на ферментативную активность штамма мицелиального гриба *T. reesei* M18 на питательной среде из целлолигнина торфа, обработанного бисульфитом натрия*

pH	Продолжительность культивирования, сут	Редуцирующие вещества, г/л	Активность		Доля негидролизованной целлюлозы, %	Содержание белка, % к биомассе
			ксилазная, IU/мл	целлюлазная, FPU/мл		
8	9	1,690/4,16	74,02	0,575	8,13	21,5
4	9	1,690/3,65	43,21	0,413	15,25	17,6
8	9	1,235/2,42	15,76	0,268	13,11	17,6
4	9	1,235/2,44	11,57	0,103	17,56	16,1
8	15	1,690/4,80	88,97	0,403	7,21	22,5
4	15	1,690/3,77	62,75	0,231	12,35	20,9
8	15	1,235/1,11	23,51	0,418	16,02	18,4
4	15	1,235/2,06	15,28	0,211	13,24	15,4

*Внесение 30 об. % культуральной жидкости, содержащей МЭК и редуцирующие вещества, от общего количества питательной среды.

Установленные закономерности влияния на ферментативную активность гриба *T. reesei* M18 обработки целлолигнина торфа бисульфитом натрия и внесения в питательную среду МЭК можно объяснить присутствием в этих средах олигомерных углеводов – ксиланов и глюканов, являющихся индукторами синтеза грибом соответствующих ферментов [6, 9].

Биомасса мицелиального гриба *T. reesei* M18, выращенная на целлолигнине торфа, использована для получения адсорбентов микотоксинов, которые успешно испытаны *in vivo* [1].

Выводы

1. Показано, что увеличению ферментативной активности мицелиального гриба *T. reesei* M18 способствует культивирование на питательной среде из целлолигнина, предварительно обработанного бисульфитом натрия, и внесение мультиэнзимных комплексов, содержащих целлюлазы и ксиланазы,

2. Установлено, что культивирование мицелиального гриба *T. reesei* M18 на питательной среде из целлолигнина, обработанного бисульфитом натрия, и внесение мультиэнзимного комплекса, содержащего целлюлазы и ксиланазы, приводит к увеличению синтеза белка и, соответственно, биомассы.

3. Предварительная обработка целлолигнина торфа бисульфитом натрия рекомендуется для биоконверсии мицелиальным грибом *T. reesei* M18 с получением из биомассы адсорбента микотоксинов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилов С.В., Канарская З.А. Адсорбционные свойства торфа и продуктов его переработки // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2015. Т. 18, № 2. С. 422–427.
2. Гаврилов С.В., Канарский А.В., Сидоров Ю.Д. Получение хелатных соединений железа с гуминовыми кислотами методом электрохимического синтеза // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2012. Т. 15, № 9. С. 165–168.
3. Грекова А.А., Мальцев А.Н., Дремза И.К. Протективное действие суспензии торфа при микотоксикозах // Сб. науч. тр. Ставропольского НИИ животноводства и кормопроизводства. 2011. № 4–1 (1). С. 136–140.
4. Морозова Ю.А., Скворцов Е.В., Алимова Ф.К., Канарский А.В. Биосинтез ксиланаз и целлюлаз грибами рода *Trichoderma* на послеспиртовой барде // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2012. Т. 15, № 19 (15). С. 120–122.
5. Немайкалов В.А., Кошелев А.В., Окунев О.Н. Биосинтез карбогидраз гриба *Penicillium verruculosum* при культивировании на различных целлюлозосодержащих субстратах // Тез. 13-й Междунар. Пущинской шк.-конф. молодых ученых «Биология – наука XXI века». Пущино, 2009. С. 174.
6. Халимова Л.Х., Шареева А.В., Соколова С.Ю., Петухова Н.И., Зорин В.В. Исследование влияния индукторов на синтез лакказ мицелиальными грибами // Башк. хим. журн. 2010. Т. 17, № 5. С. 46–49.
7. Чухарева Н.В. Исследование группового состава торфов месторождений Томской области // Вестн. Красноярского гос. аграрного ун-та. 2013. № 7. С. 65–71.
8. Burba P., Jakubowski B., Kuckuk R., Kullmer K., Heumann K.G. Characterization of Aquatic Humic Substances and Their Metal Complexes by Immobilized Metal-Chelate Affinity Chromatography on Iron (III) – Loaded Ion Exchangers. *Fresenius' J. of Analytical Chemistry*, 2000, vol. 7(386), pp. 689–696.
9. Camassola M., Dillon A.J.P. Production of Cellulases and Hemicellulases by *Penicillium Echinulatum* Grown on Pretreated Sugar Cane Bagasse and Wheat Bran in Solid-State Fermentation. *Journal of Applied Microbiology*, 2007, no. 103(6), pp. 2196–2204.
10. Islam K.M.S., Schuhmacher A., Gropp J.M. Humic Acid Substances in Animal Agriculture. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2005, vol. 4(3), pp. 126–134.
11. Measurement of Cellulase Activities. Ed. by T.K. Ghose. *Pure & Appl. Chem.*, 1987, no. 2, pp. 257–268.
12. Mezes M., Erdélyi M., Balogh K. Deposition of Organic Trace Metal Complexes as Feed Additives in Farm Animals. *Eur. Chem. Bull.*, 2012, vol. 1(10), pp. 410–413.
13. König J., Grasser R., Pikor H., Vogel K. Determination of Xylanase, β -Glucanase, and Cellulase Activity. *Anal. Bioanal. Chem.*, 2002, vol. 374, no. 1, pp. 80–87.
14. Sloneker J.H. Determination of Cellulose and Apparent Hemicellulose in Plant Tissue by Gas-Liquid Chromatography. *Analytical Biochemistry*, 1971, no. 2(43), pp. 539–546.

Поступила 08.06.16

UDC 552.577:676.01: 577.152.3
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.142

Enzymatic Activity of Filamentous Fungus *Trichoderma reesei* M18 in Culture in the Nutrient Solution Based on Peat Lignocellulose

S.V. Gavrilov¹, Postgraduate Student

A.V. Kanarskiy¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

E.V. Skvortsov², Candidate of Biological Sciences

Yu.V. Sevast'yanova³, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

¹Kazan National Research Technological University, ul. K. Marksa, 72, Kazan, 420015, Russia Federation; e-mail: ser-gavr@mail.ru

²Kazan Federal University, Kremlyovskaya str., 18, Kazan, 420000, Russian Federation; e-mail: eskvortsov@rambler.ru

³Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia Federation; e-mail: j.sevastyanova@narfu.ru

Integrated processing of peat is an important economic issue. The authors have obtained the iron chelates with humic acids by the electrochemical synthesis method. The acids are recommended for use as a feed additive. Due to the formation of the secondary resource – lignocellulose we have encountered a problem of the technology of its processing into the cost-effective products. Lignocellulose contains a large amount of pulp that makes it an attractive material for the biotechnological processing by microorganisms. However, lignocellulose contains lignin, which prevents the enzymatic hydrolysis of cellulose into simple sugars. This fact demands the ways of its pretreatment. Lignocellulose can be used as a nutrient substrate for the cultivation of filamentous fungi of the *Trichoderma* genus, since they are characterized by the expression of xylanase and cellulase activities, which promote the enzymatic hydrolysis of lignocellulose. The work objective is a definition of the enzyme activity in culture of the strain of filamentous fungus *Trichoderma reesei* M18 in the nutrient solution based on peat lignocellulose. To enhance the enzymatic activity of filamentous fungus we injected a multi-enzymic complex comprising cellulase and xylanase enzymes and reducing agents into the nutrient solution with peat lignocellulose in a solid phase. Lignocellulose was also treated with sodium bisulfite in the experiments; lignin was dissolved and cellulose became more accessible for assimilating by fungus. The expediency of filamentous fungus *Trichoderma reesei* M18 cultivation in the nutrient solution based on peat lignocellulose, pre-treated with sodium bisulfite, is established. The introduction of multi-enzymic complexes, containing cellulase and xylanase, into the nutrient solution based on lignocellulose, treated with sodium bisulfite, improves the enzyme activity of *Trichoderma reesei* M18, which increases the protein and biomass synthesis. The pretreatment of peat lignocellulose by sodium bisulfite is recommended for the

For citation: Gavrilov S.V., Kanarskiy A.V., Skvortsov E.V., Sevast'yanova Yu.V. Enzymatic Activity of Filamentous Fungus *Trichoderma reesei* M18 in Culture in the Nutrient Solution Based on Peat Lignocellulose. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 142–152. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.142

bioconversion by mycelial fungus *Trichoderma reesei* M18 with adsorbent of mycotoxins obtaining from biomass. The biomass of filamentous fungi *Trichoderma reesei* M18, grown on peat lignocellulose, is used to produce the adsorbents of mycotoxins, which successfully have been tested in vivo.

Keywords: peat, lignocellulose, sodium bisulfite treatment, xylanase, cellulase, *Trichoderma reesei* M18 cultivation.

REFERENCES

1. Gavrilov S.V., Kanarskaya Z.A. Adsorbtsionnye svoystva torfa i produktov ego pererabotki [The Adsorption Properties of Peat and Its Derivative Products]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2015, vol. 18, no. 2, pp. 422–427.
2. Gavrilov S.V., Kanarskiy A.V., Sidorov Yu.D. Poluchenie khelatnykh soedineniy zheleza s guminovymi kislotami metodom elektrokhimicheskogo sinteza [Preparation of Iron Chelating with Humic Acids by Electrochemical Synthesis]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2012, no. 9(15), pp. 165–168.
3. Grekova A.A., Mal'tsev A.N., Dremza I.K. Protektivnoe deystvie suspenzii torfa pri mikotoksikozakh [The Protective Effect of Peat Suspension on Mycotoxinoses]. *Sb. nauch. tr. Stavropol'skogo NII zhivotnovodstva i kormoproizvodstva* [Proc. Stavropol Research Institute of Livestock and Fodder Production], 2011, no. 4–1(1), pp. 136–140.
4. Morozova Yu.A., Skvortsov E.V., Alimova F.K., Kanarskiy A.V. Biosintez ksylanaz i tsellyulaz gribami roda *Trichoderma* na poslespirovoy barde [The Biosynthesis of Xylanase and Cellulase by Fungi of *Trichoderma* Genus on DDGS]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2012, vol. 15, no. 19, pp. 120–122.
5. Nemashkalov V.A., Koshelev A.V., Okunev O.N. Biosintez karbogidraz griba *Penicillium verruculosum* pri kul'tivirovanii na razlichnykh tsellyulozoderzhashchikh substratakh [Carbohydrases Biosynthesis of *Penicillium verruculosum* Fungus when Cultured on Different Cellulosic Substrates]. *Tez. 13-y Mezhdunar. Pushchinskoy shk.-konf. molodykh uchenykh "Biologiya – nauka XX veka"* [Proc. 13th Intern. Pushchino School-Conf. of Young Scientists "Biology is the Science of the 20th Century"]. Pushchino, 2009, p. 174.
6. Khalimova L.Kh., Sharaeva A.V., Sokolova S.Yu., Petukhova N.I., Zorin V.V. Issledovanie vliyaniya induktorov na sintez lakkaz mitselial'nymi gribami [The Effect of Inductors on the Synthesis of Laccases by Filamentous Fungi]. *Bashkirskiy khimicheskiy zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2010, no. 5(17), pp. 46–49.
7. Chukhareva N.V. Issledovanie gruppovogo sostava torfov mestorozhdeniy Tomskoy oblasti [The Study of the Peat Group Composition of Deposits of Tomsk Region]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [The Bulletin of KrasGAU], 2013, no. 7, pp. 65–71.
8. Burba P., Jakubowski B., Kuckuk R., Kullmer K., Heumann K.G. Characterization of Aquatic Humic Substances and Their Metal Complexes by Immobilized Metal-Chelate Affinity Chromatography on Iron (III) – Loaded Ion Exchangers. *Fresenius' J. of Analytical Chemistry*, 2000, vol. 7(386), pp. 689–696.
9. Camassola M., Dillon A.J.P. Production of Cellulases and Hemicellulases by *Penicillium Echinulatum* Grown on Pretreated Sugar Cane Bagasse and Wheat Bran in Solid-State Fermentation. *Journal of Applied Microbiology*, 2007, no. 103(6), pp. 2196–2204.
10. Islam K.M.S., Schuhmacher A., Gropp J.M. Humic Acid Substances in Animal Agriculture. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2005, vol. 4(3), pp. 126–134.

