



<http://www.volgatech.net/>

ВЕСТНИК

2(26)

2015

апрель-июнь

ПОВОЛЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный журнал

Издаётся с ноября 2007 года

Выходит четыре раза в год

СЕРИЯ «Лес. Экология. Природопользование»

Журнал включён в систему РИНЦ, ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY и ПЕРЕЧЕНЬ ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук

Учредитель и издатель:

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-51790 от 23 ноября 2012 г.)

Полное или частичное воспроизведение материалов, содержащихся в настоящем издании, допускается только с письменного разрешения редакции.

Адрес редакции:

424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Тел. (8362) 68-78-46, 68-28-41

Факс (8362) 41-08-72

E-mail: vestnik@volgatech.net

Редактор *Т. А. Рыбалка*

Дизайн обложки *Л. Г. Маланкина*

Компьютерная верстка

А. А. Кислицын

Перевод на английский язык

М. А. Шалагина

Подписано в печать 26.06.15.

Формат 60×84 1/8. Усл. п. л. 10,23.

Тираж 500 экз. Заказ №

Дата выхода в свет: 30.06.15.

Цена свободная

Поволжский государственный технологический университет
424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО ИПФ «Стринг»
424006, Йошкар-Ола,
ул. Строителей, 95

Главный редактор

Е. М. Романов, д-р с.-х. наук, профессор

Редакционный совет

Э. А. Курбанов, д-р с.-х. наук, профессор

(*председатель*)

Д. И. Мухортов, д-р с.-х. наук, доцент

(*зам. председателя*)

А. Х. Газизуллин, д-р с.-х. наук, профессор (Казань)

Ioannis Z. Gitas, д-р философии в области геоинформационных систем и дистанционного зондирования (Университет Кембриджа, Великобритания), ассоциат-профессор Университета Аристотеля (Салоники, Греция)

А. С. Исаев, д-р биол. наук, профессор, академик РАН (Москва)

Cecil S. Konijnendijk, д-р наук в области лесной политики и экономики (Университет Йюенсуу, Финляндия), профессор (Шведский университет сельскохозяйственных наук, Швеция)

А. И. Писаренко, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН (Москва)

В. С. Сюнёв, д-р техн. наук, профессор (Петрозаводск)

Редакционная коллегия

С. А. Денисов, д-р с.-х. наук, профессор

(*зам. гл. редактора*)

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

(Нижний Новгород)

О. Н. Бурмистрова, д-р техн. наук, профессор (Ухта)

Л. В. Ветчинникова, д-р биол. наук, доцент (Петрозаводск)

П. Ф. Войтко, д-р техн. наук, профессор

А. Б. Голованчиков, д-р техн. наук, профессор (Волгоград)

Ю. П. Демаков, д-р биол. наук, профессор

(*отв. секретарь*)

А. М. Носов, д-р биол. наук, профессор (Москва)

А. Г. Поздеев, д-р техн. наук, профессор

М. Г. Салихов, д-р техн. наук, профессор

С. А. Угрюмов, д-р техн. наук, профессор (Кострома)

Е. М. Царев, д-р техн. наук, профессор

В. Л. Черных, д-р с.-х. наук, профессор

Ю. А. Ширнин, д-р техн. наук, профессор

VESTNIK

2(26)
2015
april – june

OF VOLGA STATE UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY
Academic Periodical

Has been published since 11, 2007

Is issued 4 times a year

Series «Forest. Ecology. Nature Management»

The journal is included in Russian Science Citation Index, Ulrich's Periodicals Directory and the list of leading peer-reviewed journals and publications that publish the main research outcomes of Doctoral and Candidate Theses

Founder and Publisher:

Federal Budget State Educational Institution of Higher Vocational Training «Volga State University of Technology»

The journal is included in the register of Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technology and Mass Communications (Certificate of registration ПИ № ФС77-51790 dated 23 November, 2012)

Any use of articles without the written consent of the editorial board is strictly prohibited.

Address:

424000, Yoshkar-Ola, 3, Lenin Square

Tel. (8362) 68-78-46, 68-28-41

Fax (8362) 41-08-72

E-mail: vestnik@volgotech.net

Editor *T. A. Rybalka*

Cover design *L. G. Malankina*

Computer assisted make up

A. A. Kislitsyn

Translation

M. A. Shalagina

Passed for printing 26.06.15.

format 60×84 1/8. No. of press sheets 10,23

Printing run 500 copies. Order No

Release date: 30.06.15.

Open price

Volga State University of Technology
424000, Yoshkar-Ola, 3, Lenin Square

Printed from the layout original
At LLC PPF«String»
424006, Yoshkar-Ola,
95, Stroiteley St.

Editor in Chief

E. M. Romanov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Editorial Board:

E. A. Kurbanov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
(Chairman)

D. I. Mukhortov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
(Vice-chairman)

A. H. Gazizullin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor (Kazan)

Ioannis Z. Gitas, PhD in Geographical Information Systems (GIS) and Remote Sensing (Cambridge University – UK), Associate Professor (Saloniki, Greece)

A. S. Isaev, Doctor of Biological Sciences, Professor, Member of the Russian Academy of Sciences (Moscow)

Cecil C. Konijnendijk, Doctor in Science in forest policy and economics from the University of Joensuu (Finland), Professor (SLU, Sweden)

A. I. Pisarenko, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Member of the Russian Academy of Sciences (Moscow)

V. S. Syunev, Doctor of Technical Sciences, Professor (Petrozavodsk)

Editorial team:

S. A. Denisov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
(Vice Editor in Chief)

V. P. Besschetnov, Doctor of Biological Sciences, Professor
(Nizhny Novgorod)

O. N. Burmistrova, Doctor of Technical Sciences, Professor (Ukhta)

L. V. Vetchinnikova, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor
(Petrozavodsk)

P. F. Voytko, Doctor of Technical Sciences, Professor

A. B. Golovanchikov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Volgograd)

Y. P. Demakov, Doctor of Biological Sciences, Professor
(Executive Secretary)

A. M. Nosov, Doctor of Biological Sciences, Professor (Moscow)

A. G. Pozdeev, Doctor of Technical Sciences, Professor

M. G. Salikhov, Doctor of Technical Sciences, Professor

S. A. Ugryumov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Kostroma)

E. M. Tsarev, Doctor of Technical Sciences, Professor

V. L. Chernykh, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Yu. A. Shirnin, Doctor of Technical Sciences, Professor

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

FORESTRY

Е. М. Романов, Т. В. Нуреева, Т. Ф. Мифтахов, А. С. Пуряев. Экологическая и сырьевая роль лесов Республики Татарстан

5

E. M. Romanov, T. V. Nureeva, T. F. Miftakhov, A. S. Puryaev. Ecological and resources role of forests of the Republic of Tatarstan

Ю. П. Демаков, А. С. Пуряев, В. Л. Черных, Л. В. Черных. Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики

19

Yu. P. Demakov, A. S. Puryaev, V. L. Chernykh, L. V. Chernykh. Allometric dependences application to 1 assess phytomass of various fractions of trees and simulation of their dynamics

И. В. Скуратов, Е. А. Крюкова. Влияние высоких температур на состояние древесных растений и их патогенов в защитных насаждениях Нижнего Поволжья

37

I. V. Skuratov, E. A. Krukova. High temperatures influence on woody plants condition and their pathogens in protective stands of Lower Volga region

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ
ЛЕСНОГО ДЕЛАFORESTRY TECHNOLOGIES
AND MACHINES

Д. А. Братилов, А. Н. Деснев. Устройство для отвода тепла из массива технологической щепы в условиях кучевого хранения

44

D. A. Bratilov, A. N. Desnev. Device for heat transfer from chippings when storage in heaps

Р. Х. Гайнуллин. Моделирование процесса смешанного резания древесины на шпон с вращательным движением режущего органа

50

R. Kh. Gainullin. Simulation veneer production process in rotary motion

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ.
БИОТЕХНОЛОГИИPROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL
NATURE MANAGMENT.
BIOTECHNOLOGIES

Ю. П. Демаков, А. В. Исаев, В. И. Таланцев, О. В. Малюта. Химическая и биологическая активность водных экстрактов лесных растений

57

Yu. P. Demakov, A. V. Isaev, V. I. Talantsev, O. V. Maluta. Chemical and biological activity of woody plants water extracts

Т. В. Баранова. Цитогенетические изменения проростков берёзы повислой при загрязнении городской среды

77

T. V. Baranova. Cytogenetic changes of betula pendula sprouts when environment pollution

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

DATES. EVENTS. COMMENTS

Е. М. Романов, Д. И. Мухортов, Т. В. Нуреева. Жизнь, отданная восстановлению лесов
Международная научно-практическая конференция. Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг
Информация для авторов

83

E. M. Romanov, D. I. Mukhortov, T. V. Nureeva. Life to forest restoration

International research and practical conference. Forest Ecosystems in the Climate Change Conditions: Biological Productivity and Remote

86

Monitoring

88

Information for the authors

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 574.45: 630*228.9: 630*181.9

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И СЫРЬЕВАЯ РОЛЬ ЛЕСОВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Е. М. Романов¹, Т. В. Нуреева¹, Т. Ф. Мифтахов¹, А. С. Пуряев²

¹ Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: MiftahovTF@volgatech.net

² Филиал ФБУ ВНИИЛМ «Восточно-европейская лесная опытная станция»,
Российская Федерация, 420097, Казань, ул. Товарищеская, 40
E-mail: purjaew@rambler.ru

Приведены данные, характеризующие распределение лесного фонда Республики Татарстан по типам лесорастительных условий, основным лесобразующим породам, их возрасту, классам бонитета и полноте. Вычислены показатели общей фитомассы стволовой древесины, её среднего годовичного прироста и депонирования углерода. Определены с хозяйственной и экологической позиций наиболее перспективные древесные породы для лесовыращивания.

Ключевые слова: Республика Татарстан; лесной фонд; структура; продуктивность; фитомасса; депонирование углерода; рациональное лесопользование.

Введение. Задача рационального использования эколого-ресурсного потенциала лесов является одной из важнейших в научном и практическом аспектах. Её актуальность особенно велика для Республики Татарстан, леса которой выполняют важные социально-экономические и средоохранные функции.

Современное состояние лесов республики во многом определено хозяйственной деятельностью человека. Удобное географическое положение, транспортная доступность, наличие ценных древесных пород, пригодных для кораблестроения, и густонаселённость территории дали возможность эксплуатировать леса республики еще 300 лет назад. Проблема снижения ресурсного потенциала лесов в Казан-

ской губернии была отмечена еще в 1836 году М. Лаптевым, который в своем отчете [1], подготовленном для Военного министерства, писал, что со времени генерального межевания, проведенного в период с 1793 по 1803 гг., лесистость территории уменьшилась к 1836 году с 51,2 до 37,5 %. Наибольший недостаток леса отмечался в Чистопольском уезде (современное Закамье), где площадь крестьянских лесов уменьшилась на 30 %, и местные жители вынуждены были приобретать лес и стройматериалы в соседних губерниях. Интенсивная эксплуатация лесов продолжалась до 70-х годов прошлого столетия. Помимо их вырубки под сельскохозяйственное использование и строительство различных коммуникаций (шос-

© Романов Е. М., Нуреева Т. В., Мифтахов Т. Ф., Пуряев А. С., 2015.

Для цитирования: Романов Е. М., Нуреева Т. В., Мифтахов Т. Ф., Пуряев А. С. Экологическая и сырьевая роль лесов Республики Татарстан // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 2 (26). – С. 5-18.

сейных и железных дорог, линий электропередач, газо- и нефтепроводов), значительная доля земель республики оказалась покрыта водами рукотворных морей: Куйбышевского, Нижнекамского, Заинского [2].

Всё это привело к тому, что в настоящее время Татарстан относится к малолесным регионам России: средняя лесистость по республике составляет 17,1 %, варьируя по административным районам от 2,6 до 41,1 %. Самая низкая лесистость характерна для Предволжья.

Долгая история ведения хозяйства в лесах Республики Татарстан отразилась на лесохозяйственной науке. За это время накоплено большое количество публикаций, которые посвящены как состоянию лесов республики, почвенно-экологическим условиям, так и закономерностям их динамики [2–10]. Однако, учитывая, что лес является динамичной системой, изменяющейся во времени, исследование проблем, связанных с состоянием лесов, не теряет актуальности и, в том числе их экологической роли, что особенно важно для малолесной республики.

Целью исследования является изучение структурной организации лесного фонда Республики Татарстан, оценка его эколого-ресурсного потенциала, выбор и обоснование наиболее перспективных для лесовыращивания древесных пород, что является весьма актуальным в свете выявленных негативных тенденций.

В соответствии с целью решались следующие **задачи**:

- проанализировать структуру лесов республики по основным лесообразующим породам, возрасту, классу бонитета и полноте древостоев;
- рассчитать общую фитомассу стволовой древесины и объём депонированного углерода в лесном фонде республики;
- обосновать наиболее перспективные для лесовыращивания древесные растения, за счёт которых возможно улучшить состояние лесного фонда республики.

Методика и объекты исследований.

Объектом исследования является лесной фонд Республики Татарстан. Сбор экспериментального материала включал несколько этапов. Сначала на уровне лесного фонда лесничеств была сформирована база данных лесоводственно-таксационных показателей насаждений на период проведения последнего лесоустройства. В базу данных вошли лесоводственно-таксационные характеристики по всем древесным породам, включающие свыше 286 тыс. участков по 32 лесничествам республики (лесоустройство 2002–2006 гг.), за исключением НП «Нижняя Кама», ГПЗ «Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник» и Сулонгерское военное лесничество.