11. Measurement of Cellulase Activities. Ed. by T.K. Ghose. *Pure & Appl. Chem.*, 1987, no. 2, pp. 257–268.
12. Mezes M., Erdélyi M., Balogh K. Deposition of Organic Trace Metal Complexes as Feed Additives in Farm Animals. *Eur. Chem. Bull.*, 2012, vol. 1(10), pp. 410–413.
13. König J., Grasser R., Pikor H., Vogel K. Determination of Xylanase, β -Glucanase, and Cellulase Activity. *Anal. Bioanal. Chem.*, 2002, vol. 374, no. 1, pp. 80–87.
14. Sloneker J.H. Determination of Cellulose and Apparent Hemicellulose in Plant Tissue by Gas-Liquid Chromatography. *Analytical Biochemistry*, 1971, no. 2(43), pp. 539–546.

Received on June 08, 2016

УДК 539.25 + 547.992.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.153

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФИБРИЛЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ РАСТИТЕЛЬНОЙ И БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ^{□□}

К.С. Болотова, канд. техн. наук, доц.

Д.Г. Чухчин, канд. техн. наук, доц.

Л.В. Майер, канд. техн. наук, доц.

А.А. Гурьянова, магистр

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

e-mail: k.bolotova@narfu.ru

Проведено сравнение микроморфологической структуры и получено статистически значимое распределение по размерам микрофибрилл растительной и бактериальной целлюлозы. Морфологические особенности структуры микрофибрилл определяли с применением сканирующего электронного микроскопа Sigma VP ZEISS и атомно-силового микроскопа Multimod 8 Bruker. Информативность снимков с наименьшей степенью деформации микрофибрилл была достигнута за счет скалывания образца древесины, что позволило визуализировать отдельные фибриллы или их пучки. Для раскрытия лигногемицеллюлозной матрицы, искажающей изображение микрофибрилл древесины на снимках, применен гидролиз гемицеллюлоз путем кратковременного нагрева древесины в воде до температуры 235 °С. Снимки бактериальной целлюлозы получены без предварительной пробоподготовки образцов. Показано, что поперечные размеры микрофибрилл не зависят от слоя клеточной стенки, в котором они локализованы, и практически одинаковы для древесных и травянистых однолетних растений (при среднем значении 27 нм для можжевельника). Поперечный размер микрофибрилл бактериальной целлюлозы в среднем составил 34 нм при отсутствии строгой ориентации элементов надмолекулярной структуры, что характерно и для одной из основных структурных частей клеточной стенки растений – первичной стенки. Бимодальный характер кривой распределения размеров микрофибрилл бактериальной целлюлозы показывает способность микрофибрилл к параллельной укладке. Учитывая статистически близкое распределение размеров микрофибрилл целлюлозы растительного и бактериального происхождения, а также аналогичное кристаллическое строение образцов, можно предположить наличие идентичных этапов биосинтеза слоя S₂ в растениях и бактериальной целлюлозе.

*Исследование выполнено с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова) при финансовой поддержке, полученной по конкурсу «Молодые ученые Поморья-2016» (проект № 05-2016-03а).

Для цитирования: Болотова К.С., Чухчин Д.Г., Майер Л.В., Гурьянова А.А. Морфологические особенности фибриллярной структуры растительной и бактериальной целлюлозы // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 153–165. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.153

Ключевые слова: микрофибрилла, бактериальная целлюлоза, *Acetobacter xylinum*, сканирующий электронный микроскоп, атомно-силовой микроскоп.

Введение

Формирование целлюлозного волокна древесины является одним из фундаментальных биологических процессов, представляющих существенный экономический и коммерческий интерес. В процессе формирования древесины большая часть глюкозы из углеводного обмена направлена на образование целлюлозы в структуре клеточной стенки [8].

Надмолекулярная структура относится к основным факторам, определяющим свойства полимеров. Целлюлоза в растительных клеточных стенках находится в виде фибрилл (нитевидных частиц), состоящих из микрофибрилл, которые представляют собой пачки молекул. Таким образом, микрофибриллы, являясь первичными элементами в надмолекулярной структуре целлюлозы, могут собираться в более крупные агрегаты – фибриллы (макрофибриллы), и распадаться на более тонкие элементы (элементарные фибриллы) [3].

Кроме растений, способность к образованию целлюлозы также обнаружена у простейших, животных (оболочники) и некоторых родов бактерий (*Acetobacter*, *Agrobacterium*, *Aerobacter*, *Achromobacter*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, цианобактерии и т. д.) [20]. Несмотря на интерес к процессу биосинтеза целлюлозы, остается актуальным вопрос о распределении размеров микрофибрилл, формируемых разными видами организмов.

Растения – основные источники целлюлозы. В структуре растительной целлюлозы, соответствующей полиморфной модификации целлюлозы I, глюкановые цепи формируют микрофибриллу размером в среднем около 3 нм (для большинства растений), но для ряда видов, в частности красных водорослей *Erythrocladia subintegra*, размер микрофибрилл может варьироваться от 10 до 68 нм [19].

Процесс биосинтеза катализируется целлюлозосинтазой, которая совместно с другими ферментами обеспечивает формирование гомополимеров β -1,4-глюкана в микрофибриллы из 36 глюкановых цепей. Синтез целлюлозы обеспечивается большим комплексом ферментов, ассоциированных с плазматической мембраной [10]. Размеры микрофибрилл в зависимости от вида организма могут варьировать от элементарной фибриллы из 36 цепей до очень крупных фибрилл целлюлозы водорослей, которые содержат более 200 цепей [18].

Фибриллы растительной целлюлозы – неотъемлемая часть комплекса полисахаридов клеточной стенки. Формирование клеточной стенки остается актуальной темой многих исследований в связи со сложностью такой надмолекулярной структуры. В ее состав входят полимеры, имеющие свои особенности строения и неравномерную локализацию. Синтез полимеров клеточной стенки локализован в нескольких компартментах клетки. При этом полисахариды не синтезируются в самой клеточной стенке. Ферменты синтеза целлю-

лозы встроены в плазмалемму. Матриксные полисахариды синтезируются в аппарате Гольджи, везикулы которого доставляют их к плазматической мембране, затем сливаются с ней, выбрасывая содержимое в апопласт [6].

Традиционным представлением о строении клеточной стенки растительной клетки является выделение двух основных структурных частей – первичной Р и вторичной S стенок. Первичная стенка – тонкий слой, состоящий из целлюлозы, гемицеллюлоз, пектиновых веществ, белков и лигнина, откладывающегося в период одревеснения. В период утолщения клеточной стенки образуется вторичная стенка, состоящая из трех слоев: наружного S_1 , среднего S_2 и внутреннего S_3 . Слой S_2 , образующий основную часть клеточной стенки с наиболее высокой степенью ориентации, состоит из тонких ламелл. Микрофибриллы в этих ламеллах идут по крутым спиралям (право направленным) под углом к оси волокна [1].

Непосредственный предшественник биосинтеза целлюлозы – уридиндифосфоглюкоза, продукт метаболизма многих организмов, в том числе и растений. Метаболизм включает фосфорилирование глюкозы до глюкозы-6-фосфата, катализируемое глюкокиназой, с последующей изомеризацией промежуточного продукта до глюкозы-1-фосфата, катализируемой фосфоглюкомутазой, и конверсию метаболита до уридиндифосфоглюкозы соответствующей пиррофосфорилазой. Под действием целлюлозосинтазы уридиндифосфоглюкоза полимеризуется до целлюлозы [18]. Сходные клеточные механизмы биосинтеза целлюлозы отмечают у разных видов организмов.

Несмотря на широкое практическое применение растительной целлюлозы в хозяйственной деятельности человека, при изучении механизма биосинтеза целлюлозы часто используемым модельным организмом служат бактерии вида *Acetobacter xylinum*. Бактериальная целлюлоза является новым наноматериалом для изучения, который наравне с растительной целлюлозой нашел широкое применение в медицине, производстве косметики и пищевой промышленности. Ее получают в виде пленки, синтезируемой бактериями *A. xylinum*, которые производят внеклеточный материал (или пелликулу), включающий структурированные случайным образом целлюлозные пучки, состоящие из микрофибрилл. Полагают [15], что бактерии *A. xylinum* способны полимеризовать посредством целлюлозосинтазы – комплекса, расположенного в мембране клетки, до 200 тыс. молекул глюкозы в секунду. На поверхности клетки обнаружено порядка 50–80 таких сайтов биосинтеза. Выделение ферментов в среду приводит к образованию пучков глюкановых цепей длиной 1...9 мкм, которые объединяются по 10–15 цепей в фибриллы толщиной около 1,5 нм. Такие фибриллы затем собираются в микрофибриллы, которые агрегируют в пучки размером 50...80 нм. Пучки удлиняются при непосредственном контакте с клеточной оболочкой и остаются ассоциированными с клеткой при ее делении [18].

Новыми направлениями исследований в этой области можно считать получение новых данных по геномике и протеомике, позволивших значитель-

но обогатить понимание метаболизма клеточной стенки, а также биосинтез целлюлозы *in vitro*. На основании гомологии растительных и бактериальных консервативных мотивов в растениях были идентифицированы гены, кодирующие целлюлозосинтазу [17, 20]. С помощью трансмиссионной электронной микроскопии и рентгеновского анализа исследован механизм образования целлюлозных микрофибрилл с использованием нерастворимых дисперсных ферментных препаратов, выделенных из клеток *A. xylinum*, и уридиндифосфоглюкозы в бесклеточной системе при отсутствии в среде «затравок» целлюлозы [12].

По мере разработки методических подходов особенности строения микрофибрилл рассматривались более детально. Однако длину цепочки целлюлозных микрофибрилл достаточно трудно измерить. Длина была определена путем взвешивания выделенных разными методами целлюлозных молекул и составила около 35...50 тыс. Å в зависимости от степени полимеризации. Результаты рентгеновского анализа показали, что в зависимости от образца размеры кристаллита составляют 20... 200 Å в ширину и 20...170 Å в толщину [3].

Несмотря на актуальность исследований в области химии и физиологии древесины, вопросы биосинтеза и формирования надмолекулярной структуры целлюлозы, в частности микрофибрилл, остаются дискуссионными.

Цель данной работы – сравнение микроморфологической структуры и получение статистически значимого распределения по размерам микрофибрилл растительной и бактериальной видов целлюлозы.

Объект и методы исследований

Исследования ультраструктуры клеточной стенки слоя S₂ проводили на образце древесины можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.f. *typica*), отобранного в Приморском районе Архангельской области. Образцы предварительно были подвергнуты автогидролизу путем кратковременного (3 мин) нагревания в воде до температуры 235 °C [9].

Снимки микрофибрилл целлюлозных образцов получали на сканирующем электронном микроскопе (SEM) Sigma VP ZEISS (ускоряющее напряжение 10 кВ, детектор InLens). Для повышения контрастности снимков на поверхность сколов древесины наносили золото-палладиевое покрытие, используя для этого устройство для напыления Q150TES (компания QUORUM).

Бактериальную целлюлозу получали, культивируя симбиоз бактерий рода *Acetobacter* и дрожжей на синтетической глюкозной среде в статических условиях при температуре 25 °C в течение 5 сут, микроскопирование снимков бактериальной целлюлозы проведено на SEM Sigma VP ZEISS и атомно-силовом микроскопе (АСМ) Multimod 8 Bruker без предварительной пробоподготовки образцов и отделения массы клеток.

Экспериментальная часть

Растительная клеточная стенка была первой субклеточной структурой, увиденной исследователями [6]. Только у растительных клеток матрикс, в который они погружены, высоко структурирован, его называют стенкой. Растительная клеточная стенка отличается разнообразием компонентов, у которых детерминированы детали строения и локализации.

Электронная микроскопия позволила выявить, что основным элементом надмолекулярной структуры целлюлозы является микрофибрилла. Целлюлозные микрофибриллы в клеточной стенке образуют каркас, заключенный в лигноуглеводной (лигнин-гемицеллюлозной) матрице.

Для получения максимально информативных снимков с наименьшей степенью деформации поперечных размеров микрофибрилл целесообразно проводить не срезание, а скалывание образца. В отличие от традиционно применяемого метода, когда нож микротом деформирует микрофибриллы в плоскости среза, на сколе наблюдаются отдельные вытянутые фибриллы или их пучки. Основная масса микрофибрилл древесины «утоплена» в лигногемицеллюлозной матрице, что при традиционном методе пробоподготовки приводит к получению нечеткого изображения отдельных микрофибрилл (рис. 1, а).

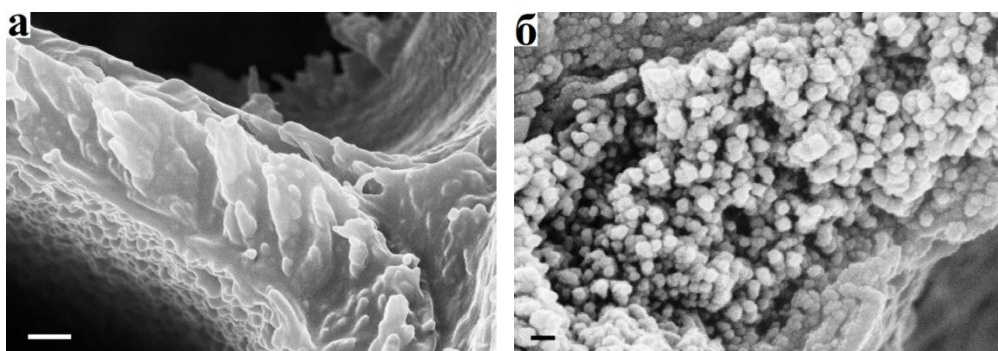


Рис. 1. Микрофибриллы целлюлозы на поперечном сколе клеточной стенки (слой S_2) древесины можжевельника до (а) и после (б) автогидролиза (масштабная линейка: а – 500 нм, б – 50 нм)

Для определения статистически значимого распределения размеров древесных микрофибрилл перспективным методом дальнейшего раскрытия структуры является гидролиз гемицеллюлоз. Кратковременный (3 мин) нагрев древесины в воде до температуры 235 °C [9] приводит к деструкции гемицеллюлоз по месту их нахождения в клеточной стенке и не осложняется топочимическими факторами. В результате чего обеспечивается визуализация микрофибрилл на сколах клеточной стенки (рис. 1, б).

Слои клеточной стенки и отдельные ламеллы отличаются ориентацией целлюлозных микрофибрилл и хорошо различимы на микрофотографиях. У трахеид и волокон либриформа характер ориентации микрофибрилл примерно одинаков (рис. 2).

В соответствии с ранее полученными результатами [4] при исследовании надмолекулярной структуры древесины можжевельника на торцовом сколе показано (рис. 2, а), что ориентация микрофибрилл определяется слоем вторичной стенки, в которой они локализованы. Несмотря на различную ориентацию, поперечные размеры микрофибрилл во всех слоях вторичной стенки практически одинаковы.

Аналогичная ситуация отмечена и для лиственных пород дерева. На фотографии тангенциального скола древесины березы (рис. 2, б) изображен наружный слой S_1 , в котором наблюдается спиральная ориентация микрофибрилл. Угол наклона микрофибрилл к оси волокна составляет для волокон либриформа и трахеид $50...70^\circ$ [1].

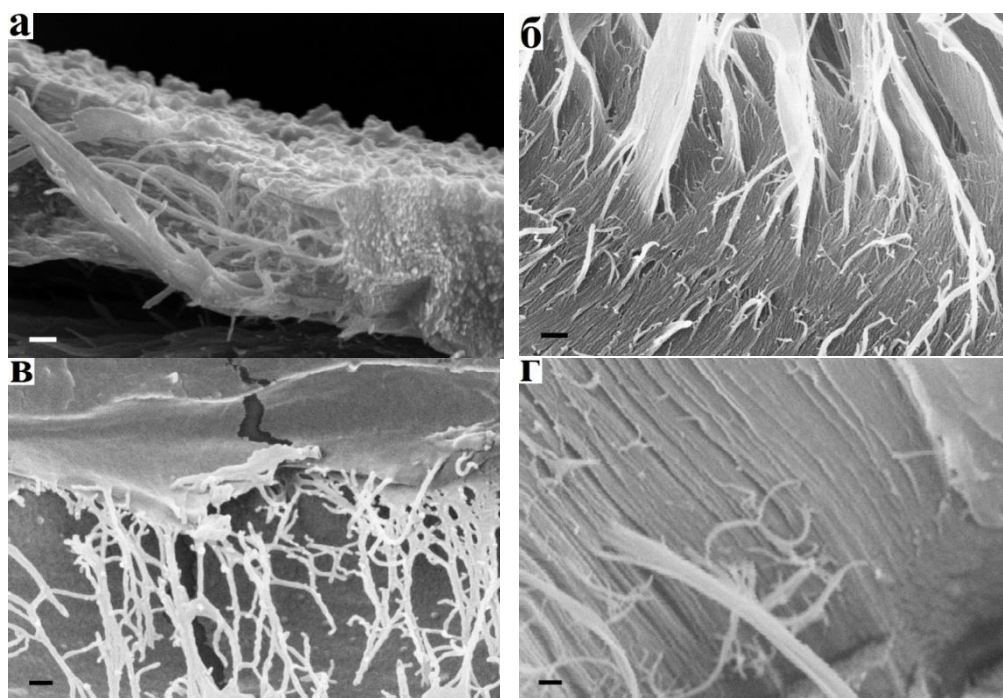


Рис. 2. Микрофибриллы целлюлозы растительного происхождения: а – скол клеточной стенки можжевельника; б – скол слоя S_1 клеточной стенки березы; в – микрофибриллы слоя Р клеточной стенки ели; г – скол слоя S_2 клеточной стенки соломы пшеницы (масштабная линейка: а, б, г – 200 нм, в – 100 нм)

В первичной стенке Р доля целлюлозы мала, и ее микрофибриллы образуют беспорядочную сетку. На радиальном сколе образца древесины ели (рис. 2, в) показаны микрофибриллы в местах образования пор (в первичной стенке Р) при формировании структуры волокна. Укладка микрофибрилл не имеет четкой ориентации, их поперечный размер составляет в среднем 30 нм. Существует мнение [14], что размеры микрофибрилл в первичной стенке растений несколько меньше, чем во вторичной, а результаты определения существенно зависят от вида организма и методики определения.

В сравнении с древесными породами травянистые однолетние растения (в качестве примера на микрофотографиях (рис. 2, г) показан слой S_2 на радиальном сколе в структуре соломы пшеницы), также имеют аналогичную локализацию слоев вторичной стенки, при которой внутренний слой S_2 отличается высокой степенью ориентации микрофибрилл. Поперечный размер микрофибрилл травянистых растений идентичен размеру микрофибрилл древесных пород.

В отличие от растительной бактериальная целлюлоза имеет уникальный механизм синтеза цепей с последующей самосборкой. Авторы [15, 16] отмечают, что отдельная клетка *A. xylinum* обеспечивает биосинтез целлюлозы за счет 50–80 сайтов терминального комплекса целлюлозосинтазы, расположенных в цитоплазматической мембране клетки. Такие структуры липополисахаридного слоя предположительно являются сайтами выделения целлюлозных полимеров из примерно 10–15 цепей, которые при ассоциации друг с другом формируют фибриллы толщиной 1,5 нм. Последующая агрегация приводит к образованию фибриллярной структуры толщиной примерно 50...80 нм, что в 200 раз тоньше хлопкового волокна.

Микроскопирование пленки, образовавшейся в 5-суточной культуре уксуснокислых бактерий *A. xylinum* в симбиотическом комплексе с дрожжевыми микроорганизмами, проведенное на электронном растровом микроскопе Zeiss SIGMA VP, показало наличие однородных микрофибрилл целлюлозы с клетками микроорганизмов. На микрофотографии (рис. 3, а и б) хорошо видна рыхлая сетчатая структура бактериальной целлюлозы, которую составляют микрофибриллы и бактериальные клетки-продуценты.

Биосинтез целлюлозы в бактериальных клетках протекает с участием ферментных систем, интегрированных в липопротеиновый слой цитоплазматической мембраны клетки. На снимке (рис. 3, в и г) показана поверхность слоя бактериальной целлюлозы, синтезируемой клеткой-продуцентом. В результате каталитического процесса, инициируемого интегральными белками-ферментами в мембране клетки, микрофибриллы синтезируются и формируют внеклеточную целлюлозную структуру.

С использованием полуавтоматического метода измерения, предоставляемого программой SmartTiff («Zeiss»), на снимках были определены поперечные размеры около 2 тыс. микрофибрилл слоя S_2 клеточной стенки древесины можжевельника обыкновенного и бактериальной целлюлозы [5].

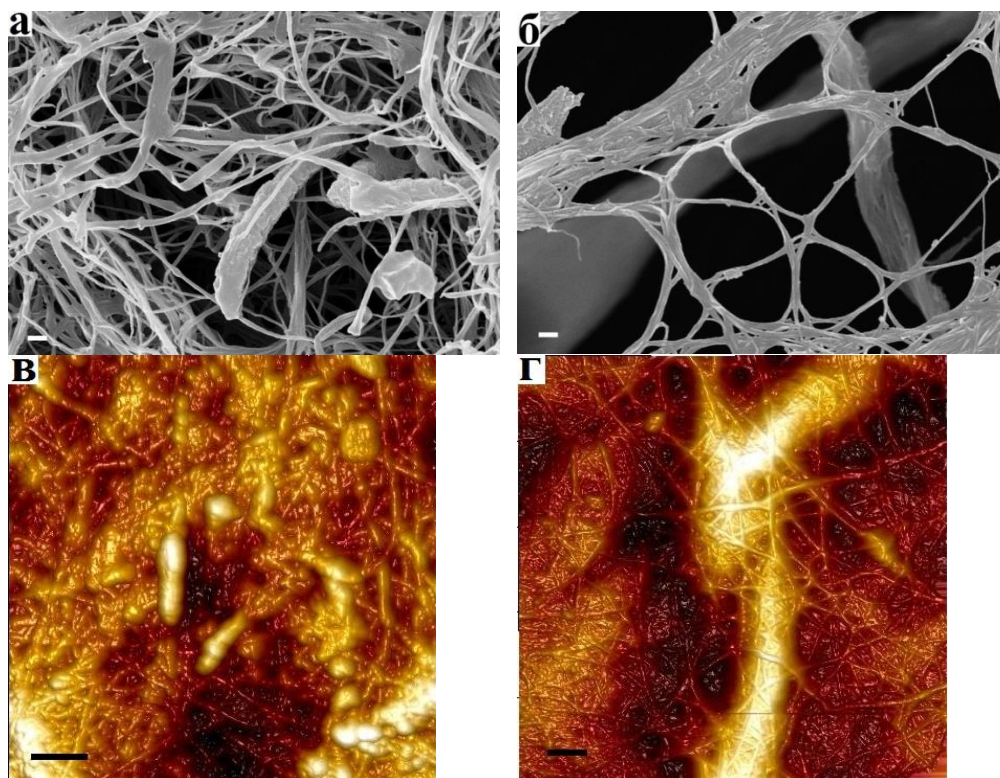


Рис. 3. Микрофибриллы бактериальной целлюлозы, полученные с помощью SEM Sigma VP ZEISS (а, б) и ACM Multimod 8 Bruker (в, г)
(масштабная линейка: а, б – 200 нм; в, г – 2 мкм)

При построении гистограммы распределения микрофибрилл слоя S_2 древесины можжевельника обыкновенного обнаружено, что размер микрофибрилл варьирует от 10 до 63 нм, средний размер – 27 нм (рис. 4).

Исследование частоты встречаемости микрофибрилл бактериальной целлюлозы в исследуемом образце показало, что среднее значение их размера составляет 34 нм (рис. 4). Полученное значение близко к среднему размеру микрофибрилл 35...40 нм, установленному для бактериальной целлюлозы, синтезированной на гидролизатах растительного сырья [11].

В отличие от древесной, распределение микрофибрилл бактериальной целлюлозы имеет два пика на гистограмме в диапазонах 35...40 и 45...50 нм. Кривая целлюлозы распределения размеров микрофибрилл бактериальной целлюлозы носит бимодальный характер. Пик в диапазоне размеров 45...50 нм отвечает поперечным размерам «сдвоенных» микрофибрилл, которые были определены при статистическом анализе. Бимодальный характер кривой показывает способность микрофибрилл к параллельной укладке и парной самоорганизации.