При расчёте запаса фитомассы использовались среднестатистические конверсионные коэффициенты для основных лесообразующих пород и возрастных групп насаждений, полученные для южной ландшафтной подзоны России [11]. Затем, исходя из общих запасов фитомассы древостоев, были оценены запасы углерода, принимая конверсионный коэффициент 0,5, рассчитанный К. И. Кобак для 1 кг сухой массы одревесневших частей ствола и корней [12]. Из расчётов были исключены площади не покрытых лесом земель, требующие специальных исследований.

Результаты и обсуждение. При общей площади лесного фонда 1229,2 тыс. га, площадь покрытых лесом земель составляет 1157,2 тыс. га. Они в республике представлены такими лесообразующими породами, как сосна, ель, дуб, осина, берёза, липа и др. (рис. 1, А). Преобладающей лесообразующей породой по площади является осина (21 %), липа, берёза и сосна занимают по 18, 17, 16 % соответственно. Доля площадей, занятых дубом черешчатым, в том числе низкоствольным – 15 %, ели и пихты – 7 %, ольхи – 2 %. На долю других пород приходится 2 % от площади всех лесов.

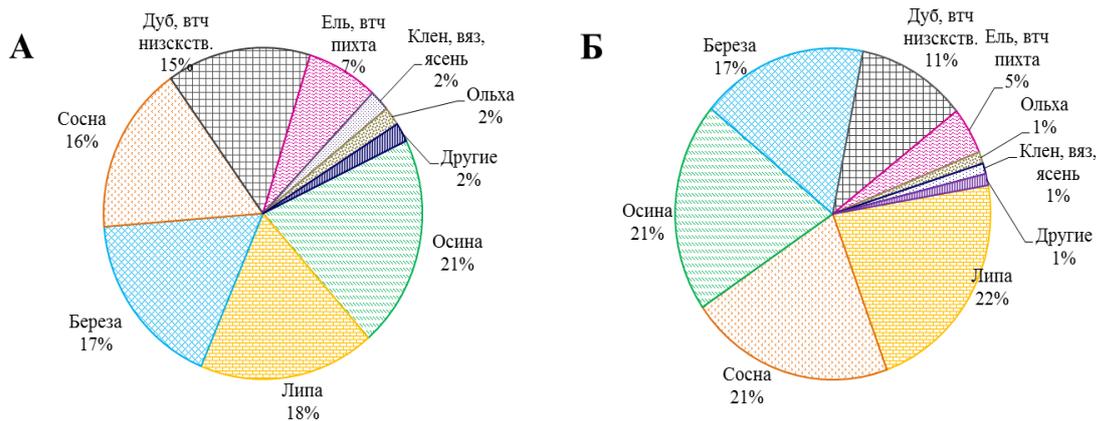


Рис. 1. Распределение лесного фонда Республики Татарстан по преобладающим породам (А – по площади, Б – по запасу)

Совсем другая картина наблюдается при распределении по наличному запасу (рис. 1, Б). Так, при общем запасе лесов республики 189,82 млн. м³ преобладают мягколиственные породы: липа (22%), осина (21%) и берёза (17%). Доля запаса хвойных пород сосны и ели составляет 21 и 5% соответственно. Доля дуба в общем запасе древостоев республики, в том числе низкоствольного, составляет 11%. На долю других пород приходится 1% всего запаса лесов республики.

Такие различия в распределении лесов по преобладающим породам по площади и запасу, прежде всего, вызваны неравномерностью возрастной структуры насаждений. На рис. 2 представлено распределение основных лесобразующих пород по группам возраста и площади.

Среди насаждений мягколиственных древесных пород (осины, берёзы) доминируют спелые и перестойные группы возраста. Так, средний возраст древостоев осины максимально приближен к возрасту спелости – 41 год, берёзы – 46 лет. Среди насаждений липы доля спелых и перестойных составляет около 30%, средневозрастных ещё больше – 45% площади. Такая ситуация сложилась в результате неполного использования расчётной лесосеки: в 1991 году доля использования расчётной лесосеки составляла 99%, а в 2007 году – всего 21,7%. Всё это привело к накоплению спелых и перестойных насаждений и увеличению среднего возраста, особенно в мягколиственном хозяйстве [8, 9]. Противоположная ситуация наблюдается в хвойных насаждениях, где

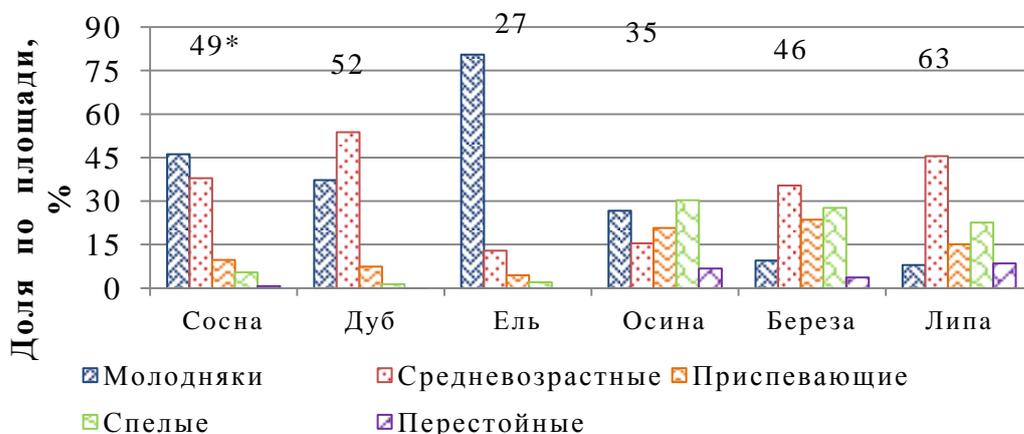


Рис. 2. Распределение основных лесобразующих пород республики по группам возраста и их средний возраст (*)

при общей площади сосняков свыше 190 тыс. га на долю молодняков приходится 45 %, на долю средневозрастных 37 % при среднем возрасте 49 лет. Самыми молодыми, при среднем возрасте 27 лет, являются ельники. При общей площади 82,7 тыс. га на долю молодняков приходится свыше 80 %, или 66,6 тыс. га, а на долю спелых и перестойных – 2 %. Средний возраст древостоев с преобладанием дуба черешчатого составляет 52 года, из них каждый третий гектар относится к молоднякам. Доля средневозрастных составляет 54 %, припевающих – 7 %, а спелых и перестойных не превышает 1,5 %. Отсутствие спелых и перестойных дубняков, прежде всего, вызвано их гибелью от морозов 1978–1979 гг., а также постепенным усыханием дуба в последние десятилетия [10].

Такое неравномерное распределение по возрасту насаждений основных лесобразующих пород негативно отразится на будущем лесопользовании. Накопление перестойных мягколиственных древостоев, особенно осинников, вызывает наибольшие опасения, так как они подвержены деградации. Древесина осины вследствие поражения трутовиком подвергается гнили с потерей товарных качеств [10], поэтому в республике разработаны и внедряются в практику лесопользования и лесовосстановления программы по оздоровлению осинников [10]. Та же проблема характерна и для липняков, в которых перестойные насаждения подвержены воздействию древоразрушающих грибов.

Таким образом, республика в ближайшие 20–30 лет начнёт испытывать недостаток в ценной древесине хвойных пород, особенно ели, а также переизбыток низкосортной мягколиственной древесины. Ситуацию обостряет массовое усыхание ельников, связанное с повреждением их короедом-типографом (*Ips typographus*) после засухи 2010 года, и березняков с повреждением их бактериальной водянойкой (*Erwinia multivora sch.-parf.*), вспышки, которые часто происходят после засушливых лет [13–16].

Неравномерное распределение по возрастным группам, распространение вредителей и болезней, значительная площадь защитных и колочных лесов республики вынуждают лесоводов применять выборочные рубки спелых и перестойных лесов, а также рубки ухода для заготовки древесины. Так, если в 2008 году общий объём расчётной лесосеки с учётом рубок ухода за лесом составил 2333,9 тыс. м³, то на долю рубок ухода и выборочных рубок приходится более 48 % объёма*. Это не могло не повлиять на полноту и сомкнутость насаждений. В древостоях основных лесобразующих пород наблюдается снижение средней полноты с возрастом. Так, в сосняках средняя полнота снижается от молодняков к перестойным насаждениям с 0,75 до 0,61, в ельниках с 0,76 до 0,54, при этом причиной резкого снижения средней полноты в средневозрастных древостоях в сравнении с молодняками на 0,12 единицы могут выступать как хозяйственная деятельность, так и естественные причины.

Значительное снижение средней полноты наблюдается в дубняках, достигая к возрасту спелости менее 0,5, а в перестойных древостоях ниже 0,4. Таким образом, средняя полнота в дубовых лесах республики снижается на 41 %. Похожая картина складывается и в липняках, где средняя полнота уменьшается от 0,71 до 0,47 единицы. Меньше снижается полнота березняков и осинников, которая в спелых и перестойных насаждениях в среднем составляет 0,6–0,7 единицы. Причинами снижения полноты в большинстве случаев является промежуточное пользование, а также естественные причины.

Леса республики представлены преимущественно высокопроизводительными древостоями. Около 90 % сосняков представлены насаждениями I и выше класса бонитета, из них каждый третий гектар относится к Ib–Ia классу бонитета (рис. 4).

* Лесной план Республики Татарстан. – Казань: Министерство лесного хозяйства Республики Татарстан, 2008. – 278 с.

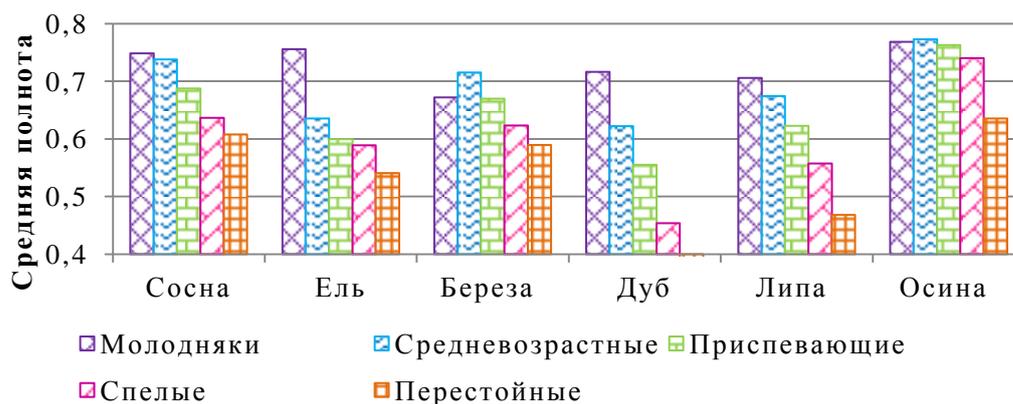


Рис. 3. Средняя полнота насаждений основных лесобразующих пород по группам возраста

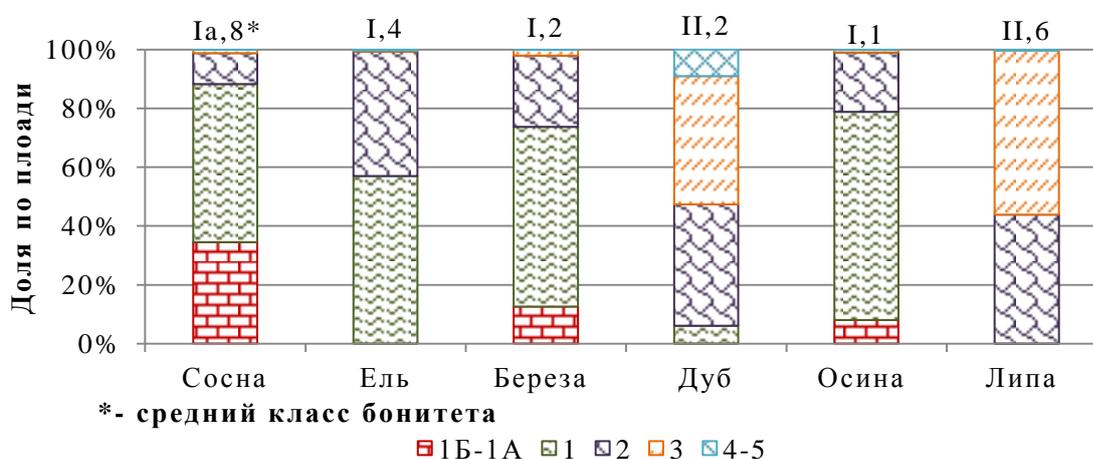


Рис. 4. Распределение по классам бонитета основных лесобразующих пород Республики Татарстан и их средний класс бонитета

Высокой производительностью характеризуются древостои берёзы и осины, доля площади древостоев I и выше классов бонитета составляет 72 и 78 % соответственно. Средний класс бонитета березняков составляет I, 2, осинников I, 1. Высокой производительностью отличаются ельники, в которых более половины представлены насаждениями I класса бонитета. Что касается древостоев дуба, то около половины площадей, занятых этой породой (45 %), протаксированы III классом бонитета, около 40 % – II и менее чем по 10 % приходится на насаждения I и IV, V классов бонитета. Дубовые леса республики произрастают в северной части ареала распространения, но, тем не менее, потенциал

этих насаждений высокий. Липняки республики представлены преимущественно древостоями III класса бонитета, их свыше 56 % от занимаемой ими площади, на долю более высокопроизводительных липняков II класса бонитета приходится около 43 % площади. Несмотря на низкий по сравнению с другими насаждениями класс бонитета, липняки республики отличаются высокой производительностью, средний класс бонитета II,6, в то время как насаждения с преобладанием липы в Среднем Поволжье имеют производительность III–IV класса бонитета [17].

Интенсификация лесопользования и истощение спелых лесов не могли не отразиться на происхождении лесов респуб-

лики. Так, по данным исследований Е. М. Романова и др., с 1942 по 2007 гг. не покрытые лесом площади в Республике Татарстан сократились в 12,2 раза, при этом большая роль в лесовосстановлении на этих землях принадлежит лесным культурам. Самые большие площади лесных культур были созданы в 1950–1990 гг. [18, 19]. История лесокультурного дела в республике насчитывает более 100 лет. Первые лесные культуры были созданы в конце позапрошлого века на территории современного Раифского участка Волжско-Камского заповедника [2]. Основной культивируемой древесной породой являлась сосна обыкновенная (рис. 5).

Так, при площади насаждений искусственного происхождения более 300 тыс. га свыше половины (53 %) приходится на

сосну обыкновенную, на искусственные ельники – 20 %, насаждения дуба – 18 %. Лесные культуры берёзы в основном представлены полезащитными и придорожными полосами с долей от площади лесных культур 6 %. Кроме аборигенных видов культивируются интродуценты, в том числе лиственница, на долю которой приходится около 6 тыс. га (2 %) и кедр сибирский общей площадью около 320 га [20]. Запас насаждений искусственного происхождения составляет 47,4 млн. м³, из них более 70 % приходится на лесные культуры сосны, доля ели и дуба по 11 %, а всех остальных пород не более 8 %.

Долевое участие имеет различия искусственных древостоев в лесном фонде Республики Татарстан по лесорастительным районам (рис. 6).

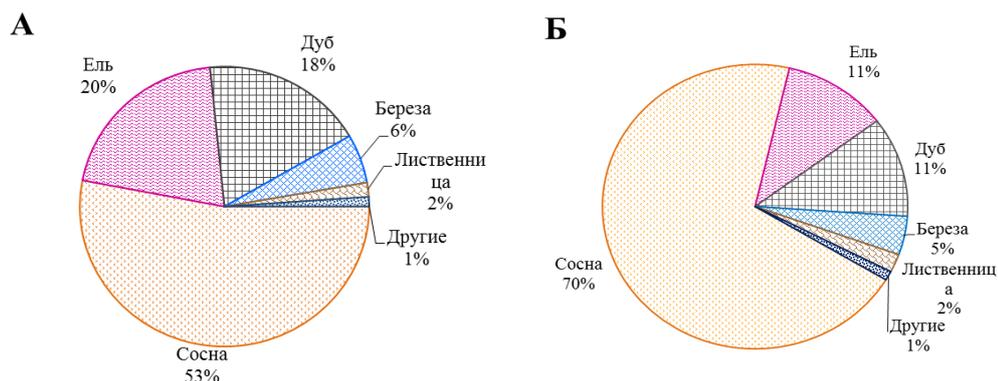


Рис. 5. Распределение искусственных насаждений республики по преобладающим породам (А – по площади, Б – по запасу)

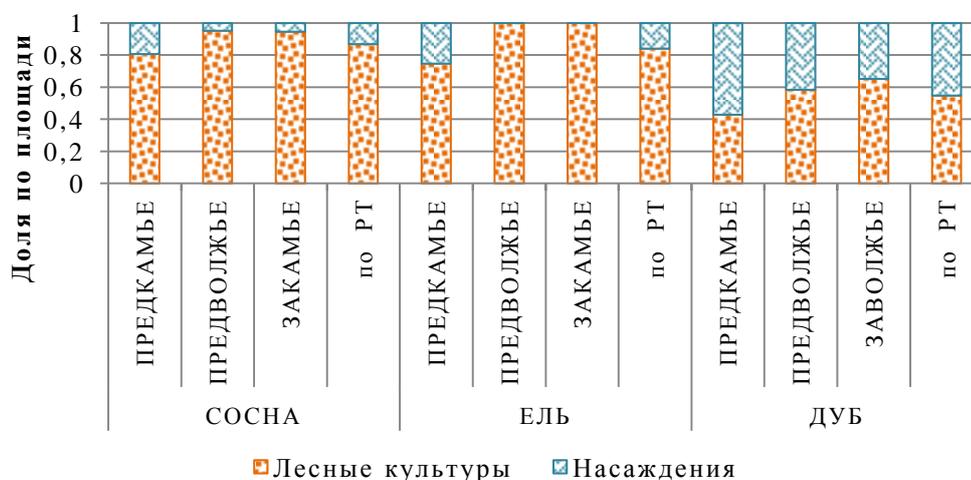


Рис. 6. Доля площади насаждений искусственного происхождения основных лесообразующих пород Республики Татарстан по лесорастительным зонам

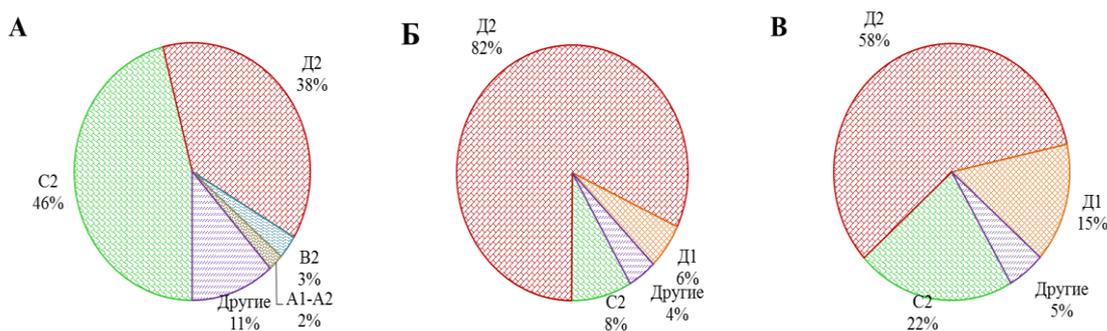


Рис. 7. Преобладающие типы лесорастительных условий в Республике Татарстан (по лесным районам: А – Предкамье, Б – Предволжье, В – Закамье)

Так, доля искусственных насаждений сосны, в зависимости от лесорастительного района, меняется от 81 % в Предкамье до 95 % в Предволжье, тогда как в среднем по республике искусственными являются 90 % сосняков. В среднем культуры ели составляют в республике 84 %. Ельники Предволжья и Закамья на 100 % представлены лесными культурами, 75 % ельников Предкамья – это лесные культуры. Из произрастающих дубовых древостоев республики 55 % представлены лесными культурами. При этом наибольшая доля лесных культур дуба отмечается в Заволжье (65 %), наименьшая в Предкамье (42 %). Если предпосылкой создания лесных культур сосны было обеспечение промышленности и населения сосновой древесиной, то восстановление еловых и дубовых насаждений проводилось из-за частого повреждения их болезнями и вредителями. Помимо этого, на участках сплошных рубок с богатыми почвами происходило возобновление со сменой пород на мягколиственные. Так, значительная доля типичных для сосняков лесорастительных условий (боры и субори различной влажности) присутствуют только в Предкамье площадью около 5 %, что составляет менее 20 тыс. га (рис. 7).

Почвы Республики Татарстан имеют преимущественно тяжелый гранулометрический состав. Глинистые и тяжелосуглинистые разновидности почв составляют 85,1 %, лишь в северной части региона распространены небольшие массивы су-

песчаных и песчаных почв, занимающих 2,5 % территории [21, 22]. Это, несомненно, определило типы лесорастительных условий лесов республики. Так, преобладающими являются свежие дубравы, их доля в зависимости от района составляет от 38 до 82 %. В таких ТЛУ естественного возобновления ели, а тем более сосны, ожидать долго, происходит смена пород. Таким образом, преобладание естественного восстановления основных лесобразующих пород было вызвано лесорастительными условиями.

В целом насаждения республики можно охарактеризовать как высокопродуктивные, здесь удачно произрастают и формируют насаждения 14 древесных пород. Они выполняют не только сырьевую функцию, но и важную экологическую роль. На долю защитных лесов приходится 42 % от всей площади лесов, при этом наибольшая часть приходится на почвозащитные леса лесостепных районов и противоэрозионных лесов, 22 и 10 % на зелёные зоны городских и сельских поселений*.

В связи с этим представляется актуальным изучение, кроме сырьевой, экологической роли лесов. При этом необходимо учитывать принятую «Стратегию развития лесного хозяйства Республики Татарстан», где говорится о необходимости создания защитных противоэрозионных лесов и придорожных лесных полос на

* Лесной план Республики Татарстан.

площади свыше 65 тыс. га*. Выполнение всех этих программ и мероприятий требует обоснования выбора древесных пород, способных выполнять все предъявляемые к насаждениям требования, как с хозяйственной, так и с экологической сторон.

Для определения сырьевых и экологических функций лесов были рассчитаны показатели общего запаса, фитомассы и депонирования углерода (табл.1).

Результаты расчётов показывают, что общая фитомасса стволовой древесины лесов республики составляет 98,9 млн. т. Около 80 % всей массы распределены между основными лесообразующими породами: липой (22,5 %), осиной (20,5 %), сосной (18,4 %) и берёзой (18,3 %). Доля фитомассы дуба составляет 13 %, при общем запасе углерода стволовой древесины не превышает 49,5 млн. т.

По оценке Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН из 500

млрд. т углерода, содержащегося во всей наземной биомассе, вклад российских лесов составляет 34 млрд.т. [23]. По предварительным расчётам, на долю лесов Республики Татарстан приходится 0,15 % всего бюджета углерода России, что при площади республики 0,14 % от площади РФ и лесистости 16,9 % является довольно значительным вкладом.

Для вычисления массы углерода, депонируемого в живой фитомассе лесов, был проведён расчёт ежегодного изменения запаса стволовой древесины по преобладающим породам. Используя повыведенную базу данных лесничеств Республики Татарстан, был рассчитан средний ежегодный прирост по породам и определён средний годичный прирост запаса. Произведение полученного числа на соответствующую площадь отражало годичный прирост стволовой древесины для каждой породы.

Таблица 1

Площадь, запас, фитомасса стволовой древесины и объём депонированного углерода в лесных насаждениях по преобладающим породам на землях государственного лесного фонда Республики Татарстан

| Древесная порода | Площадь, тыс. га | Общий запас, млн. м ³ | Общая фитомасса, млн. т | Запас углерода, млн. т |
|---------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Сосна | 190,3 | 39,99 | 18,23 | 9,12 |
| Ель | 82,7 | 8,37 | 3,81 | 1,91 |
| Пихта | 1,4 | 0,28 | 0,10 | 0,05 |
| Лиственница | 5,4 | 0,97 | 0,50 | 0,25 |
| Дуб высокоств. | 102,7 | 12,54 | 7,29 | 3,64 |
| Дуб низкоств. | 66,5 | 8,84 | 5,31 | 2,66 |
| Ясень | 0,3 | 0,03 | 0,02 | 0,01 |
| Клён | 19,7 | 1,61 | 0,98 | 0,49 |
| Вяз, ильм | 3,8 | 0,33 | 0,20 | 0,10 |
| Берёза | 201,1 | 32,50 | 18,10 | 9,05 |
| Осина | 239,9 | 38,83 | 20,33 | 10,16 |
| Ольха | 21,0 | 2,21 | 1,09 | 0,54 |
| Липа | 206,4 | 42,16 | 22,37 | 11,19 |
| Тополь | 3,0 | 0,44 | 0,22 | 0,11 |
| Ива | 13,0 | 0,72 | 0,37 | 0,18 |
| Всего по республике | 1157,2 | 189,8 | 98,92 | 49,46 |

* Стратегия развития лесного хозяйства Республики Татарстан. – Казань: Министерство лесного хозяйства Республики Татарстан, 2009. – 71 с.

Таблица 2

**Ежегодные объёмы среднего прироста стволовой древесины и депонирования углерода
в древостоях Республики Татарстан**

| Древесная порода | Прирост по запасу | | Прирост фитомассы | | Депонирование углерода | |
|---------------------|--------------------------|------------------------|-------------------|----------|------------------------|----------|
| | тыс. м ³ /год | м ³ /га*год | тыс. т/год | т/га*год | тыс. т/год | т/га*год |
| Сосна | 816,1 | 4,29 | 372,1 | 1,96 | 186,0 | 0,98 |
| Ель | 310,0 | 3,75 | 141,3 | 1,71 | 70,6 | 0,85 |
| Пихта | 4,2 | 2,99 | 1,6 | 1,12 | 0,8 | 0,56 |
| Лиственница | 27,7 | 5,13 | 14,2 | 2,62 | 7,1 | 1,31 |
| Дуб высокоств. | 241,2 | 2,35 | 140,1 | 1,36 | 70,1 | 0,68 |
| Дуб низкоств. | 155,1 | 2,33 | 93,2 | 1,40 | 46,6 | 0,70 |
| Ясень | 1,7 | 5,56 | 1,0 | 3,40 | 0,5 | 1,70 |
| Клён | 51,9 | 2,64 | 31,6 | 1,60 | 15,8 | 0,80 |
| Вяз, ильм | 7,9 | 2,07 | 4,7 | 1,23 | 2,3 | 0,62 |
| Берёза | 706,5 | 3,51 | 393,5 | 1,96 | 196,8 | 0,98 |
| Осина | 1109,4 | 4,62 | 580,7 | 2,42 | 290,4 | 1,21 |
| Ольха | 28,3 | 1,35 | 14,0 | 0,66 | 7,0 | 0,33 |
| Липа | 669,2 | 3,24 | 355,2 | 1,72 | 177,6 | 0,86 |
| Тополь | 15,2 | 5,06 | 7,5 | 2,51 | 3,8 | 1,26 |
| Ива | 51,4 | 3,96 | 26,2 | 2,02 | 13,1 | 1,01 |
| Всего по республике | 4195,8 | 3,63 | 2176,9 | 1,88 | 1088,4 | 0,94 |

Значения рассчитанного таким путём прироста применяли при вычислении фракций фитомассы и количества депонированного за год углерода (табл. 2), используя те же отношения массы фракций к запасу древостоев и коэффициенты перевода фитомассы в углерод, которые фигурировали при расчёте запасов углерода. Прирост депонирования углерода на 1 га рассчитывался через общую площадь, занимаемую породой, и общим депонированием углерода.