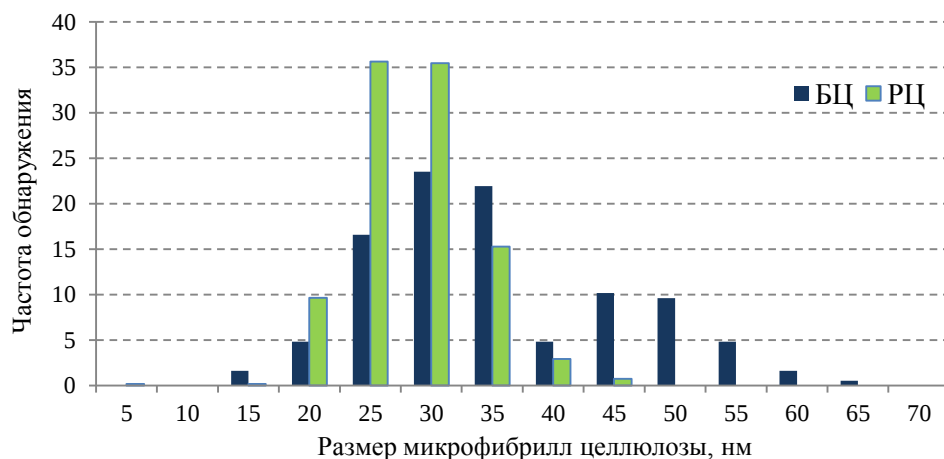


Рис. 4. Распределение по размеру микрофибрилл целлюлозы слоя S_2 древесины можжевельника обыкновенного (РЦ) и бактериальной целлюлозы (БЦ)

Учитывая статистически близкое распределение размеров микрофибрилл целлюлозы растительного и бактериального происхождения, а также аналогичное кристаллическое строение образцов [7, 13], можно предположить наличие идентичных этапов биосинтеза слоя S_2 в растениях и бактериальной целлюлозе.

Заключение

Ориентация целлюлозных микрофибрилл играет важную роль в определении формы и других морфологических особенностей растительных клеток. На ориентацию и укладку микрофибрилл растительных организмов существенное влияние оказывают такие факторы, как сложный компонентный состав клеточной стенки (наличие лигнина и гемицеллюлоз); наличие подвижных розетт, интегрированных в липопротеиновую мембрану и ферментативно регулирующих биосинтез целлюлозы; положение микротрубочек, так как большинство микротрубочек в кортикальном (околомембранном) слое цитоплазмы ориентировано подобно целлюлозным микрофибриллам [2, 6].

Поперечные размеры микрофибрилл древесных растений не зависят от слоя клеточной стенки, в котором они локализованы, и практически одинаковы. Травянистые однолетние растения имеют аналогичную локализацию слоев вторичной стенки, поперечный размер их микрофибрилл идентичен размеру микрофибрилл древесных пород. Размер микрофибрилл целлюлозы растительного происхождения, измеренный для слоя S_2 древесины можжевельника, варьирует от 10 до 63 нм при среднем значении 27 нм.

Бактериальные клетки при глубинном способе культивирования также синтезируют целлюлозу в виде микрофибрилл, однако в этом случае структурирования целлюлозной матрицы и параллельной укладки микрофибрилл не

происходит. Отсутствие пространственных ограничений для передвижения бактериальной клетки-продуцента в объеме культуральной среды приводит к формированию сетчатой целлюлозной матрицы, у которой отсутствует строгая ориентация элементов надмолекулярной структуры, что характерно и для слоя Р клеточной стенки растений. Микрофибриллы располагаются хаотично и выполняют защитные функции по отношению к клеткам. Поперечный размер микрофибрилл бактериальной целлюлозы в среднем составляет 34 нм. Бимодальный характер кривой распределения размеров микрофибрилл бактериальной целлюлозы показывает способность микрофибрилл к параллельной укладке, при этом наиболее распространенным случаем такой ориентации является образование «сдвоенных» микрофибрилл.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб.: СПбЛТА, 1999. 628 с.
2. Албертс Б., Брей Д., Льюис Дж., Рэфф М., Роберте К., Уотсон Дж. Молекулярная биология клетки: в 3 т. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Мир, 1994. Т. 3. 504 с.
3. Алешина Л.А., Глазкова С.В., Луговская Л.А., Подойникова М.В., Фофанов А.Д., Силина Е.В. Современные представления о строении целлюлоз (обзор) // Химия растит. сырья. 2001. № 1. С. 5–36.
4. Боголицын К.Г., Чухчин Д.Г., Зубов И.Н., Гусакова М.А. Ультрамикростроение и надмолекулярная структура древесной матрицы // Химия растит. сырья. 2012. № 3. С. 37–44.
5. Болотова К.С., Чухчин Д.Г., Манахова С.В., Майер Л.В., Виноградова В.Р. Сравнительная характеристика распределения размера микрофибрилл растительной и бактериальной целлюлозы // Физикохимия растительных полимеров: материалы VI Междунар. конф., Архангельск, 2-3 июня 2015 г. Архангельск: САФУ, 2015. С. 55–58.
6. Горишкова Т.А. Растительная клеточная стенка как динамичная система. М.: Наука, 2007. 426 с.
7. Малков А.В., Чухчин Д.Г., Болотова К.С., Тышинунова И.В., Новожилков Е.В. Новый подход к дифрактометрическому определению степени кристалличности целлюлозы // Физикохимия растит. полимеров: материалы VI Междунар. конф., Архангельск, 2-3 июня 2015 г. Архангельск: САФУ, 2015. С. 201–205.
8. Роговин З.А. Химия целлюлозы. М.: Химия, 1972. 520 с.
9. Чухчин Д.Г., Майер Л.В., Манахова С.В., Иванченко Н.Л. Оценка поперечных размеров микрофибрилл целлюлозы в слое S₂ клеточной стенки древесины // Биотехнологии в химико-лесном комплексе: тез. докл. Междунар. науч. конф., Архангельск, 11-12 сент. 2014 г. Архангельск: САФУ, 2014. С. 321–324.
10. Cavka A., Guo X., Tang S.-J., Winstrand S., Jonsson L.J., Hong F. Production of Bacterial Cellulose and Enzyme from Waste Fiber Sludge. *Biotechnol. Biofuels*, 2013, vol. 6, no. 25, pp. 1–10.
11. Colvin J.R. The Mechanism of Formation of Cellulose-Like Microfibrils in a Cell-Free System from *Acetobacter xylinum*. *Planta*, 1980, vol. 149, no. 2, pp. 97–107.
12. Evert R.F. *Esau's Plant Anatomy: Meristems, Cells, and Tissues of the Plant Body: Their Structure, Function, and Development*. USA, NJ, Hoboken, 2006. 601 p.

13. Hafren J., Fujino T., Itoh T. Changes in Cell Wall Architecture of Differentiating Tracheids of *Pinus thunbergii* during Lignification. *Plant Cell Physiol.*, 1999, vol. 40, no. 5, pp. 532–541.
14. Huang Y., Zhu C., Yang J., Nie Y., Chen C., Sun D. Recent Advances in Bacterial Cellulose. *Cellulose*, 2014, no. 21, pp. 1–30.
15. Lee K.Y., Buldum G., Mantalaris A., Bismarck A. More than Meets the Eye in Bacterial Cellulose: Biosynthesis, Bioprocessing, and Applications in Advanced Fiber Composites. *Macromol. Biosci.*, 2014, no. 14, pp. 10–32.
16. Malcolm R., Brown Jr., Saxena I.M. *Cellulose: Molecular and Structural Biology. Selected Articles on the Synthesis, Structure, and Applications of Cellulose*. Netherlands, 2007. 379 p.
17. Pear J.R., Kawagoe Y., Schreckengost W.E., Delmer D.P., Stalker D.M. Higher Plants Contain Homologs of the Bacterial CelA Genes Encoding the Catalytic Subunit of Cellulose Synthase. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1996, no. 93, pp. 12637–12642.
18. Pokalwar S.U., Mishra M.K., Manwar A.V. Production of Cellulose by *Gluconacetobacter* Sp. *Recent Research in Science and Technology*, 2010, no. 2(7), pp. 14–19.
19. Saxena I.M., Brown R.M. Cellulose Biosynthesis: Current Views and Evolving Concepts. *Ann. Bot.*, 2005, no. 96, pp. 9–21.
20. Römling U. Molecular Biology of Cellulose Production in Bacteria. *Research in Microbiology*, 2002, no. 153, pp. 205–212.

Поступила 07.07.16

UDC 539.25 + 547.992.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.153

Morphological Features of the Fibrillar Structure of Plant and Bacterial Cellulose

K.S. Bolotova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

D.G. Chukhchin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

L.V. Mayer, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

A.A. Gur'yanova, Master

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

Severnaya Dvina, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation,

e-mail: k.bolotova@narfu.ru

The authors made a comparison of the micromorphological structure and obtained a statistically significant size distribution of plant and bacterial cellulose microfibrils. Morphological features of the microfibrils structure were studied using a SEM Sigma VP ZEISS scanning electron microscope and an ACM Multimod 8 Bruker atomic-force microscope. The image informativity of the least degree of the microfibrils deformation was achieved by cleaving of the timber sample, which detected the individual fibrils or their bundles. We applied the hemicellulose hydrolysis by briefly heating the wood in the water up to temperature

For citation: Bolotova K.S., Chukhchin D.G., Mayer L.V., Gur'yanova A.A. Morphological Features of the Fibrillar Structure of Plant and Bacterial Cellulose, *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 153–165. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.153

of 235 °C to disclose the ligno-hemicellulosic matrix, distorting the image of wood microfibrils in the pictures. Bacterial cellulose images were obtained without a prior sample preparation. The cross-sectional dimensions of microfibrils did not depend on the cell wall layer, where they were localized, and were virtually the same for woody and herbaceous annual plants (with a mean of 27 nm for juniper). The cross-sectional size of microfibrils of bacterial cellulose was 34 nm at an average without a strict orientation of elements of the supra-molecular structure. It was also typical for one of the main structural parts of the plant cell wall – a primary wall. The bimodal nature of the size distribution curve of bacterial cellulose microfibrils demonstrated the microfibrils ability to the parallel placing. Taking into consideration the statistically close size distribution of cellulose microfibrils of plant and bacterial origin, and a similar crystal structure of the samples, we can assume the presence of identical stages of biosynthesis of the S₂ layer in plants and bacterial cellulose.

Keywords: microfibril, bacterial cellulose, *Acetobacter xylinum*, scanning electron microscope, atomic-force microscope.

REFERENCES

1. Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaya A.V. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Chemistry of Wood and Synthetic Polymers]. St. Petersburg, 1999. 628 p.
2. Aleshina L.A., Glazkova S.V., Lugovskaya L.A., Podoynikova M.V., Fofanov A.D., Silina E.V. Sovremennye predstavleniya o stroenii tsellyuloz (obzor) [Current Ideas about the Cellulose Structure]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2001, no. 1, pp. 5–36.
3. Bogolitsyn K.G., Chukhchin D.G., Zubov I.N., Gusakova M.A. Ul'tramikrostroenie i nadmolekulyarnaya struktura drevesnoy matritsy [Ultra-Microstructure and Submolecular Structure of the Wood Matrix]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2012, no. 3, pp. 37–44.
4. Bolotova K.S., Chukhchin D.G., Manakhova S.V., Mayer L.V., Vinogradova V.R. Sravnitel'naya kharakteristika raspredeleniya razmera mikro fibrill rastitel'noy i bakterial'noy tsellyulozy [Comparative Characteristics of the Microfibrils Size Distribution of Plant and Bacterial Cellulose]. *Fizikokhimiya rastitel'nykh polimerov: materialy VI Mezhdunar. konf., Arkhangel'sk, 2-3 iyunya 2015 g.* [Physical Chemistry of Plant Polymers: Proc. 6th Intern. Conf. Arkhangelsk, 2-3 June, 2015]. Arkhangelsk, 2015, pp. 55–58.
5. Gorshkova T.A. *Rastitel'naya kletochnaya stenka kak dinamichnaya sistema* [The Plant Cell Wall as a Dynamic System]. Moscow, 2007. 426 p.
6. Malkov A.V., Chukhchin D.G., Bolotova K.S., Tyshkunova I.V., Novozhilov E.V. Novyy podkhod k difraktometricheskomu opredeleniyu stepeni kristallichnosti tsellyulozy [New Approach to the Diffractometric Cellulose Crystallinity Determination]. *Fizikokhimiya rastitel'nykh polimerov: materialy VI Mezhdunar. konf., Arkhangel'sk, 2-3 iyunya 2015 g.* [Physical Chemistry of Plant Polymers: Proc. 6th Intern. Conf. Arkhangelsk, 2-3 June, 2015]. Arkhangelsk, 2015, pp. 201–205.
7. Rogovin Z.A. *Khimiya tsellyulozy* [Cellulose Chemistry]. Moscow, 1972. 520 p.
8. Chukhchin D.G., Mayer L.V., Manakhova S.V., Ivanchenko N.L. Otsenka poperechnykh razmerov mikro fibrill tsellyulozy v sloe S₂ kletochnoy stenki drevesiny [Estimation of the Cross-Sectional Dimensions of Cellulose Microfibrils in the S₂ Cell Wall Layer of Wood]. *Biotehnologii v khimiko-lesnom komplekse: tez. dokl. Mezhdunar. nauch. konf., Arkhangel'sk, 11-12 sent. 2014 g.* [Biotechnologies in Chemical and Timber Complex:

Proc. Int. Sci. Conf. Arkhangelsk, 11-12 September, 2014]. Arkhangelsk, 2014, pp. 321–324.

9. Alberts B., Bray D., Lewis J., Raff M., Roberts K., Watson J.D. *Molecular Biology of the Cell*. New York, 1986, vol. 3. 311 p.

10. Cavka A., Guo X., Tang S.-J., Winestrand S., Jonsson L.J., Hong F. Production of Bacterial Cellulose and Enzyme from Waste Fiber Sludge. *Biotechnol. Biofuels*, 2013, vol. 6, no. 25, pp. 1–10.

11. Colvin J.R. The Mechanism of Formation of Cellulose-Like Microfibrils in a Cell-Free System from *Acetobacter xylinum*. *Planta*, 1980, vol. 149, no. 2, pp. 97–107.

12. Evert R.F. *Esau's Plant Anatomy: Meristems, Cells, and Tissues of the Plant Body: Their Structure, Function, and Development*. USA, NJ, Hoboken, 2006. 601 p.

13. Hafren J., Fujino T., Itoh T. Changes in Cell Wall Architecture of Differentiating Tracheids of *Pinus thunbergii* during Lignification. *Plant Cell Physiol.*, 1999, vol. 40, no. 5, pp. 532–541.

14. Huang Y., Zhu C., Yang J., Nie Y., Chen C., Sun D. Recent Advances in Bacterial Cellulose. *Cellulose*, 2014, no. 21, pp. 1–30.

15. Lee K.Y., Buldum G., Mantalaris A., Bismarck A. More than Meets the Eye in Bacterial Cellulose: Biosynthesis, Bioprocessing, and Applications in Advanced Fiber Composites. *Macromol. Biosci.*, 2014, no. 14, pp. 10–32.

16. Malcolm R., Brown Jr., Saxena I.M. *Cellulose: Molecular and Structural Biology. Selected Articles on the Synthesis, Structure, and Applications of Cellulose*. Netherlands, 2007. 379 p.

17. Pear J.R., Kawagoe Y., Schreckengost W.E., Delmer D.P., Stalker D.M. Higher Plants Contain Homologs of the Bacterial CelA Genes Encoding the Catalytic Subunit of Cellulose Synthase. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1996, no. 93, pp. 12637–12642.

18. Pokalwar S.U., Mishra M.K., Manwar A.V. Production of Cellulose by *Glucanacetobacter Sp.* *Recent Research in Science and Technology*, 2010, no. 2(7), pp. 14–19.

19. Saxena I.M., Brown R.M. Cellulose Biosynthesis: Current Views and Evolving Concepts. *Ann. Bot.*, 2005, no. 96, pp. 9–21.

20. Römling U. Molecular Biology of Cellulose Production in Bacteria. *Research in Microbiology*, 2002, no. 153, pp. 205–212.

Received on July 07, 2016

УДК 671.1.052.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.166

МОЩНОСТЬ ПРИВОДА НАСОСА ЗАГРУЗОЧНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ВАРОЧНОГО КОТЛА, РАСХОДУЕМАЯ НА ДЕФОРМАЦИЮ СУСПЕНЗИИ В ПИТАТЕЛЕ

В.П. Сиваков, д-р техн. наук, проф.

А.П. Панычев, канд. техн. наук, доц.

И.А. Партин, ст. преп.

И.К. Кашапов, асп.

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, д. 37,
г. Екатеринбург, Свердловская область, Россия, 620100; e-mail: metod@usfeu.ru

Исследовано влияние факторов режима загрузки на деформацию суспензии «щепа–щелок» в питателе загрузочной циркуляции варочного котла. Показано, что на деформацию суспензии при загрузке расходуется мощность, потребляемая насосом высокого давления. В ходе эксперимента решались следующие задачи: установить по экспериментальным данным зависимость деформации суспензии «щепа–щелок», выполняемой насосом высокого давления в каналах ротора питателя загрузочной циркуляции варочного котла; получить уравнения и численные значения масштабов подобия параметров для деформации суспензии в каналах ротора питателя и экспериментальной модели; определить мощность, расходуемую насосом высокого давления при деформации суспензии «щепа–щелок» в канале ротора питателя загрузочной циркуляции. Использованы следующие методы: полного факторного эксперимента; подобия и анализа размерностей. На основе методов подобия и анализа размерностей составлены уравнения для расчета и определены численные значения следующих масштабов подобия типового питателя и модели: геометрического, коэффициента Пуассона, сил деформации и трения, гидравлических радиусов, работы сил деформации, скорости, деформации и времени нагружения. Зависимость деформации суспензии при подаче из зоны низкого в зону высокого давления загрузочной циркуляции исследована на модели. Установлено, что относительная деформация возрастает пропорционально времени нагружения и давлению и обратно пропорционально жидкостному модулю. Максимальная мощность, расходуемая насосом на деформацию сырья в канале ротора питателя, определена по расчетным параметрам процесса деформации. Показано, что при расчетах привода насоса высокого давления необходимо учитывать расход мощности не только на транспортирование щепы в трубопроводе, но и на деформацию суспензии в питателе загрузочной циркуляции варочного котла.

Ключевые слова: мощность, ротор, питатель высокого давления, суспензия.

Для цитирования: Сиваков В.П., Панычев А.П., Партин И.А., Кашапов И.К. Мощность привода насоса загрузочной циркуляции варочного котла, расходуемая на деформацию суспензии в питателе // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 166–174. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.166

В известных работах [2, 3, 5–8, 10] при расчетах мощности приводов насосов высокого давления учитывалась только работа, затрачиваемая на транспортирование суспензии «щепа–щелок» загрузочной циркуляции установок непрерывной варки целлюлозы с вертикальными варочными котлами. Расход мощности на деформацию суспензии в питателе высокого давления (ПВД) не учитывался. Суспензия при перегрузке из зоны низкого (0,2 МПа) давления в зону высокого (1,2...1,4 МПа) давления нагнетательной линии загрузочной циркуляции рассматривалась как недеформируемая. Ограниченное количество исследований технологических и динамических процессов подачи суспензии из зоны низкого в зону высокого давления и пренебрежение расходом мощности на деформацию и изменение плотности суспензии проявились в перегрузке приводов насосов высокого давления. Для компенсации неточностей метода расчета мощности вводились поправочные коэффициенты. В частности Г.А. Тордуа [6] отмечает, что для трактов загрузочной циркуляции котлов установок непрерывной варки с учетом опыта их эксплуатации следует увеличивать давление от 1,1 до 1,6 МПа.

Установлено, что длина суспензии в канале ротора под действием избыточного давления при выгрузке уменьшается. Деформация (сжатие) суспензии происходит в режиме кратковременных (до 10 с) затухающих колебаний. Сжатие приводит к уменьшению длины суспензии на величину относительной деформации ε .

Цель данной работы – определение мощности насоса, затрачиваемой на деформацию (сжатие) суспензии в ПВД.

Исследование деформации суспензии при сжатии проводили на модели, представленной на рис. 1, с применением масштабов подобия. Основные положения применения масштабов подобия сил и мощности при переходе от моделей к расчетам натуральных машин изложены в [1].

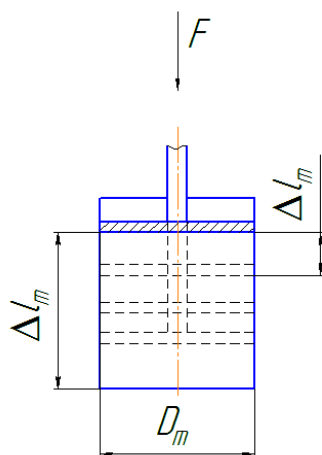


Рис. 1. Физическая модель

Длина пробки суспензии в канале модели под действием внешней силы F уменьшается. Суспензию в канале модели рассматриваем как жесткую систему, деформация в которой мала по сравнению с размерами канала.

Исследование деформации суспензии в канале ротора выполняли в режиме трехфакторного эксперимента [2]. Относительную деформацию суспензии ε_t в канале модели определяли при варьировании времени нагружения $z_1 = 10 \dots 20$ с; статического давления $z_2 = 1,0 \dots 1,2$ МПа; жидкостного модуля $z_3 = 4,5 \dots 7,7$ дм³/кг. Пределы изменения этих факторов соответствовали режиму работы насоса в цикле выгрузки суспензии из ПВД в трубопровод загрузочной циркуляции [1].

Запишем уравнение линейной регрессии для исследуемого процесса:

$$\varepsilon_t = 7,87 + 0,38x_1 + 0,63x_2 - 0,87x_3. \quad (1)$$

Относительная деформация суспензии возрастает пропорционально времени нагружения и давлению и обратно пропорционально жидкостному модулю. Для расчета численных значений масштабов подобия типового ротора ПВД с объемом каналов 0,45 м³ относительно модели сводим характеристики типового ротора и модели в таблицу.

Рабочие характеристики типового ротора ПВД и модели

Характеристика	Значение характеристики	
	Ротор	Модель
Длина канала l , м	0,480	—
Ширина канала λ , м	0,280	—
Диаметр канала d_m , м	—	0,08
Высота канала l_k, l_m , м	0,844	0,156
Время нагружения суспензии давлением t, t_m , с	10...20	10...20
Постоянное давление на суспензию P, P_m , МПа	1,2	1,2
Технологическая щепка из древесины	Ель	Ель
Жидкостной модуль суспензии D, D_m , дм ³ /кг	4,5...7,7	4,5...7,7

Схема типового ротора ПВД с объемом каналов ротора 0,45 м³ приведена на рис. 2.

Для выполнения условий подобия линейно-упругих свойств суспензии в модели и реальном канале ротора ПВД выполнен ряд условий [4, 6]. Суспензия в модели и в канале ротора ПВД имеет одинаковые безразмерные зависимости между напряжениями и деформациями, а также одинаковую схему нагружения.

Выразим все компоненты деформации ε суспензии в точке x_i [1]:

$$\varepsilon = f(l, l_k, \lambda, x_i, F, E, \nu), \quad (2)$$

где l, l_k, λ — соответственно длина, высота и ширина поперечного сечения канала;

x_i — произвольная координата суспензии;

F — внешняя сила;

E — модуль упругости суспензии;

ν — коэффициент Пуассона суспензии.