Наибольший общий средний периодический прирост запаса приходится на четыре основных лесообразующих породы. При этом наибольшими приростами на единицу площади свыше 5 м³/га*год отличаются древостои лиственницы, тополевого, ясеня. Меньшим приростом отличаются сосна, осина. Прирост берёзы, липы, ели, пихты и ивы варьирует в пределах 3–4 м³/га*год. Медленно растущие породы, такие как вяз, дуб, клён и ольха способны накапливать ежегодный прирост менее 3 м³/га*год.

Наибольшие значения прироста биомассы из расчёта на 1 га имеют лиственница, осина, сосна и ясень, наименьший –

ольха. Самые высокие общие приросты древесины у осины, сосны, берёзы, липы, дуба и ели. Их суммарный прирост составляет свыше 95 % от общего. Следовательно, на эти породы приходится наибольшее количество депонированного СО₂, при общем приросте углерода в лесах Татарстана 1,1 млн. т в год.

Заключение. При сравнительно небольшой лесистости Республики Татарстан 17,1 % леса играют важную экологическую и сырьевую роль; так, общий запас стволовой древесины составляет 192,1 млн. м³, а общая фитомасса – 98,9 млн. т. Высокая экологическая роль лесов в республике подтверждается депонированной ими массой углерода, которая составляет 49,46 млн. т. Расчёт ежегодного прироста и депонирования углерода показал, что каждый год леса республики связывают 1088,4 тыс. т углерода, их фитомасса возрастает на 20176,9 тыс. т, образуя свыше 4 млн. м³ стволовой древесины.

На преобладающих суглинистых и глинистых почвах по наибольшему приросту как углерода, так и фитомассы стволовой древесины наиболее перспек-

тивны для создания и формирования высокопроизводительных и устойчивых фитоценозов сосна обыкновенная, лиственница, осина, берёза. Они способствуют повышению экологической и ресурсной роли лесов, поэтому для создания быстрорастущих лесов будущего необходимо больший упор делать на восстановление и разведение данных пород. Их использование для восстановления площадей малопродуктивных земель (склоновых пастбищ, балок, оврагов, крутосклонов), подвергающихся водной и ветровой эрозии, площадь которых в республике составляет 600 тыс. га, позволит не только поднять лесистость не менее чем на 10 %, но и депонировать до 25 млн. т. углерода ежегодно в будущем, образуя при этом около 100 млн. м³ древесины в зависимости от культивируемой породы.

Таким образом, учитывая лесорастительные условия республики, следует отметить высокую экологическую и сырьевую роль лесов Татарстана, которые как возобновляемые ресурсы требуют своевременного, эффективного воспроизводства с экологической и экономической точек зрения. Определение наиболее перспективных древесных растений при лесовосстановлении позволит повысить продуктивность лесов как одной из составляющих устойчивого лесопользования не только на российском, но и международном уровнях. Решающая роль в этом вопросе принадлежит разработке и обоснованию технологий ускоренного целевого выращивания качественной древесины на основе мировых и российских научных достижений и многолетнего опыта искусственного восстановления лесов в республике.

Список литературы

1. *Лантев, М.* Материалы для географии и статистики, собранные офицерами Генерального штаба: в 8 т / М. Лантев / Казанская губерния. – СПб., 1861. – Т. 8. – 614 с.
2. *Гаянов, А.Г.* Леса и лесное хозяйство Татарстана / А.Г. Гаянов. – Казань: ГУП ПИК «Идел-Пресс», 2001. – 240 с.
3. *Демаков, Ю.П.* Обоснование выбора целевой древесной породы для создания энергетических плантаций в Предкамье Республики Татарстан / Ю.П. Демаков, А.С. Пуряев, Т.Ф. Мифтахов // Размножение лесных растений в культуре *in vitro* как основа плантационного лесовыращивания: Материалы международной научно-практ. конф. 24-27 сент. 2014 г. – Йошкар-Ола, 2014. – С. 49-56.
4. *Демаков, Ю.П.* Структура лесов Предкамья Республики Татарстан / Ю.П. Демаков, А.С. Пуряев // Научный журнал Кубанского аграрного университета. – № 104 (10). – 2014. – С. 1-13. <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/061.pdf>
5. *Демаков, Ю.П.* Динамика производительности древостоев в Предкамье Республики Татарстан / Ю.П. Демаков, А.С. Пуряев, Т.Ф. Мифтахов // Лес, лесной сектор и экология: Материалы Всероссийской научно-практ. конф. – Казань: КГАУ, 2015. – С. 38-44.
6. *Мифтахов, Т.Ф.* Ход роста лесных культур сосны в условиях свежих сураменей Арского лесничества Республики Татарстан / Т.Ф. Мифтахов // Лесное хозяйство России: состояние, проблемы, перспективы инновационного развития: Материалы Всероссийской научно-практ. конференции, посвященной 85-летию Восточно-европейской лесной опытной станции. – Казань: РИЦ, 2011.
7. *Нуреева, Т.В.* Таблица хода роста лесных культур сосны в условиях свежих сураменей западного Предкамья Республики Татарстан / Т.В. Нуреева, Т.Ф. Мифтахов // Лесовосстановление в Поволжье: состояние и пути совершенствования. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2013. – С. 92-98.
8. *Газеев, Н.Х.* Проблемы и перспективы развития лесного комплекса Республики Татарстан / Н.Х. Газеев // Леса, лесной сектор и экология Республики Татарстан: Материалы Всероссийской конференции. – Казань: Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина, 2006. – С. 61-64.
9. *Минниханов, Р.Н.* Динамика лесного фонда Республики Татарстан за последние 60-65 лет (с 1940 по 01.01.2006 г.) / Р.Н. Минниханов, А.Х. Газизуллин, В.Н. Гиззатуллин // Леса, лесной сектор и экология Республики Татарстан: Материалы Всероссийской конференции. – Казань: Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина, 2006. – С. 129-157.
10. *Кузнецов, Н.А.* Проблемы ведения хозяйства в дубравах Татарстана / Н.А. Кузнецов // Леса, лесной сектор Республики Татарстан: Сборник научных статей. – Казань: РИЦ «ШКОЛА», 2005. – Выпуск 1. – С. 104-108.

11. *Замолодчиков, Д.Г.* Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассы основных лесообразующих пород России / Д.Г. Замолодчиков, А.И. Уткин, О.В. Честных // Лесная таксация и лесоустройство. – 2003. – Т. 1, № 32. – С. 119-127.
12. *Кобак, К.И.* Биотические компоненты углеродного цикла / К.И. Кобак // Л: Гидрометеопиздат, 1988. – 248 с.
13. *Газизуллин, А.Х.* Проблема оздоровления осинников Республики Татарстан и пути ее решения / А.Х. Газизуллин, Г.А. Мубаракзянова, Р.И. Исмагилов и др. // Леса, лесной сектор и экология Республики Татарстан: Материалы Всероссийской конференции. – 2006. – С. 71-74.
14. *Алексеев, И.А.* Интегрированная система защиты леса / И.А. Алексеев, О.Н. Гусева, И.П. Куренкова, Е.Н. Чешуин. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2013. – 416 с.
15. *Газизуллин, А.Х.* Состояние березняков Возвышенного Заволжья Республики Татарстан после засухи 2010 года / А.Х. Газизуллин, И.К. Сунгатуллин // Вестник Казанского ГАУ. – 2014. – № 2 (32). – С. 99-103.
16. *Ахматович, Н.А.* Управление рисками в Республике Татарстан: вредители и болезни основных лесообразующих пород / Н.А. Ахматович, А.В. Селиховкин, Н.Г. Магдеев // ИВУЗ. Лесной журнал. – 2015. – № 1. – С. 21-34.
17. *Мурахтанов, Е. С.* Липа / Е.С. Мурахтанов. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 80 с.
18. *Романов, Е.М.* Перевод лесных культур в лесные плантации: целесообразность и лесоводственно-экономическая эффективность / Е.М. Романов, Н.В. Еремин, Т.В. Нуреева // Лесное хозяйство. – 2013. – № 3. – С. 30-33.
19. *Романов, Е.М.* Искусственное лесовосстановление в Среднем Поволжье: состояние и задачи по совершенствованию / Е.М. Романов, Н.В. Еремин, Т.В. Нуреева // Лесное хозяйство. – 2010. – № 6. – С. 5-19.
20. *Еремин, Н.В.* Лесные культуры. Часть 1: Сосна кедровая сибирская в Среднем Поволжье / Н.В. Еремин, А.А. Калегин, В.М. Михеев, С.Н. Бродников; под ред. Н.В. Еремина. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. – 144 с.
21. *Пуряев, А.С.* Защитные лесные насаждения и почвенно-экологические условия их произрастания / А.С. Пуряев, А.Х. Газизуллин. – Казань: Казанский университет, 2011. – 176 с.
22. *Газизуллин, А.Х.* Почвенно-экологические условия формирования лесов Среднего Поволжья: Почвы лесов Среднего Поволжья, их генезис, систематика и лесорастительные свойства: Научное издание / А.Х. Газизуллин. – Казань: РИЦ «Школа», 2005. – Т. 1. – 496 с.
23. *Филипчук, А. Н.* Вклад лесов России в углеродный баланс планеты / А.Н. Филипчук, Б.Н. Моисеев // Международная конференция «Парниковые газы - экологический ресурс России», 16 июня 2004 г. Голицыно. www.wwf.ru/data/publ_period/forest_mag6/02_2.pdf

Статья поступила в редакцию 14.05.15.

Информация об авторах

РОМАНОВ Евгений Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологий, ректор, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление. Автор 160 публикаций.

НУРЕЕВА Татьяна Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур, селекции и биотехнологий, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление и лесоразведение. Автор 53 публикаций.

МИФТАХОВ Тимур Фаридович – аспирант кафедры лесных культур, селекции и биотехнологий, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – плантационное лесовыращивание хвойных пород, воспроизводство лесных ресурсов. Автор 28 публикаций.

ПУРЯЕВ Айнура Султангалиевич – кандидат биологических наук, доцент, директор, филиал ФБУ ВНИИЛМ «Восточно-европейская лесная опытная станция». Область научных интересов – лесоведение, почвоведение. Автор 50 научных и научно-методических работ.

UDC 574.45: 630*228.9: 630*181.9

ECOLOGICAL AND RESOURCES ROLE OF FORESTS OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

E. M. Romanov¹, T. V. Nureeva¹, T. F. Miftakhov¹, A. S. Puryaev²

¹Volga State University of Technology,

3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation

E-mail: MiftakhovTF@volgatech.net

²Branch of VNIILM «Eastern-European Forest Experimental Station»,

40, Tovarishcheskaya St., Kazan, 420097, Russian Federation

E-mail: purjaew@rambler.ru

Keywords: Republic of Tatarstan; forest resources; structure; productivity; phytomass; carbon sequestration; rational forest management.

ABSTRACT

Introduction. The forests of the Republic of Tatarstan are exploited more than 300 years. During the period, forest cover has decreased from 51,2% to 17,1%. Thus, it is important for the region to have sustainable forest management enabling wildlife preservation and socio-economic functions conservation. The **goal** of this work is to study the structure of forests and their ecological functions, identifying perspective tree species of both economic and environmental purposes. Forests of the Republic of Tatarstan were chosen to be the **object** of study. **Methods** of the study included the following steps: forming of the stratum database of forestry and taxation characteristics; calculation of conversion factor stem volume to stem weight; calculation of the total biomass and carbon sequestration by tree species. The **results** of studies revealed that the dominant species in the forests of the republic were: aspen, linden, birch, pine, and oak (over 87%). According to the age structure, coniferous and hardwood crops are presented by sapling-pole and middle-aged stands, deciduous crops - mature and overmature stands. As a result of intensive forest management with intermediate thinning, mid-stand density of all tree species decreases with age. Forests of the Republic of Tatarstan are high-performance forests and they are presented by stands of I-II growth class, which proves richness of forest site type. Most forests are planted (80% - scots pine, 97% - spruce, 53% - oak). Volume stock of standing forest in the region is 189,8 million/m³, or 98.9 million tons, i.e. the forest keeps 49.5 million tons of carbon. Calculation of annual growth and carbon sequestration showed that each year the forests of the republic bind 1,1 million tons of carbon, their biomass increases by 2,18 million tons, forming more than 4 million m³ of stem wood. **Conclusion.** The most suitable tree species, which differ in rapid growth and accumulation of stem volume in terms of the Republic of Tatarstan may be Scots pine and Siberian larch (coniferous species), and birch, aspen and linden (deciduous species).