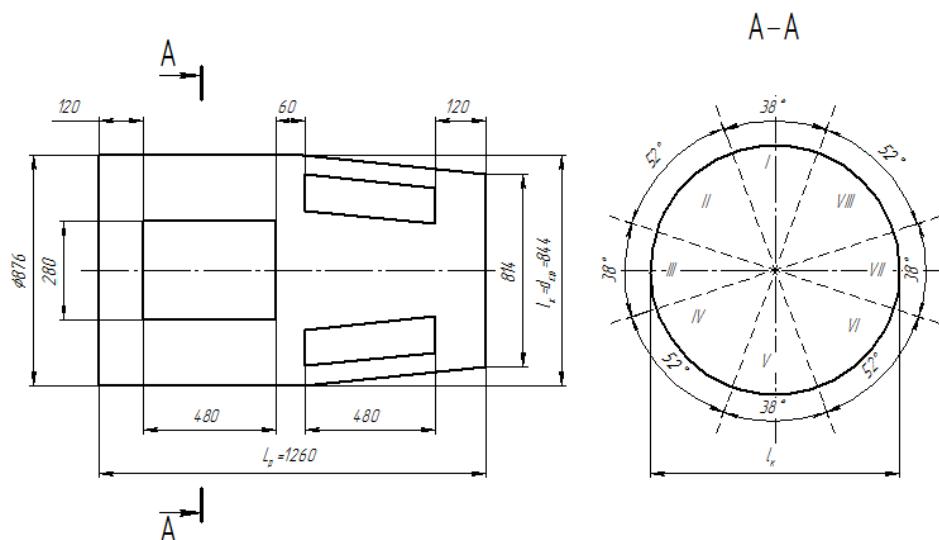


Рис. 2. Схема типового ротора ПВД (объем каналов ротора 0,45 м³): I, III, V, VII – окна ротора с углом сектора 38°; II, IV, VI, VIII – участки корпуса ротора между окнами

Уточним, что модели, спроектированные на основе подобия для линейно-упругих конструкций, допустимо использовать для исследования конструкций из нелинейного материала, включая пластическую область деформации [4]. Применяв метод анализа размерностей, уравнение (2) запишем в виде

$$\varepsilon = \frac{F}{E l \lambda} \varphi\left(\frac{x_i}{l}, \frac{\lambda_i}{\lambda}, \frac{l_i}{l}, \frac{v_i}{v}\right), \quad (3)$$

где $\varphi\left(\frac{x_i}{l}, \frac{\lambda_i}{\lambda}, \frac{l_i}{l}, \frac{v_i}{v}\right)$ – функция π -переменных, включающая только безразмерные члены.

Уравнение (3) выразим через масштабы подобия функций π -переменных суспензии в канале ротора и модели:

$$\varepsilon = \frac{F}{E l \lambda} \sum_{i=1}^k n_i, \quad (4)$$

где n_i – масштабы подобия;

k – число масштабов подобия.

Авторами работы [2] в качестве передаточных функций применены следующие масштабы подобия рассматриваемой задачи: геометрический (формы и координат), коэффициент Пуассона, сил и времени периода нагружения конструкции. Численные значения масштабов подобия получаем по расчетным формулам, определенным в [1], и экспериментальным данным исследования деформации щепы на модели [5].

Масштаб подобия площади поперечного сечения определяем по формуле

$$n_a = \frac{4 l \lambda}{\pi d_m^2} = \frac{4 \cdot 480 \cdot 280}{\pi 80^2} = 26,7, \quad (5)$$

где l , λ , d_m – линейные размеры поперечного сечения каналов модели и ротора приведены в таблице.

Масштаб коэффициента Пуассона при одинаковой технологической щепе принимаем одинаковым:

$$n_v = \frac{v}{v_m} = 1. \quad (6)$$

Тогда графики зависимости относительных напряжений от деформации (σ/E от ε) так же будут одинаковыми. Деформации в пластической области не являются однозначной функцией напряжения. Для выполнения условий подобия ($E = E_m$) режим нагружения суспензии в модели должен соответствовать режиму нагружения суспензии в канале ротора. Отсюда следует, что

$$\frac{4F_m}{\pi d_m^2} = \frac{F_1}{\lambda l},$$

где F_m , F_1 – соответственно силы при деформации суспензии в каналах модели и ротора,

$$F_m = p \frac{\pi d_m^2}{4} 6 \cdot 10^3 = 1,2 \cdot 10^6 \frac{\pi 0,08^2}{4} = 6 \cdot 10^3 \text{ Н}; \quad (7)$$

$$F_1 = F_m \frac{4 \lambda l}{\pi d_m^2} = 6 \cdot 10^3 \frac{4 \cdot 0,28 \cdot 0,48}{3,14 \cdot 0,08^2} = 161,5 \cdot 10^3 \text{ Н}; \quad (8)$$

l , λ , d_m – приведены в таблице.

Масштаб подобия сил определяем из соотношения

$$n_F = \frac{4 \lambda l}{\pi d_m^2} = n_a = 26,7. \quad (9)$$

При деформации суспензии в каналах модели и ротора затрачивается сила F_2 на трение по внутренним стенкам каналов. Влияние формы поперечного сечения на силу нагружения определяем из соотношения гидравлических радиусов.

Гидравлический радиус поперечного сечения канала ротора

$$R_r = \frac{\lambda l}{2(\lambda + l)} = \frac{0,48 \cdot 0,28}{2(0,48 + 0,28)} = 0,09 \text{ м}. \quad (10)$$

Гидравлический радиус поперечного сечения модели

$$R_m = \frac{\pi d_m^2}{\pi d} = \frac{d}{4} = \frac{0,08}{4} = 0,02 \text{ м}. \quad (11)$$

Масштаб подобия гидравлических радиусов n_r и силу F_2 находим по следующим формулам:

$$n_r = \frac{R_r}{R_{rm}} = \frac{0,088}{0,02} = 4,4; \quad (12)$$

$$F_2 = F_m n_r = 6 \cdot 10^3 \cdot 4,4 = 26,4 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Рассчитываем силу, расходуемую на деформацию и трение суспензии в канале ротора ПВД при $p = 1,2 \cdot 10^6 \text{ Па}$; $d_m = 0,08 \text{ м}$:

$$F = F_1 + F_2 = 161,5 \cdot 10^3 + 26,4 \cdot 10^3 = 187,9 \cdot 10^3 \text{ Н}, \quad (13)$$

Определяем работу сил деформации сырья в канале ротора:

$$Q_d = F l_m \frac{1}{n_b} = 187,9 \cdot 10^3 \cdot 0,156 \frac{1}{5,4} = 5,5 \cdot 10^3 \text{ Дж}. \quad (14)$$

Масштаб подобия высоты l_m находим по формуле

$$n_b = \frac{l_k}{l_m} = \frac{0,844}{0,156} = 5,4, \quad (15)$$

где l_k – средняя высота канала ротора, $l_k = 0,844$;

l_m – средняя высота канала модели, $l_m = 0,156$.

Максимальная скорость деформации щепы в канале модели:

$$\vartheta_m = \frac{\varepsilon_m}{t} = \frac{0,016}{10} = 0,0016 \text{ м/с}, \quad (16)$$

$$\text{где } \varepsilon_m = \Delta l_m l_k = 0,1 \cdot 0,156 = 0,016 \text{ м}; \quad (17)$$

$t_{\min}$ – максимальное время нагружения (см. таблицу);

Δl_m – максимальная деформация суспензии по длине l_m модели,

$$\Delta l_m = 0,1 \cdot l_m.$$

Максимальная скорость деформации щепы в канале ротора:

$$\vartheta = \frac{\varepsilon}{t_{\min}} = \frac{0,0844}{10} = 0,0084 \text{ м/с}, \quad (18)$$

$$\text{где } \varepsilon_k = 0,1 l_k = 0,1 \cdot 0,844 = 0,0844 \text{ м}. \quad (19)$$

Масштаб подобия времени нагружения определяем по формуле

$$n_t = \frac{\vartheta}{\vartheta_m} = \frac{0,0084}{0,0016} = 5,25. \quad (20)$$

Находим максимальную мощность, расходуемую на деформацию сырья в канале ротора:

$$N_d = \frac{Q_d}{t_{\min}} n_t = \frac{5,5 \cdot 10^3}{10} 5,25 = 2,9 \text{ кВт}. \quad (21)$$

Применение масштабов подобия при переходе от модели к типовому ротору ПВД позволяет определить мощность насоса, расходуемую на деформацию суспензии. Расход мощности на деформацию суспензии увеличивается из-за плотности щепы, загружаемой в варочный котел, что положительно сказывается на технологии варки [9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабаяси А. Экспериментальная механика: пер. с англ. Т. 2. М.: Мир, 1990. 552 с.
2. Кашапов И.К., Партин И.А., Сиваков В.П. К вопросу о расчете мощности привода насоса высокого давления загрузочной циркуляции варочного котла // Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной промышленности: материалы II Всерос. отраслевой науч.-практ. конф. Пермь: ЦНИТИ, 2014. 297 с.
3. Малков С.Ю. Модернизация котлов непрерывной варки по технологии Lo-SolidsTM // Целлюлоза, бумага и картон. 2004. № 7. С. 42 – 49.
4. Партин И.А., Сиваков В.П. Динамические процессы в питателе высокого давления при выгрузке // Лесн. журн. 2011. № 1. С. 117–125. (Изв. высш учеб. заведений).
5. Сиваков В.П., Партин И.А. Критерии подобия модели деформации суспензии в питателе высокого давления // Лесн. журн. 2013. № 4. С. 106–111. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Тордуга Г.А. Машины и аппараты целлюлозного производства // Машины и аппараты целлюлозного производства: учеб. пособие для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1986. С. 440.
7. Gullichsen J., Sundqvist H. On the Importance of Impregnation and Chip Dimensions on the Homogeneity of Kraft Pulping. *Proc. 1995 Pulping Conf.* Chicago, 1995, pp. 227–234.
8. Malkov S., Tikka P., Kuzmin V., Baltakhinov V. Efficiency of Chip Presteaming – Result of Heating and Air Escape Processes. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 2002, vol. 17, no. 4, pp. 420–426.
9. Malkov S., Leavitt A., Stromberg B. Improved Understanding of Chip Steaming and Impregnation. *Proc. Engineering, Pulping and PCE&I Conference*. US, Atlanta, 2004.
10. Marcoccia B., Johanson J.R., Williams G., Bruce P. *Proc. Pacific Paper '95*. Canada, Vancouver B.C., 1995, pp. 8–14.

Поступила 17.04.16

UDC 671.1.052.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.166

**Driving Power of the Digester Load Circulation Pump
for the Slurry Deformation in a Feeder**

V.P. Sivakov, Doctor of Engineering Sciences, Professor

A.P. Panychev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

I.A. Partin, Senior Lecturer

I.K. Kashapov, Postgraduate Student

Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, Sverdlovsk region, 620100, Russian Federation; e-mail: metod@usfeu.ru

For citation: Sivakov V.P., Panychev A.P., Partin I.A., Kashapov I.K. Driving Power of the Digester Load Circulation Pump for the Slurry Deformation in a Feeder. *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 166–174. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.166

This paper investigates the influence of loading mode factors on the “chips–liquor” slurry deformation in the load circulation feeder of a digester. A power consumed by the high pressure pump is also consumed for the slurry deformation at loading. The experiment objectives are: to establish a “chips–liquor” slurry deformation dependence, performed by the high-pressure pump in the feeder rotor channels of the digester load circulation; to obtain the equations and numerical values of the scales of similarity parameters for the slurry deformation in the feeder rotor channels and an experimental model; to determine the power consumed by a high-pressure pump at the “chips–liquor” slurry deformation in the rotor channel of the load circulation feeder. We use the methods of the full factorial experiment and of similarity and dimensional analysis. On the basis of the methods of similarity and dimensional analysis we compile the design equations and determine numerical values of the following similarity scales of a standard feeder and a model: geometric, Poisson's ratio, strain energy and friction force, hydraulic radius, work of strain energy, velocity, loading time and deformation. The dependence of the slurry deformation during supply from the low-pressure zone to the high-pressure zone of load circulation is examined on a model. The relative deformation increases in proportion to the load time and pressure and is inversely proportional to a liquid module. The maximum power, consumed by the pump to deform raw material in the feeder rotor channel, is determined by the design parameters of the deformation process. We should take into account the power consumption not only for the transportation of chips in the pipeline, but also for the slurry deformation in the load circulation feeder of a digester to calculate a high-pressure pump drive.

Keywords: power, rotor, high-pressure feeder, slurry.

REFERENCES

1. Kobayashi A.S. *Handbook on Experimental Mechanics*. US, New York, 1987. 1002 p.
2. Kashapov I.K., Partin I.A., Sivakov V.P. K voprosu o raschete moshchnosti privoda nasosa vysokogo davleniya zagruzochnoy tsirkulyatsii varochnogo kotla [On the Driving Power Calculating of the High Pressure Pump of the Digester Load Circulation]. *Perspektivy razvitiya tekhniki i tekhnologiy v tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti: materialy II Vseros. otraslevoy nauch.-prakt. konf.* [Prospects of Development of Techniques and Technologies in the Pulp and Paper Industry: Proc. 2nd All-Russ. Sci. Prac. Ind. Conf.]. Perm, 2014. 297 p.
3. Malkov S.Yu. Modernizatsiya kotlov nepreryvnoy varki po tekhnologii Lo-SolidsTM [Modernization of Continuous Cookers by the Lo-SolidsTM Technology]. *Tsellyuloza, bumaga i karton* [Pulp. Paper. Board], 2004, no. 7, pp. 42–49.
4. Partin I.A., Sivakov V.P. Dinamicheskie protsessy v pitatele vysokogo davleniya pri vygruzke [Dynamic Processes in the High Pressure Feeder when Unloading]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 1, pp. 117–125.
5. Sivakov V.P., Partin I.A. Kriterii podobiya modeli deformatsii suspensii v pitatele vysokogo davleniya [Criteria of Similarity of a Deformation Model of Suspension in a High Pressure Feeder]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 4, pp. 106–111.
6. Tordua G.A. *Mashiny i apparaty tsellyuloznogo proizvodstva* [Machines and Devices of the Pulp Production]. Moscow, 1986. 440 p.