REFERENCES

1. Laptev M. Materialy dlya geografii i statistiki, sobrannye ofitserami Generalnogo shtaba: v 8 t. T.8. [Materials for Geography and Statistics, Collected by Officers of the General Staff: in 8 volumes. Vol. 8]. *Kazanskaya guberniya* [Kazan Province]. Saint-Petersburg, 1861. 614 p.
2. Gayanov A.G. *Les i lesnoe khozyaystvo Tatarstana* [Forest and Forestry in the Republic of Tatarstan]. Kazan: GUP PIK «Idel-Press», 2001. 240 p.
3. Demakov Yu.P., Puryaev A.S., Miftakhov T.F. Obosnovanie vybora tselevoy drevesnoy porody dlya sozdaniya energeticheskikh plantatsiy v Predkame Respubliki Tatarstan [Substantiation of the Choice of Target Tree Species to Create Energy Plantations in the Close to the Kama Region of the Republic of Tatarstan]. *Razmnozhenie lesnykh rasteniy v kulture in vitro kak osnova plantatsionnogo lesovyrashchivaniya: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakt. konf. 24-27 sent. 2014 g* [Forest Plants Reproduction in Vitro as the Basis for Artificial Forest Cultivation: proceedings of International research and practical conference (September, 24-27 2014)]. Yoshkar-Ola, 2014. Pp. 49-56.
4. Demakov Yu.P., Puryaev A.S. Struktura lesov Predkama Respubliki Tatarstan [The Structure of the Forests in the Close to the Kama River Region of the Republic of Tatarstan]. *Nauchnyy zhurnal Kubanskogo agrarnogo universiteta* [Academic periodical of the Kuban Agrarian University]. №104 (10), 2014. Pp. 1-13. <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/061.pdf>
5. Demakov Yu.P., Puryaev A.S., Miftakhov T.F. Dinamika proizvoditelnosti drevostoev v

Predkame Respubliki Tatarstan [Dynamics of the Stands Productivity in the Close to the Kama River Region of the Republic of Tatarstan]. *Les, lesnoy sektor i ekologiya: materialy Vseross. nauchno-prakt. konf.* [Forest, Forest Sector and Ecology: proceedings of All-Russian research and practical conference]. Kazan: KGAU, 2015. Pp. 38-44.

6. Miftakhov T.F. Khod rosta lesnykh kultur sosny v usloviyakh svezhikh surameney Arskogo lesnichestva Respubliki Tatarstan [Pine Plantations Development in Fresh Suramens of Arskoe Forestry of the Republic of Tatarstan]. *Lesnoe khozyaystvo Rossii: sostoyanie, problemy, perspektivy innovatsionnogo razvitiya: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 85-letiu Vostochno-evropeyskoy lesnoy opytnoy stantsii* [Russian Forestry: Present-Day Condition, Problems, Perspectives for Innovation Development. Proceedings of All-Russian research and practical conference devoted to 85 anniversary of Eastern-European Forest Experimental Station]. Kazan: RITS, 2011.

7. Nureeva T.V., Miftakhov T.F. Tablitsa khoda rosta lesnykh kultur sosny v usloviyakh svezhikh surameney zapadnogo Predkamya Respubliki Tatarstan [Table of Pine Plantations Development in Fresh Suramen of Western Part of the Republic of Tatarstan]. *Lesovosstanovlenie v Povolzhe: sostoyanie i puti sovershenstvovaniya* [Forest Restoration in the Middle Volga Region: Present-Day Condition and Ways for Improvement]. Yoshkar-Ola: Povolzhskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet, 2013. Pp. 92-98

8. Gazeev N.Kh. Problemy i perspektivy razvitiya lesnogo kompleksa Respubliki Tatarstan [Problems and Perspectives for Development of Tatar Forest Sector]. *Les, lesnoy sektor i ekologiya Respubliki Tatarstan: materialy Vserossiyskoy konferentsii* [Forests, Forest Sector and Ecology of the Republic of Tatarstan: proceedings of All-Russian Conference]. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy universitet im. V.I. Ulyanova-Lenina, 2006. Pp. 61-64.

9. Minnikhanov R.N., Gazullin A.Kh., Gizzatullin V.N. Dinamika lesnogo fonda Respubliki Tatarstan za poslednie 60-65 let (s 1940 po 01.01.2006 g.) [Tatar Forests Dynamics for the Last 60-65 Years (1940 01.01.2006)]. *Les, lesnoy sektor i ekologiya Respubliki Tatarstan: materialy Vserossiyskoy konferentsii* [Forests, Forest Sector and Ecology of the Republic of Tatarstan: proceedings of All-Russian Conference]. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy universitet im. V.I. Ulyanova-Lenina, 2006. Pp. 129-157.

10. Kuznetsov N.A. Problemy vedeniya khozyaystva v dubravakh Tatarstana [Problems of Forest Management for Oak Groves in the Republic of Tatarstan]. *Les, lesnoy sektor Respubliki Tatarstan: sbornik nauchnykh statey* [Forests, Forest Sector of the Republic of Tatarstan: collected papers]. Kazan: RITS «SHKOLA», 2005. Iss. 1. Pp. 104-108.

11. Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Chestnykh O.V. Koeffitsienty konversii zapasov nasazhdeniy v fitomassy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Rossii [Conversion Factors of Stocks in Plantings in Phytomass of the Major Tree Species of Russia]. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest Taxation and Forest Surveying]. 2003. Vol. 1, № 32. Pp. 119-127.

12. Kobak K.I. *Bioticheskie komponenty uglerodnogo tsikla* [Biotic Components of the Carbon Cycle]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988. 248 p.

13. Gazizullin A.Kh., Mubarakzyanova G.A., Ismagilov R.I., et al. Problema ozdorovleniya osinnikov Respubliki Tatarstan i puti ee resheniya [Problems of Aspen Forests Restoration in the Republic of Tatarstan and Possible Solutions]. *Les, lesnoy sektor i ekologiya Respublik Tatarstan: materialy Vserossiyskoy konferentsii* [Forests, Forest Sector and Ecology of the Republic of Tatarstan: proceedings of All-Russian Conference]. 2006. Pp. 71-74.

14. Alekseev I.A., Kurenkova I.P., Cheshuina E.N. *Integrirovannaya sistema zashchity lesa* [Integrated System of Forest Protection]. Yoshkar-Ola: Mariyskiy gosudarstvennyy universitet, 2013. 416 p.

15. Gazizullin A.Kh., Sungatullin I.K. Sostoyanie bereznyakov Vozvyshennogo Zavolzhya Respubliki Tatarstan posle zasukhi 2010 goda [Birch Groves Condition in Upper Trans-Volga Region (Tatarstan) after 2010 Drought]. *Vestnik Kazanskogo GAU* [Vestnik of Kazan State Agrarian University]. 2014. № 2 (32). Pp. 99-103.

16. Akhmatovich N.A., Selikhovkin A.V., Magdeev N.G. *Upravlenie riskami v Respublike Tatarstan: vrediteli i bolezni osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod* [Risk Management in the Republic of Tatarstan: Pests and Deceases of Major Forest Species]. *IVUZ. Lesnoy zhurnal* [IVUZ. Forest journal]. 2015. № 1. Pp. 21-34.

17. Murakhtanov E. S. Lipa [Linden]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1981. 80 p.

18. Romanov E.M., Eremin N.V., Nureeva T.V. *Perevod lesnykh kultur v lesnye plantatsii: tselesobraznost i lesovodstvenno-ekonomicheskaya effektivnost* [Transition of Artificial Crops into Plantations: Expedience and Economic Efficiency]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 2013. № 3. Pp. 30-33.

19. Romanov E.M., Eremin N.V., Nureeva T.V. *Iskusstvennoe lesovosstanovlenie v Srednem Povolzhe: sostoyanie i zadachi po sovershenstvovaniyu* [Artificial Forest Restoration in the Middle Volga Region: Present-Day Condition and Tasks for Improvement]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 2010. № 6. Pp. 5-19.

20. Eremin N.V., Kalegin A.A., Mikheev S.N. *Lesnye kultury. Chast 1: Sosna kedrovaya sibirskaya v Srednem Povolzhe; pod red. N.V. Eremina* [Plantations. Part 1: Siberian Stone Pine in the Middle Volga Region; under the editorship of N.V. Eremin.]. Yoshkar-Ola: PGTU, 2014. 144 p.

21. Puryaev A.S., Gazizullin A.Kh. *Zashchitnye lesnye nasazhdeniya i pochvenno-ekologicheskie usloviya ikh proizrastaniya* [Protective Forest Plantation and Soil-Ecological Conditions for Cultivation.]. Kazan: Kazanskiy universitet, 2011. 176 p.

22. Gazizullin A.Kh. *Pochvenno-ekologicheskie usloviya formirovaniya lesov Srednego Povolzhya: pochvy lesov Srednego Povolzhya, ikh genezis, sistematika i lesorastitelnye svoystva: nauchnoe izdanie A.H. Gazizullin* [Soil-Ecological Conditions for Formation of the Forests of the Middle Volga Region: Soils of the

Middle Volga Region Forests, Genesis, Systematics and Forest Growth Conditions: scientific publication]. Kazan: RITS «Shkola», 2005. Vol. 1. 496 p.

23. Filipchuk A. N., Moiseev B.N. *Vklad lesov Rossii v uglerodnyy balans planety* [Russian Forests Contribution into the Carbon Balance of the Earth]. *Mezhdunarodnaya konferentsiya «Parnikovye gazy - ekologicheskiy resurs Rossii», 16 iunya 2004 g. Golitsyno* [International conference «Greenhouse Gases - Russian Ecological Resource», June, 16 2004 (Golitsino)]. www.wwf.ru/data/publ_period/forest_mag6/02_2.pdf

The article was received 14.05.15.

Citation for an article: Romanov E. M., Nureeva T. V., Miftakhov T. F., Puryaev A. S. Ecological and resources role of forests of the Republic of Tatarstan. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2015. No 2 (26). Pp. 5-18.

Information about the authors

ROMANOV Evgeny Mikhaylovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Chair for Forest Plantations, Selection and Biotechnology, Rector, Volga State University of Technology. Research interests – artificial forest regeneration. The author of 160 publications.

NUREEVA Tatiana Vladimirovna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair for Forest Plantations, Selection and Biotechnology, Volga State University of Technology. Research interests – artificial forest regeneration, forest cultivation. The author of 53 publications.

MIFTAKHOV Timur Faridovich – Postgraduate student at the Chair for Forest Plantations, Selection and Biotechnology, Volga State University of Technology. Research interests – planted forest cultivation (coniferous species), forest resources reproduction. The author of 28 publications.

PURYAEV Ainur Sultangaliyevich – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Director, Branch of VNIILM «Eastern-European Forest Experimental Station». Research interests – forest cultivation, pedology. The author of 50 scientific and scientific and methodological works.

УДК 630*52

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЛОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФИТОМАССЫ РАЗЛИЧНЫХ ФРАКЦИЙ ДЕРЕВЬЕВ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ИХ ДИНАМИКИ

Ю. П. Демаков¹, А. С. Пуряев², В. Л. Черных¹, Л. В. Черных¹

¹Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: DemakovYP@volgatech.net, ChernyhVL@volgatech.net

²Восточно-европейская лесная опытная станция ВНИИЛМ,
Российская Федерация, 420097, Казань, ул. Товарищеская, 40
E-mail: purjaew@rambler.ru

Проведён краткий обзор литературы по использованию аллометрических функций для оценки фитомассы различных фракций деревьев, в которых предикторами являются их высота и диаметр. На основе существующих таблиц биопродуктивности вычислены параметры этих функций для деревьев основных лесобразующих пород. Приведены примеры использования полученных математических моделей для познания закономерностей накопления биомассы деревьями разных пород и оценки эффективности использования ими ресурсов среды в процессе роста в пределах одного типа лесорастительных условий.

Ключевые слова: деревья; объём ствола; фитомасса дерева; фракционный состав; аллометрия; математические модели; имитационное моделирование.

Введение. Леса – один из важнейших природных возобновляемых ресурсов России, гарант её экономической, экологической и энергетической безопасности [1], обеспечивающий устойчивое развитие многих отраслей промышленности и сельского хозяйства, а также сохранение благоприятной среды для проживания населения. Задача рационального использования их эколого-ресурсного потенциала была и остаётся актуальной в научном и практическом аспектах. Её решение во многом зависит от качества и полноты справочно-нормативных лесотаксационных материалов, содержащих всю необходимую информацию, доступную для широкого круга специалистов и представленную в удобной для работы форме. Особенно остро встал вопрос о создании справочно-нормативной базы данных в настоящее время в связи с необходимостью оценки фитомассы всех компонентов лес-

ных фитоценозов и различных фракций древостоя, а не только запаса стволовой древесины, как было принято прежде. В этой информации нуждаются не только производители, которая необходима им для повышения эффективности использования эколого-ресурсного потенциала лесов, но и учёные для более глубокого познания закономерностей развития биогеоценозов и роли их в поддержании устойчивости климата планеты [2–8].

Работу по созданию в России справочно-нормативной базы по биологической продуктивности лесов сейчас успешно ведут различные коллективы учёных, результаты исследований которых отражены в многочисленных публикациях [2–4, 6, 7, 9–17]. Её, однако, нельзя считать полностью завершённой, что связано с большим разнообразием породного состава лесов и характера их развития в разных регионах страны, обусловленного специ-

© Демаков Ю. П., Пуряев А. С., Черных В. Л., Черных Л. В., 2015.

Для цитирования: Демаков Ю. П., Пуряев А. С., Черных В. Л., Черных Л. В. Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 2 (26). – С. 19-36.

фикой климатических и почвенно-экологических условий в них. Для успешного решения задачи необходимо обобщить всю имеющуюся информацию и разработать эмпирические математические модели, наилучшим образом описывающие зависимость параметров биопродуктивности от наиболее типичных и простых таксационных показателей деревьев или древостоев. Математические модели выступают при этом не только как средство описания конкретных эмпирических данных, позволяя оценивать значения функции при заданных значениях аргументов, но и как метод познания анализируемых объектов или явлений [18]. При разработке математических моделей всегда нужно стремиться к максимально возможному их упрощению, даже жертвуя в некоторых случаях небольшой потерей точности оценки. Чем сложнее модель, тем меньше её возможности для объяснения сути анализируемого процесса или объекта, тем меньше вероятность её использования на практике.

Существующие подходы к решению задачи. Исследователи давно отметили, что у различных видов организмов существует тесная связь между размерами особей и их отдельных частей (закон структурной корреляции Ж. Кювье), хорошо описываемая аллометрической функцией $Y = a \cdot X^b$, в которой X может обозначать размер или массу какого-то одного из органов особи данного вида, а Y – размер или массу другого её органа или же всей особи. Параметр a отображает здесь начальную скорость (импульс движения) независимой переменной, а параметр b – её ускорение в ходе дальнейшего изменения. Аллометрическая функция может отображать зависимость размера не только одного органа от другого, но и также зависимость размера одного органа от двух или трёх других, что несколько усложняет её вид, но не меняет его принципиально.

Аллометрические зависимости между размерами органов растений давно ис-

пользуются исследователями для оценки фитомассы различных их фракций [19–30]. Для оценки объёма дерева и фитомассы его отдельных фракций используют, как показывает анализ литературных источников [3, 4, 9, 15, 23, 29–33], следующие аллометрические зависимости $Y = a \cdot h^b$, $Y = a \cdot d^b$, $Y = a \cdot d \cdot h^b$, $Y = a \cdot d^2 \cdot h^b$, $Y = a \cdot (d^2 \cdot h)^b$ и $Y = a \cdot h^b \cdot d^c$, в которых h – высота дерева, d – диаметр ствола на высоте 1,3 м. Нами было установлено [7], что в сомкнутых однопородных и разновозрастных насаждениях существует тесная зависимость запаса стволовой древесины и фитомассы различных фракций древостоя от его средней высоты, описываемая степенной функцией $M = \alpha \cdot H^\beta$.

Для повышения точности оценки исследователи иногда добавляют к данному набору параметров ещё протяжённость кроны, густоту и возраст древостоев. Усложнение математических моделей не даёт, однако, в большинстве случаев положительного эффекта [31]. Это обусловлено, на наш взгляд, наличием тесной связи между независимыми переменными, приводящей к возрастанию неопределённости оценок величины коэффициентов регрессии и неустойчивости решений уравнений.

Использование тесно сопряжённых между собой независимых переменных в регрессионном анализе недопустимо, так как точки их значений не рассеяны в выбранном пространстве анализируемых признаков, образуют своеобразный жгут. В результате могут возникнуть ошибки в вычислении коэффициентов регрессии и они заведомо будут неадекватно отражать реальную действительность. Так, к примеру, в работе [9] значения абсолютно сухой массы фракций деревьев авторы оценивают по функции $M = a \cdot d^b \cdot h^c$, коэффициент c которой в ряде случаев имеет отрицательное значение. Такого в принципе быть не должно, поскольку это указывает на обратную зависимость искомого параметра от высоты дерева, т. е. чем выше

дерево, тем меньше у него абсолютная величина фитомассы искомой фракции. Следует также отметить, что каждый исследователь проводил расчёт параметров регрессионных уравнений на своём эмпирическом материале, что обусловило, естественно, несовпадение результатов, дополнительное влияние на которые оказывали методы и средства вычислений.

Цель работы – разработка эмпирических математических моделей, наилучшим образом описывающих зависимость объёма ствола и фитомассы различных фракций деревьев от их высоты и диаметра.

Материал и методика. Исходным материалом для расчётов, проведённых на ПК с использованием прикладных программ и стандартных методов математической статистики, служили таблицы динамики биологической продуктивности древостоев основных лесобразующих пород России, представленные в капитальной монографии В.А. Усольцева [15], в которой обобщён труд многих исследователей.

Результаты и их обсуждение. Выбор высоты и диаметра деревьев в качестве основных предикторов, определяющих объём ствола и фитомассу их различных фракций, сделан нами не случайно. Он обусловлен тем, что эти параметры деревьев не только наиболее просты в оценке и являются основными при проведении таксации леса, но и отражают условия среды, изменяясь с возрастом сообразно складывающейся биоценотической обстановке таким образом, чтобы оптимизировать протекание физиологических процессов и поддерживать свою жизнеспособность [34]. Поскольку эти два параметра тесно связаны между собой, изменяясь в процессе роста дерева в основном сопряжённо, то использовать их совместно в регрессионных уравнениях допустимо лишь в том случае, если коэффициент регрессии одного из них жёстко зафиксировать, снизив тем самым число степеней свободы и неопределённость оценки.

Проведённые нами расчёты показали, что наилучшую аппроксимацию исходных данных по объёму и абсолютно сухой массе ствола, а также общей и надземной фитомассе дерева, его коры и ветвей обеспечивает двухпараметрическая аллометрическая функция $Y = a \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$, объясняющая более 99 % общей дисперсии значений зависимых переменных. Фитомассу же их ассимиляционного аппарата (листья или хвои) и корней определяет только диаметр ствола, что подтверждают также данные других исследователей [35, 36]. Аллометрическая функция в этом случае имеет такой вид $Y = a \cdot (d + 1)^b$. Прибавление единицы к значению диаметра дерева обусловлено необходимостью коррекции получаемых оценок в том случае, когда величина этого таксационного параметра приближается к нулю (измерение диаметра ствола деревьев проводят, как известно, на высоте 1,3 м от поверхности почвы). Следует отметить, что эти уравнения, в которых расчёт показателей производится напрямую без использования видового числа и конверсионно-объёмных коэффициентов, имеют значительные преимущества перед традиционно используемыми в лесной таксации моделями, позволяя повысить корректность и точность оценки объёма ствола и фитомассы различных фракций деревьев.

Расчёты показали, что значения параметров полученных регрессионных уравнений сугубо специфичны у каждой древесной породы (табл. 1), исходя из особенностей их биологии и требовательности к условиям среды. Так, в уравнениях объёма ствола, общей и надземной фитомассы деревьев, массы ствола, коры и ветвей наибольшую величину параметра a , отображающего начальную величину импульса движения в ходе увеличения высоты дерева, имеет дуб, а наименьшую – ольха чёрная. В уравнениях фитомассы ассимиляционного аппарата деревьев самое высокое значение этого параметра у лиственницы, а самое низкое – у берёзы.

В уравнениях же фитомассы корней деревьев первое место по величине параметра a занимает липа, а последнее – пихта. Наиболее высокие значения параметра b , характеризующего изменение скорости движения (ускорения) зависимой переменной по мере возрастания величины предиктора, почти во всех уравнениях, кроме уравнений, отображающих фитомассу коры и листвы, имеет ольха чёрная, а самые низкие – сосна. Наиболее схожи между собой по величине параметров всего набора аллометрических уравнений ель и пихта, а наименьшее сходство со всеми другими

породами имеет ольха чёрная (табл. 2). Сосна по этим признакам более всего схожа с елью, лиственница – с берёзой, а липа – с дубом. Наибольшие различия между породами по величине параметра a отмечаются в уравнениях фитомассы листвы и корней как основных органов обеспечения их жизнедеятельности, а по значениям параметра b в уравнениях фитомассы коры и ветвей. Породы деревьев меньше всего различаются между собой по значениям параметров в уравнениях, оценивающих наиболее инертные показатели – объём ствола и общую фитомассу.

Таблица 1

Параметры уравнений объёма ствола и фитомассы различных фракций деревьев

| Параметр уравнения | Значения параметров уравнений для различных пород деревьев | | | | | | | | |
|--|--|-------|-------|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | сосны | ели | пихты | лиственницы | берёзы | осины | липы | дуба | ольхи |
| Объём ствола дерева, $V = a \cdot 10^{-5} \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$, м ³ | | | | | | | | | |
| a | 5,180 | 3,583 | 3,861 | 3,936 | 3,551 | 2,997 | 4,591 | 6,849 | 2,407 |
| b | 0,868 | 0,992 | 0,943 | 0,969 | 0,967 | 1,036 | 0,910 | 0,809 | 1,124 |
| Общая абсолютно сухая масса дерева, $M = a \cdot 10^{-2} \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$, м ³ | | | | | | | | | |
| a | 4,906 | 3,410 | 3,331 | 4,591 | 3,381 | 3,262 | 4,775 | 6,011 | 2,043 |
| b | 0,743 | 0,841 | 0,805 | 0,873 | 0,858 | 0,855 | 0,770 | 0,776 | 1,038 |
| Надземная фитомасса дерева с листвой (хвоей), $M = a \cdot 10^{-2} \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$, кг | | | | | | | | | |
| a | 3,300 | 2,602 | 2,834 | 2,442 | 2,182 | 2,044 | 2,500 | 5,110 | 1,573 |
| b | 0,794 | 0,869 | 0,812 | 0,998 | 0,948 | 0,935 | 0,916 | 0,808 | 1,048 |
| Фитомасса ствола дерева без коры, $M = a \cdot 10^{-2} \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$, кг | | | | | | | | | |
| a | 2,013 | 1,368 | 1,359 | 1,519 | 1,342 | 1,137 | 1,700 | 2,744 | 1,000 |
| b | 0,891 | 0,992 | 0,941 | 1,077 | 1,018 | 1,033 | 0,929 | 0,886 | 1,112 |
| Фитомасса коры, $M = a \cdot 10^{-3} \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$, кг | | | | | | | | | |
| a | 9,983 | 4,551 | 4,912 | 6,244 | 5,793 | 5,437 | 2,168 | 10,71 | 4,664 |
| b | 0,270 | 0,527 | 0,582 | 0,630 | 0,629 | 0,698 | 1,084 | 0,528 | 0,696 |
| Фитомасса ветвей, $M = a \cdot 10^{-3} \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$, кг | | | | | | | | | |
| a | 9,608 | 8,090 | 7,720 | 4,702 | 3,035 | 5,445 | 6,427 | 14,36 | 1,365 |
| b | 0,415 | 0,509 | 0,565 | 0,811 | 0,886 | 0,620 | 0,707 | 0,715 | 1,106 |
| Фитомасса ассимиляционного аппарата дерева (листвы / хвои), $M = a \cdot 10^{-3} \cdot (d + 1)^b$, кг | | | | | | | | | |
| a | 22,31 | 18,54 | 16,59 | 72,53 | 5,820 | 9,567 | 36,52 | 17,73 | 7,396 |
| b | 1,777 | 2,109 | 2,134 | 1,395 | 2,160 | 1,853 | 1,462 | 1,873 | 2,004 |
| Фитомасса корней дерева, $M = a \cdot 10^{-3} \cdot (d + 1)^b$, кг | | | | | | | | | |
| a | 20,86 | 11,97 | 8,906 | 30,24 | 34,60 | 27,99 | 153,8 | 29,03 | 11,12 |
| b | 2,484 | 2,568 | 2,528 | 2,460 | 2,225 | 2,372 | 1,862 | 2,106 | 2,668 |

Примечание: h – высота дерева, м; d – диаметр ствола на высоте 1,3 м, см; степень достоверности всех уравнений очень высокая ($p < 0,01$).

Таблица 2

Матрица коэффициентов сходства пород деревьев по параметрам аллометрических уравнений

| Порода | Значение коэффициента сходства Жаккара между различными породами деревьев | | | | | | | |
|--------------|---|-------|-------|-------------|--------|-------|-------|-------|
| | сосны | ели | пихты | лиственницы | берёзы | осины | липы | дуба |
| Сосна | 1,000 | | | | | | | |
| Ель | 0,761 | 1,000 | | | | | | |
| Пихта | 0,739 | 0,941 | 1,000 | | | | | |
| Лиственница | 0,593 | 0,686 | 0,705 | 1,000 | | | | |
| Берёза | 0,541 | 0,629 | 0,644 | 0,746 | 1,000 | | | |
| Осина | 0,522 | 0,607 | 0,621 | 0,694 | 0,874 | 1,000 | | |
| Липа | 0,419 | 0,472 | 0,481 | 0,522 | 0,567 | 0,611 | 1,000 | |
| Дуб | 0,376 | 0,398 | 0,401 | 0,423 | 0,453 | 0,481 | 0,567 | 1,000 |
| Ольха чёрная | 0,333 | 0,354 | 0,356 | 0,361 | 0,384 | 0,388 | 0,392 | 0,514 |

Результаты проделанной нами работы могут быть использованы не только для детальной оценки эколого-ресурсного потенциала лесов в конкретных лесничествах, административных или физико-географических районах по данным пробных площадей или таксационных описаний насаждений, но и, главным образом, в исследовательских целях для выявления закономерностей развития деревьев и древостоев в целом. Это положение мы хотим проиллюстрировать на примере древостоев Предкамья Республики Татарстан, произрастающих в ТЛУ D₂, для которых на основе выделенной базы данных были выявлены за-

кономерности динамики основных таксационных параметров (табл. 3). При анализе исходного материала было установлено, что характер роста у всех пород существенно специфичен (рис. 1–3), в результате чего ранговое положение деревьев по их размерам и массе не остаётся постоянным в разные периоды времени. Так, к примеру, в возрасте 80 лет лидером по объёму и массе ствола среднего дерева является интродуцированная в этот регион лиственница. Следом за ней в ранговом ряду располагаются аборигенные породы деревьев: осина, берёза и сосна. Медленнее всего увеличиваются с возрастом эти показатели у деревьев липы.