7. Gullichsen J., Sundqvist H. On the Importance of Impregnation and Chip Dimensions on the Homogeneity of Kraft Pulping. *Proc. 1995 Pulping Conf.* Chicago, 1995, pp. 227–234.

8. Malkov S., Tikka P., Kuzmin V., Baltakhinov V. Efficiency of Chip Presteaming – Result of Heating and Air Escape Processes. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 2002, vol. 17, no. 4, pp. 420–426.

9. Malkov S., Leavitt A., Stromberg B. Improved Understanding of Chip Steaming and Impregnation. *Proc. Engineering, Pulping and PCE&I Conference*. US, Atlanta, 2004.

10. Marcoccia B., Johanson J.R., Williams G., Bruce P. *Proc. Pacific Paper'95*. Canada, Vancouver B.C., 1995, pp. 8–14.

Received on April 17, 2016



ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.175

ЮБИЛЕЙ ПРОФЕССОРА ЕВГЕНИЯ АНАТОЛЬЕВИЧА ПАМФИЛОВА



В июле 2016 г. исполнилось 75 лет доктору технических наук, профессору, заслуженному деятелю науки РФ, заслуженному ученому Брянской области Евгению Анатольевичу Памфилову.

Е.А. Памфилов родился в г. Брянске 6 июля 1941 г. в семье потомственных инженеров-преподавателей, проявивших себя в сфере развития технического образования. Его дед В.И. Памфилов еще в начале прошлого века служил в средних специальных учебных заведениях, 1917 г. он встретил в должности директора и председателя педагогического совета технического училища в Торжке Тверской губернии. Отец

и дядя юбиляра стали серьезными исследователями – профессорами, патриотами и защитниками Родины.

Евгений Анатольевич в 1964 г. окончил Брянский институт транспортного машиностроения и продолжил работу на Брянском заводе дорожных машин, где активно участвовал в совершенствовании и внедрении в производство новых технологий. На предприятии под его руководством была создана специальная лаборатория, по результатам работы он был награжден знаком ЦК ВЛКСМ «Молодому передовику производства».

В 1967 г. Е.А. Памфилов был приглашен на педагогическую работу в Брянский технологический институт, где продолжил научные исследования и в 1974 г. защитил кандидатскую диссертацию, направленную на повышение работоспособности цепных пил, используемых в лесной промышленности.

В последующие годы сформировались основные направления исследований Е.А. Памфилова: изучение изнашивания в условиях динамических нагрузок, низких температур, повышенных скоростей; разработка методов испытаний в указанных условиях и их стандартизация; материаловедческое и технологическое обеспечение износостойкости деталей машин и инструментов применительно к различным видам оборудования и инструментов. В этих сферах Памфилов и его ученики выполнили большой объем научно-исследовательских работ по проблемам машиностроения и деревообработки, создали новые конструкции машин и инструментов, обосновали процессы упрочняющей обработки, предложили методы исследования износостойкости.

Е.А. Памфилов и сотрудники основанной им научной школы подготовили большое число публикаций, разработали государственные стандарты и нормативные методические указания, получили десятки авторских свидетельств СССР и патентов РФ на свои изобретения.

Результаты этих работ докладывались на многочисленных научных форумах как в России, так и за рубежом. Они были также положены в основу его диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук на тему «Оптимизация упрочняющих технологий и их реализация с целью существенного повышения износостойкости штампового и дереворежущего инструмента» (1988 г.).

Под его научным руководством подготовлено и защищено более 20 докторских и кандидатских диссертаций по научным специальностям «Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки», «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства», «Трение и износ в машинах» и др.

Он являлся заместителем председателя и членом ряда диссертационных советов, многократно привлекался к оппонированию диссертационных работ.

За успехи в развитии отечественной науки ему присвоены почетные звания «Заслуженный деятель науки РФ» и «Заслуженный ученый Брянской области».

Е.А. Памфилов на протяжении многих лет успешно сочетает организационно-педагогическую, научную и общественно-просветительскую деятельность. Много лет возглавлял выпускающие кафедры «Механическая технология древесины» и «Оборудование лесного комплекса и технический сервис», около 10 лет проработал проректором Брянской государственной инженерно-технологической академии. В настоящее время Е.А. Памфилов – профессор кафедры «Машиностроение и материаловедение» Брянского государственного технического университета.

Он является членом Совета по науке и научной деятельности при губернаторе Брянской области, членом бюро и руководителем секции межведомственного научного совета Минобрнауки РФ и РАН по проблемам трибологии, членом редакционных коллегий центральных профессиональных журналов (ИВУЗ «Лесной журнал» и «Трение и смазка в машинах и механизмах»), ответственным редактором сериальных сборников научных трудов,

выпускаемых уже более трех десятилетий и признанных научной общественностью («Лесной комплекс: состояние и перспективы развития», «Новые материалы и технологии в машиностроении», «Экономика и эффективность организации производства»), членом ряда общественных академий.

За заслуги в профессиональной и общественной деятельности Е.А. Памфилов многократно поощрялся, награжден орденом Дружбы.

Редколлегия ИВУЗ «Лесной журнал», коллеги, ученики и друзья желают Евгению Анатольевичу крепкого здоровья, долгих лет плодотворной работы, новых творческих успехов.

В.И. Мелехов¹, В.В. Быков², П.Г. Пыриков³

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

²Московский государственный университет леса

³Брянский государственный инженерно-технологический университет

UDC 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.175

The Anniversary of Professor Evgeniy A. Pamfilov

V.I. Melekhov¹, B.B. Bykov², P.G. Pyrikov³

¹ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

² Moscow State Forest University

³ Bryansk State Engineering Technological University





НЕКРОЛОГИ

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.178

ПАМЯТИ ЕВГЕНИЯ СЕРГЕЕВИЧА МУРАХТАНОВА



25 октября 2016 г. ушел из жизни академик, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный лесовод Российской Федерации, заслуженный деятель науки, почетный работник высшего образования России Евгений Сергеевич Мурахтанов.

Родился Евгений Сергеевич 10 февраля 1928 г. в Оренбургской области. Его жизненный путь был неразрывно связан с лесом, лесной наукой. Будучи выпускником Бузулукского лесного техникума, он работал в экспедиции «Леспроект», затем учился в Ленинградской лесотехнической академии. После ее окончания, пройдя путь от ассистента, доцента, профессора, заведующего кафедрой, декана до проректора по учебной и научной работе, в 1976 г. был назначен ректором Брянского технологи-

ческого института, который возглавлял 12 лет. С 1990 г. был директором института экологии Международной инженерной академии и главным научным консультантом по проблемам радиационной экологии в связи с аварией на Чернобыльской АЭС. С 1992 г., в течение 12 лет, возглавлял кафедру радиационной экологии и безопасности жизнедеятельности Брянской инженерно-технологической академии, работал профессором этой кафедры. Возглавлял с 1998 г. Брянское отделение Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности.

Общее число опубликованных им работ около 500 наименований, в том числе учебники, монографии, учебные пособия. Он настойчиво и весьма продуктивно готовил кадры научных работников для учебных и научно-исследовательских институтов. Им подготовлено 60 кандидатов и 10 докторов наук.

Труд ученого, руководителя и организатора высшей школы отмечен орденами Трудового Красного Знамени, Дружбы народов и другими правительственными наградами, отраслевыми грамотами и благодарностями.

Память об Евгении Сергеевиче будет жить в сердцах его коллег, учеников и последователей. Они всегда будут помнить и ценить его теплые бескорыстные советы, наставления, не забудут его поддержку в сложных жизненных ситуациях, примеры государственного отношения к малым и большим поручениям, искренность и деловую критику.

Профессорско-преподавательский состав, сотрудники и студенты Брянского государственного инженерно-технологического университета выражают глубокое соболезнование родным и близким покойного.

М.Н. Неруш, канд. с.-х. наук, доц.

Брянский государственный инженерно-технологический университет

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.178

In Memory of Evgeniy S. Murakhtanov

M.N. Nerush, *Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor*
Bryansk State Engineering and Technological University

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,
ПОМЕЩЕННЫХ В «ЛЕСНОМ ЖУРНАЛЕ»
в 2016 г.

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Kovyazin V.F., Martynov A.N., Kuznetsov E.N. Soil Conditions in the Green Areas of Saint Petersburg. № 4-9.

Ананьев В.А., Мошников С.А. Структура и динамика лесного фонда Республики Карелия. № 4-19.

Андропова М.М. Таксономический состав и систематическая структура дендрофлоры г. Белозерска. № 4-54.

Афонин А.А., Зайцев С.А. Цикличность среднесуточного радиального прироста несущих побегов ивы белой (*Salix alba* L.) в условиях Брянского лесного массива. № 3-66.

Бабинов Б.В., Кобак К.И. Поглощение атмосферного углекислого газа болотными экосистемами территории России в голоцене. Проблемы заболочивания. № 1-9.

Богданов А.П., Алешко Р.А., Шошина К.В., Демиденко С.А. Использование материалов детальной спутниковой съемки для таксации лиственницы сибирской в Архангельской области. № 1-74.

Боголицын К.Г., Сурсо М.В., Гусакова М.А., Зубов И.Н. Влияние стрессовых воздействий на компонентный состав и строение древесины можжевельника. № 6-33.

Брынцев В.А., Коженкова А.А. Географическая изменчивость сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) при интродукции. № 6-89.

Волков Е.В. Леса с участием кедра корейского в бассейне реки Буря. № 5-34.

Грязькин А.В., Новикова М.А., Новиков Я.А. Особенности естественного возобновления березы на вырубках. № 4-81.

Гулиева Ф.Э. Исследование взаимосвязи степеней разнообразия земельного покрова и литологии и влияния антропогенного фактора на лесной покров в горной местности. № 6-76.

Гутый Л.Н., Федорков А.Л. Экспериментальные культуры сосны скрученной в Сыктывкарском лесничестве Республики Коми. № 1-48.

Демидова Н.А., Ярославцев С.В., Дуркина Т.М., Федотов И.В., Ильинцев А.С. Ход роста тополей невского (*Populus × Newesis bogd.*) и волосистоплодного (*P. trichocarpa* Torr. et Gray) в условиях Европейского Севера России. № 3-77.

Дерюгин А.А., Рубцов М.В. Динамика состояния популяции ели под пологом березняков южной тайги Русской равнины. № 2-47.

Добрынин А.П., Евдокимов И.В. Геоботанические особенности и продуктивность лесов с участием ильма в Вологодской области. № 4-100.

Дорохов К.В., Шелуха В.П., Кистерный Г.А. Сравнительное влияние антропогенных факторов на состав, трофическую структуру и плотность мезофауны. № 5-9.

Дружинин Н.А., Дружинин Ф.Н., Грибов С.Е. Влияние выборочных форм рубок на качественные показатели древесины подполовой ели. № 6-56.

Ежов О.Н. Афиллофоровые грибы в городских зеленых насаждениях Архангельской области. № 2-59.

Залесов С.В., Данчева А.В., Эбель А.В., Эбель Е.И. Лесоводственная эффективность рубок ухода в сосняках Казахского мелкосопочника. № 3-21.

Зарубина Л.В. Состояние естественного возобновления ели в мелколиственных лесах на Севере России. № 3-52.