Таблица 3

Параметры уравнений динамики таксационных показателей древостоев в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

| Параметр уравнения | Значения параметров уравнений для древостоев различных пород | | | | | | |
|---|--|-------|-------------|--------|-------|-------|-------|
| | сосны | ели | лиственницы | берёзы | осины | липы | дуба |
| Средняя высота деревьев, $H = K \cdot [1 - \exp(-a \cdot 10^{-3} \cdot A)]^b$, м | | | | | | | |
| K | 34,1 | 29,5 | 36,0 | 29,8 | 28,5 | 25,7 | 26,7 |
| a | 25,59 | 23,19 | 21,78 | 35,40 | 34,78 | 25,80 | 26,37 |
| b | 1,321 | 1,552 | 1,169 | 1,258 | 1,220 | 1,096 | 1,679 |
| R ² | 0,997 | 0,996 | 0,994 | 0,988 | 0,997 | 0,997 | 0,992 |
| Средний диаметр деревьев, $D = a \cdot A^b$, см | | | | | | | |
| a | 1,434 | 0,534 | 0,957 | 1,212 | 0,803 | 0,819 | 0,443 |
| b | 0,707 | 0,909 | 0,821 | 0,759 | 0,857 | 0,802 | 0,958 |
| R ² | 0,963 | 0,976 | 0,969 | 0,975 | 0,993 | 0,996 | 0,980 |
| Средний запас древостоев, $M = a \cdot A^{b-1} \cdot \exp(-c \cdot 10^{-5} \cdot A^b)$, м ³ | | | | | | | |
| a | 4,418 | 3,314 | 8,613 | 3,034 | 2,812 | 2,348 | 2,514 |
| b | 2,111 | 2,047 | 1,900 | 2,124 | 2,206 | 2,162 | 2,046 |
| c | 4,708 | 4,213 | 2,916 | 4,818 | 5,470 | 3,349 | 5,234 |
| R ² | 0,981 | 0,924 | 0,962 | 0,926 | 0,975 | 0,993 | 0,962 |

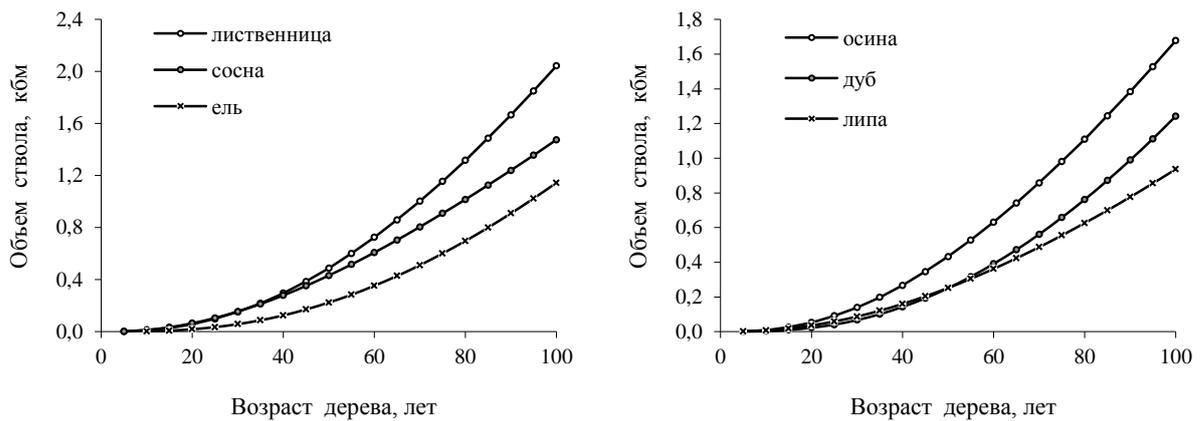


Рис. 1. Закономерности изменения объема ствола деревьев различных пород с их возрастом

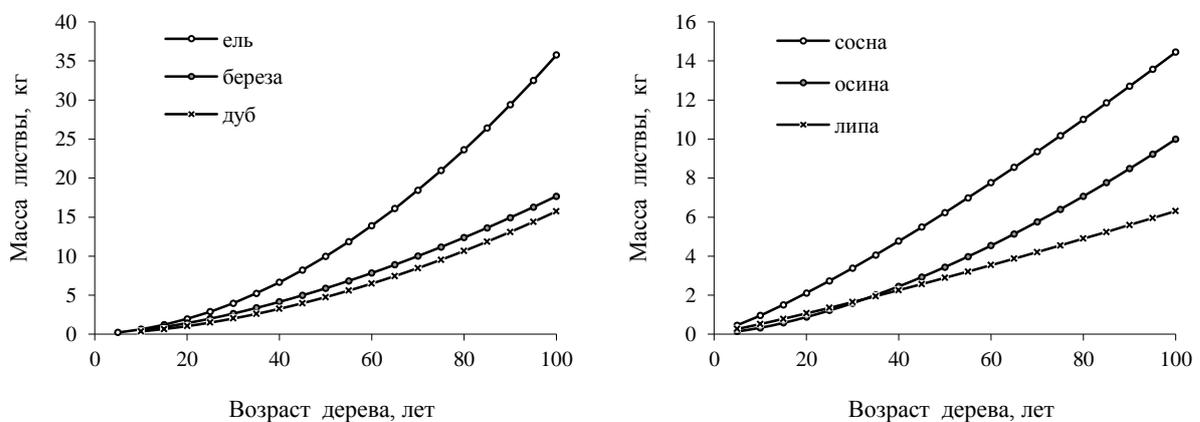


Рис. 2. Закономерности динамики фитомассы ассимиляционного аппарата у деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

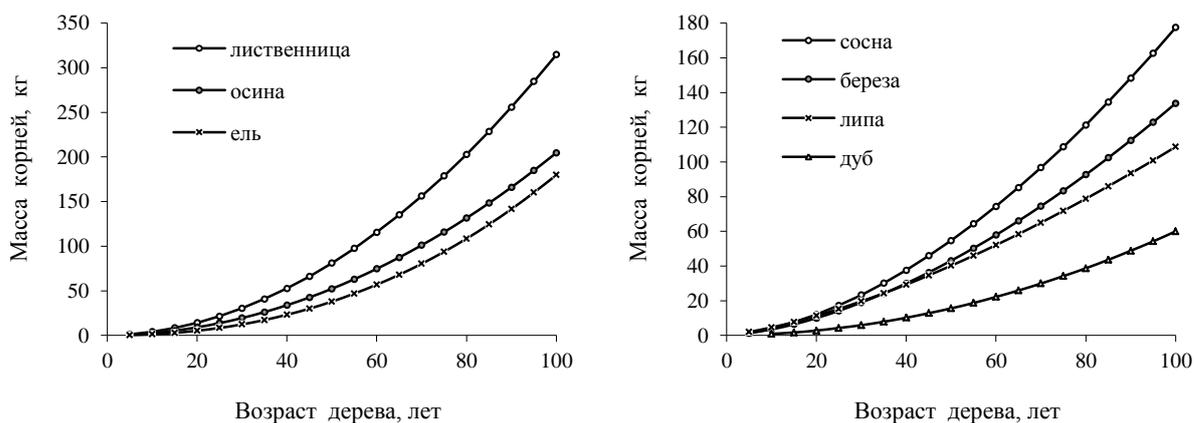


Рис. 3. Закономерности динамики фитомассы корней у деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

Полученные нами аллометрические уравнения позволяют не только оценить динамику накопления фитомассы, но и выявить при имитационном моделирова-

нии ряд важных закономерностей развития деревьев, выражающихся в изменении годичного прироста различных их фракций и пропорций между ними. Результаты

расчётов оказались во многом неожиданными. Так, к примеру, было установлено, что доля массы ветвей в общей фитомассе дерева слабо изменяется с возрастом (рис. 4). У дуба она значительно больше, чем у других пород, а у осины, сосны и лиственницы эта доля самая низкая. У берёзы, в отличие от остальных пород деревьев, она с возрастом слабо увеличивается. Доля массы корней в общей фитомассе у всех пород деревьев резко снижается до возраста 30–35 лет, а в дальнейшем стабилизируется на определённом уровне, составляя наибольшую величину у липы, а наименьшую у дуба (рис. 5). Доля массы

ствола, как наиболее инертной фракции дерева, изменяется противоположным образом, увеличиваясь с возрастом асимптотически (рис. 6). Наибольшая её величина в возрасте 80 лет отмечается у берёзы (67,5 %), а наименьшая – у липы (58,3 %). Доля коры в общей фитомассе ствола у всех пород деревьев, кроме липы, с возрастом гиперболически снижается, стабилизируясь на определённом уровне после 50–60 лет (рис. 7). У липы же она, наоборот, медленно возрастает. Наибольшая её величина в возрасте 80 лет отмечается у липы (17,1 %), а наименьшая – у сосны (5,8 %).

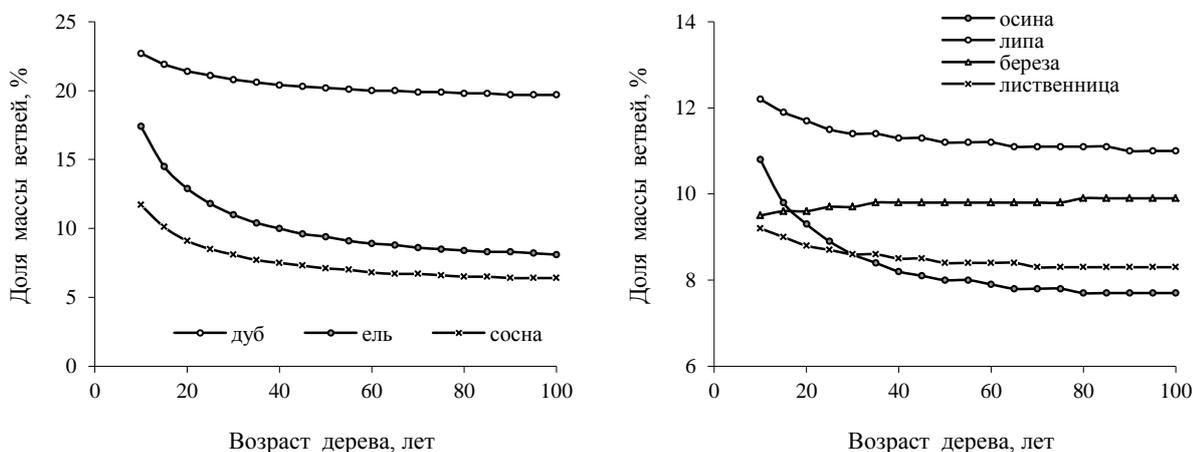


Рис. 4. Закономерности изменения доли ветвей в общей фитомассе деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

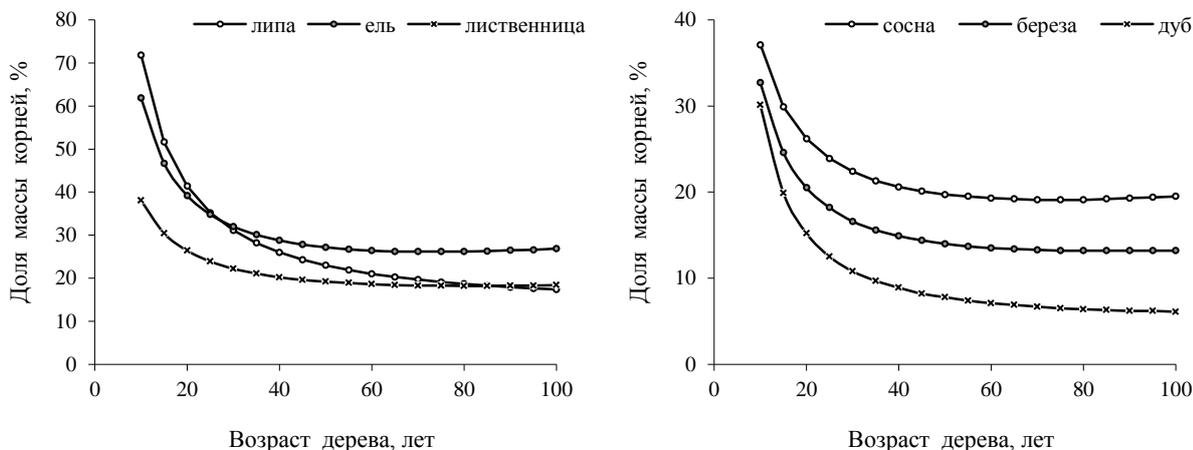


Рис. 5. Закономерности изменения доли корней в общей фитомассе деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