- Зарубина Л.В., Коновалов В.Н.** Влияние прореживания и азота на сезонную динамику дыхания корней сосны и ели. № 1-100.
- Иванов В.П., Ерохин А.В., Колосова Т.Г.** Анализ естественного лесовозобновления на основе парцеллярной структуры в сосново-еловых насаждениях после выборочных санитарных рубок. № 6-65.
- Иванова Г.А., Жила С.В., Кукавская Е.А., Иванов В.А.** Постпирогенная трансформация фитомассы древостоя в насаждениях Нижнего Приангарья. № 6-17.
- Калачев А.А., Залесов С.В.** Особенности послепожарного восстановления древостоев пихты сибирской в условиях рудного Алтая. № 2-19.
- Кириллов С.В., Теплых А.А., Бочкова В.В., Мартынов В.А.** Географические культуры дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в Республике Марий Эл. № 1-83.
- Кистерный Г.А.** Женская репродуктивная сфера сосны обыкновенной при воздействии ослабляющих лесопатологических факторов в насаждениях Брянской области. № 4-89.
- Кищенко И.Т.** Анатомическое строение годичного кольца *Pinus Sylvestris* L. в разных типах леса таежной зоны. № 4-61.
- Ковылин Н.В., Ковылина О.П., Сухенко Н.В.** Особенности взаимоотношения древостоя и напочвенного покрова в искусственных фитоценозах *Populus balsamifera* L. и *Populus nigra* L. № 3-31.
- Коновалов В.Н., Зарубина Л.В.** Оценка жизнеспособности ели в березняке черничном в процессе его возрастного развития. № 5-44.
- Копытков В.В., Коновалов В.Н.** Исследования технологии получения дражированных семян с использованием композиционных полимерных препаратов. № 4-30.
- Корчагов С.А., Лупанова И.Н.** К вопросу охраны лесов от незаконных рубок в Вологодской области. № 2-41.
- Корчагов С.А., Миронов А.В., Лупанова И.Н.** Проблемы использования и воспроизводства лесов на землях лесного фонда Вологодской области. № 5-81.
- Макаров В.П.** Посевные качества семян лиственницы в Забайкальском крае. № 1-66.
- Макаров Ю.И.** Особенности роста и развития ели обыкновенной под влиянием внутривидового полиморфизма. № 3-87.
- Моисеев Н.А.** Финансовый кризис в лесном хозяйстве и пути выхода из него. № 6-9.
- Мухин А.К.** Динамика лишайниково-зеленомошных сосняков в зоне прямого влияния Рыбинского водохранилища. № 5-97.
- Николаева М.А., Жигунов А.В., Голиков А.М.** 36-летний опыт изучения географических культур сосны обыкновенной в Псковской области. № 5-22.
- Пеккоев А.Н.** Качество древесины культур ели при ускоренном лесовыращивании. № 1-89.
- Перепечина Ю.И., Глушенков О.И., Корсинов Р.С.** Учет и оценка лесов, возникших на сельскохозяйственных землях, с использованием данных дистанционного зондирования Земли. № 4-71.
- Сенькина С.Н.** Динамика водообмена хвои сосны в разных подзонах тайги. № 5-61.
- Соколов А.И., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А.** Влияние многолетнего применения минеральных удобрений на рост сосны в толщину в посевах на паловых вырубках с песчаными почвами. I. Последствие 30-летнего ежегодного применения калийных удобрений на рост сосны в толщину и качество древесины № 6-42.

Сунгурова Н.Р., Коновалов В.Н. Ассимиляционный аппарат ели в культурах на долгомошной вырубке. № 2-31.

Сурсо М.В., Селиванова Н.В. Опыление у можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.): механизм вовлечения пыльцы и влияние мужского гаметофита на развитие семязачатков и «шишкоягод». № 4-40.

Тарханов С.Н. Влияние аэротехногенного загрязнения на покрытие стволов деревьев эпифитными лишайниками в лесных насаждениях Северо-Двинского бассейна и Беломорско-Кулойского плато. № 1-37.

Тихонов И.И., Якушева Т.В. Выборочные рубки, проблемы и варианты решений. № 2-9.

Тюкавина О.Н., Евдокимов В.Н. Корневая система сосны обыкновенной в условиях северотаежной зоны. № 1-55.

Устинов М.В., Глушенков О.И., Корсинов Р.С. Математическое моделирование схемы типов леса сосняков Брянской области на основе ресурсно-экологического районирования. № 3-42.

Холманский А.С., Кожевников Ю.М. Механизм генерации электрохимического потенциала дерева. № 5-73.

Шалаев В.С., Тепляков В.К. Анализ участия отечественных представителей в съездах и конгрессах ИЮФРО. № 3-9.

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

Громская Л.Я., Симоненков М.В. Современное состояние моделирования и оптимизации лесных дорог. № 5-108.

Дербин В.М., Дербин М.В. Сортиментная заготовка древесины при выборочных рубках. № 5-123.

Максимчук Ю.В., Крук В.С., Антонова З.А., Пономарев Д.А., Сушкова А.В. Расчет теплоты сгорания древесного топлива по элементному составу. № 6-110.

Михайлов К.Л., Гущин В.А., Тараканов А.М. Организация сбора и переработки лесосечных отходов и дров на лесосеке. № 6-98.

Мясищев Д.Г., Вашуткин А.С., Лоренц А.С. Уменьшение резонанса релаксационных автоколебаний колесных тормозных механизмов лесовозных автомобилей. № 4-112.

Орловский С.Н., Астапенко С.А., Комиссаров С.В. Методика расчета оборудования для отряхивания гусениц и шишек с хвойных деревьев. № 2-69.

Посыпанов С.В. Комплексная оценка прочностных характеристик плавающего пакета круглых лесоматериалов. № 3-98.

Санников С.П., Герц Э.Ф., Дьячкова А.А. Методология дистанционного мониторинга древостоев и транспортных потоков древесины. № 3-109.

Теринов Н.Н., Герц Э.Ф., Безгина Ю.Н. Развитие техники и технологий лесозаготовок на Урале. № 2-81.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

Агапов А.И. Определение оптимальных размеров брусьев и досок при раскросе пиловочника брусом-сегментным способом с учетом ширины пропила. № 1-138.

Агеев С.П. Нормирование электроэнергии, потребляемой обрезными станками. № 2-91.

Архилин М.А., Богданович Н.И. Адсорбционные и магнитные свойства магнитовосприимчивых адсорбентов, полученных на основе гидролизного лигнина. № 2-131.

Билей П.В., Рокунь Р.А. Исследование кинетики процесса сушки профильных заготовок из древесины. № 2-114.

Буглаев А.М., Бокачева М.П., Сиваков В.В. Станки для обработки круглых сортиментов. № 6-122.

Горяев А.А., Мелехов В.И., Баланцева Н.Б., Калинин О.А. Особенности сушки хвойных пиломатериалов при пониженном давлении среды. № 5-132.

Кремлева Л.В., Малыгин В.И., Снегирева К.К. Режимы лазерного упрочнения дереворежущего инструмента из легированных сталей. № 5-157.

Куницкая О.А., Лукин А.Е., Колесников Г.Н., Тихонов Е.А., Тюрикова Т.В. Численное моделирование процесса окорки длинномерных сортиментов в барабанах. № 3-135.

Мелехов В.И., Шульгин В.А. Контроль процесса сушки пиломатериалов в СВЧ-лесосушильной камере резонансного типа. № 1-122.

Попов Е.В., Филиппов В.В., Мелехов В.И., Лабудин Б.В., Тюрикова Т.В. Влияние жесткости связей сдвига при расчете ребристых панелей на деревянном каркасе. № 4-136.

Прокофьев Г.Ф., Коваленко О.Л. Определение коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточной пилы при ее натяжении. № 3-117.

Прокофьев Г.Ф., Микловчик Н.Ю., Тюрин А.М. Новые лесопильные модули для использования в гибких автоматизированных лесопильных линиях. № 1-131.

Стоянов В.В., Жгалли Ш. Повышение несущей способности деревянных изгибаемых элементов. № 1-115.

Тамби А.А., Чубинский А.Н. Оценка соответствия плотности древесины требованиям к продукции деревообрабатывающих производств. № 3-124.

Федюков В.И. Состояние и перспективы отбора, целевого использования и выращивания резонансной древесины в лесах России. № 5-142.

Черепенин Ф.В., Сковпень С.М., Ульянов Д.А., Бызова М.А. Повышение качества обработки древеси-

ных литейных моделей на токарно-карусельных одноприводных станках. № 4-121.

Шарапов Е.С., Чернов В.Ю., Торопов А.С., Смирнова Е.В. Влияние влажности на точность определения свойств древесины методом измерения сопротивления сверлению. № 2-103.

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Бакиер С., Байко Э., Черная Н.В., Флейшер В.Л. Альтернативный способ получения сосновой живицы методом сверхкритической экстракции диоксидом углерода. № 6-130.

Беляев О.С., Казаков Я.В. Использование неразрушающих методов контроля качества крафт-лайнера. № 3-157.

Болотова К.С., Чухчин Д.Г., Майер Л.В., Гурьянова А.А. Морфологические особенности фибриллярной структуры растительной и бактериальной целлюлозы. № 6-153.

Гаврилов С.В., Канарский А.В., Скворцов Е.В., Севастьянова Ю.В. Ферментативная активность мицелиального гриба *Trichoderma reesei* M18 при культивировании на питательной среде из целлолигнина торфа. № 6-142.

Дернова Е.В., Гораздова В.В., Гурьев А.В. Влияние условий прессования на формирование структуры и физико-механических свойств флютинга. № 5-177.

Долгобородова С.Н., Богданович Н.И., Мауричева Т.С. Актуальность применения газожидкостных смесей для интенсификации очистки сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий. № 3-171.

Иванова Е.И., Герасюта С.М., Иванов-Омский В.И. Сравнение систем водородных связей в древесине и бумаге. № 1-147.

Князева Ю.А., Махотина Л.Г. Исследование возможности использования синтетических дисперсий российского производства при меловании бумаги и картона. № 4-147.

Ларина Е.Ю., Казаков Я.В. Измерение жесткости гофрированного картона при изгибе. № 1-155.

Марьяндышев П.А., Чернов А.А., Любов В.К. Анализ термогравиметрических и кинетических данных различных видов древесного биотоплива Северо-Западного региона Российской Федерации. № 1-167.

Михайлова О.С., Крякунова Е.В., Канарский А.В., Казаков Я.В., Манахова Т.Н., Дулькин Д.А. Влияние биомодифицированного картофельного крахмала на деформационные и прочностные свойства картона. № 4-157.

Никулина Н.С., Вострикова Г.Ю., Дмитренко А.И., Филимонова О.Н., Никулин С.С. Нефтеполимерная смола на основе фракции С9 – модификатор древесноволокнистых плит. № 5-167.

Окулова Е.О., Гурьев А.В. Определение породного состава целлюлозы и полуцеллюлозы из лиственной древесины. № 2-121.

Сиваков В.П., Панычев А.П., Партин И.А., Кашапов И.К. Мощность привода насоса загрузочной циркуляции варочного котла, расходуемая на деформацию суспензии в питателе. № 6-166.

Хакимова Ф.Х., Синяев К.А., Нагимов Д.Р. Экологически надежная технология отбелки сульфитной целлюлозы. № 3-147.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

Бабич Н.А., Евдокимов И.В. Публикации о лесе в России – 250 лет! № 4-165.

Давыдов В.Д. Повышение точности определения расходов на гидросооружениях, работающих по схеме водослива с широким порогом. № 2-141.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

Бабич Н.А. Современный взгляд на актуальные вопросы лесной селекции. № 1-183.

Залесов С.В. Окно в природу! Прекрасная книга о тайге Беломорья. № 2-153.

Мелехов В.И., Бабич Н.А. Интересная и полезная книга. № 2-151.

Феклисов П.А. Рецензия на монографию «Научный подход к лесному семеноводству». № 4-171.

Цильке Р.А., Земляной А.И. Рецензия на учебник «Селекция лесных и декоративных древесных растений». № 4-168.

ЮБИЛЕИ

Залесов С.В. Юбилей знатока северной тайги. № 1-185.

Мелехов В.И., Бабич Н.А., Евдокимов И.В. В строю настоящих лесоводов (к 70-летию М.Д. Мерзленко). № 3-178.

Мелехов В.И., Быков В.В., Пыриков П.Г. Юбилей профессора Евгения Анатольевича Памфилова. № 6-175.

Мерзленко М.Д., Делеган И.В., Мельник П.Г. Профессор Степан Михайлович Стойко – вехи жизнеописания (к 95-летию со дня рождения). № 2-158.

Неруш М.Н. Ученому, педагогу Федору Васильевичу Кишенкову – 80 лет. № 2-155.

НЕКРОЛОГИ

Неруш М.Н. Памяти Евгения Сергеевича Мурахтанова. № 6-178.

Хабаров Ю.Г. Памяти Геннадия Федоровича Потуткина. № 2-161.