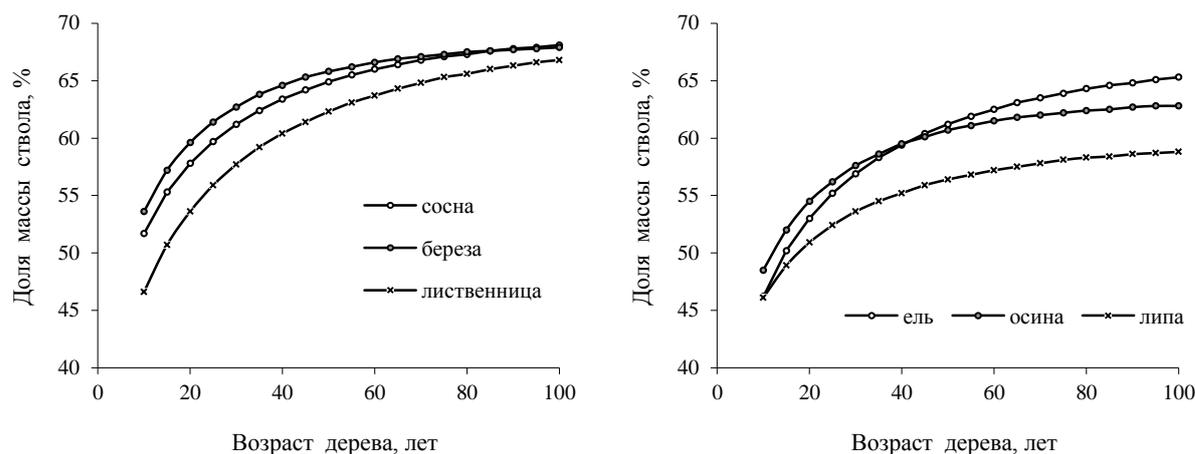


Рис. 6. Закономерности изменения доли массы ствола в общей фитомассе деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

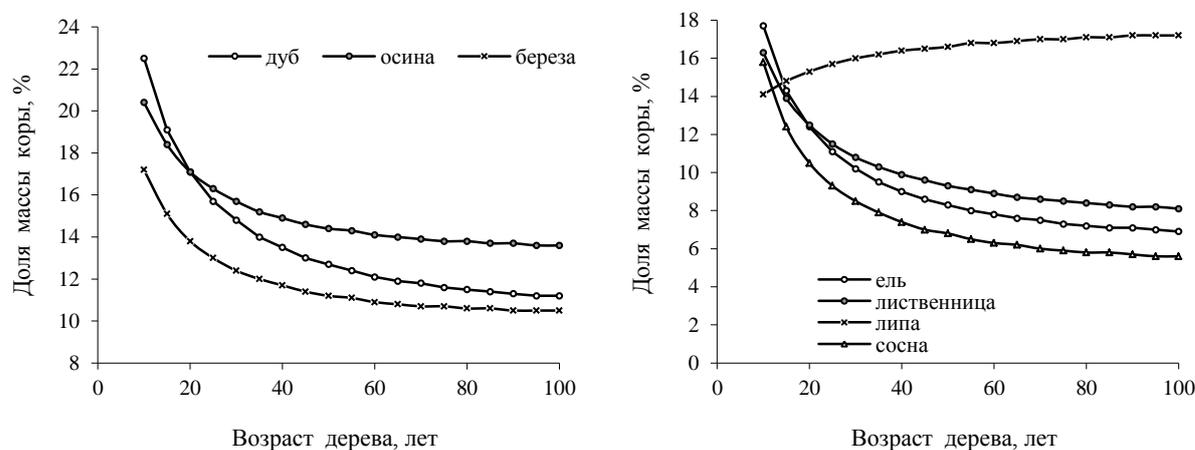


Рис. 7. Закономерности изменения доли коры в общей фитомассе ствола деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

На основе полученных уравнений можно оценить изменение потока ассимилянтов между различными органами деревьев в ходе их онтогенеза, что сделать путём прямых натуральных экспериментов очень сложно. Для этого необходимо оценить величину годичного прироста массы всех фракций деревьев, кроме листвы (хвои), которая представляет собой разность между значениями вычисляемого показателя в текущем и предыдущем годах. Величина же годичного прироста фитомассы ассимиляционного аппарата у листопадных деревьев равна его текущей массе, поскольку она ежегодно обновляется. У сосны же ежегодно обновляется

около 1/3 массы хвои, а у ели – 1/5. Расчёты, основанные на этих исходных положениях, показали, что больше всего ассимилянтов, вырабатываемых деревом в течение года, идёт на образование фитомассы ствола у сосны, а меньше всего – у липы (рис. 8). У деревьев всех пород изменение этого показателя в ходе их развития отображается куполообразной кривой с максимумом в возрасте от 25 лет (у берёзы) до 55 лет (у лиственницы). Снижение величины доли массы прироста ствола в величине прироста всей фитомассы дерева после этого возраста наиболее быстро происходит у берёзы, а медленнее всего – у лиственницы.

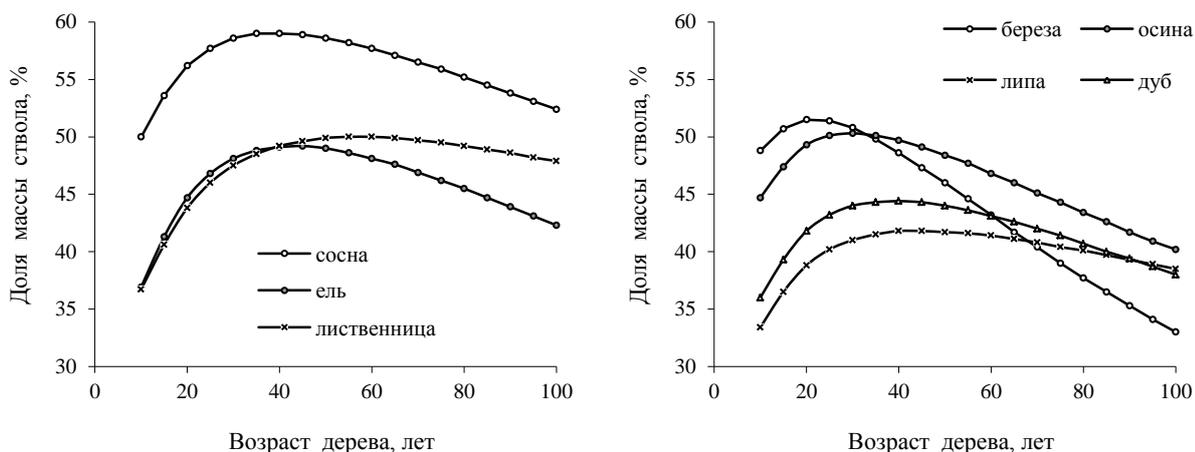


Рис. 8. Закономерности динамики доли годичного прироста массы ствола в общей величине прироста всей фитомассы у деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

На образование прироста ветвей наибольший расход ассимилянтов в пределах всего возрастного диапазона отмечается у деревьев дуба (рис. 9). В возрасте до 25–30 лет меньше всего расходует ассимилянтов лиственница, а после этого – сосна. У всех пород деревьев с увеличением их возраста расход ассимилянтов на образование прироста ветвей неуклонно снижается. Наиболее значительно он снижается у ели и сосны, а слабее всего – у липы. Поток ассимилянтов на образование прироста корней у всех пород деревьев резко снижается до возраста 30–35 лет, а в дальнейшем стабилизируется на определенном уровне,

составляя больше всего у ели, а меньше всего – у дуба (рис. 10). Характер динамики расхода ассимилянтов на образование листвы (хвои) деревьев иной (рис. 11). У деревьев лиственницы до 40–45 лет он резко снижается, а затем очень медленно увеличивается. У липы и дуба увеличение его величины с возрастом происходит более значительно, а у остальных пород – ещё сильнее. В результате всех этих изменений снижается производительность ассимиляционного аппарата деревьев (рис. 12) и возрастает нагрузка на корни по водоснабжению кроны, которая больше всех у дуба, а меньше всех – у осины (рис. 13).

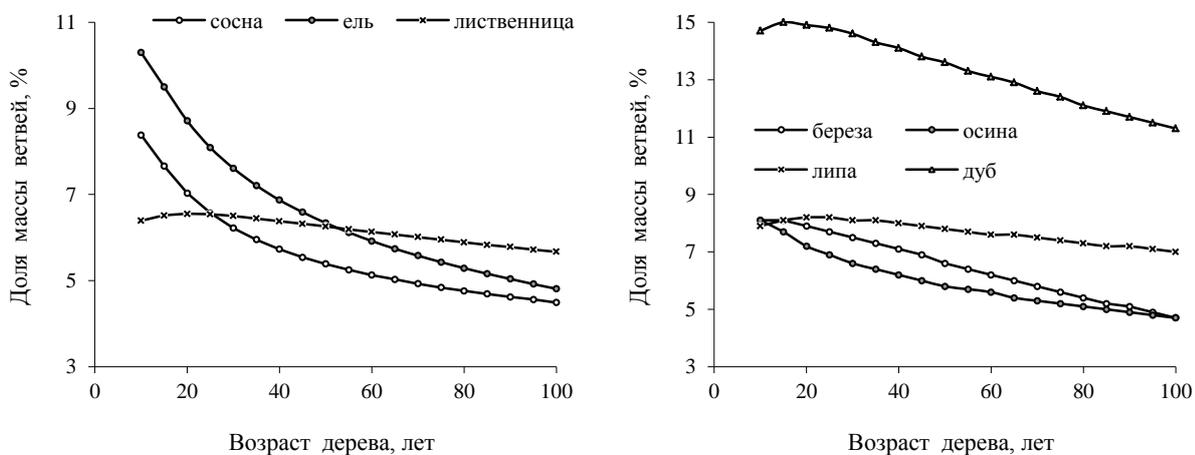


Рис. 9. Закономерности динамики доли годичного прироста массы ветвей в величине прироста всей фитомассы у деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

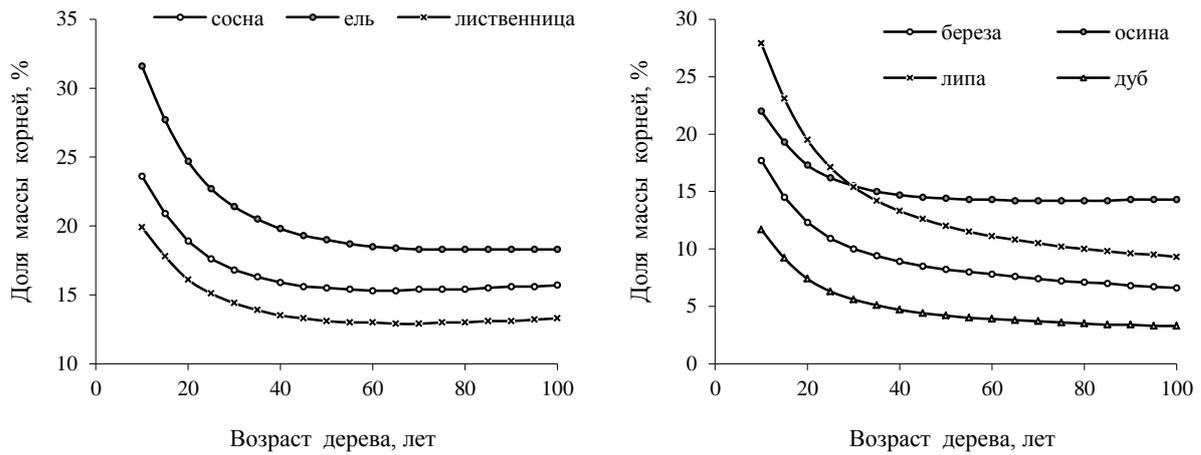


Рис. 10. Закономерности динамики доли годичного прироста массы корней в величине прироста всей фитомассы у деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

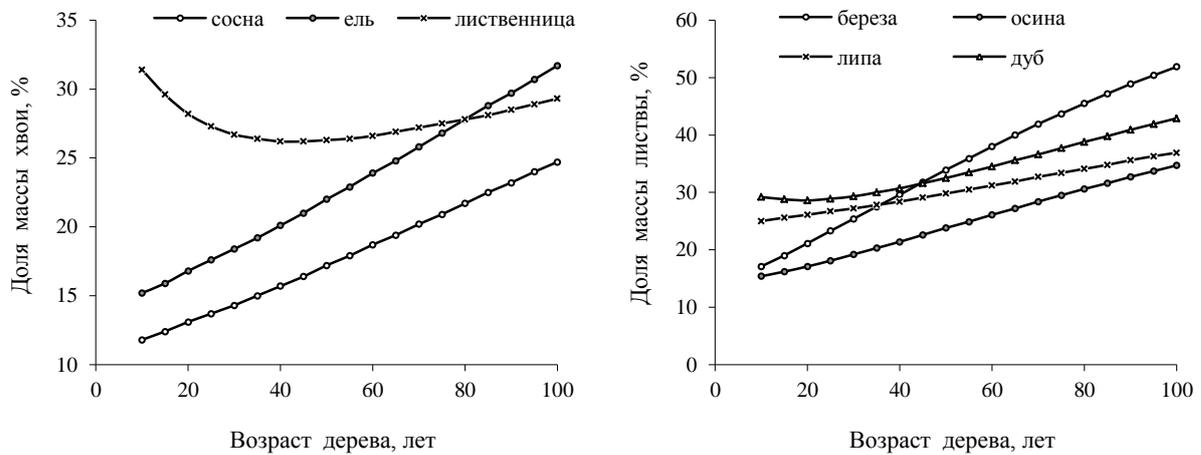


Рис. 11. Закономерности динамики доли годичного прироста массы листьев в величине прироста всей фитомассы у деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

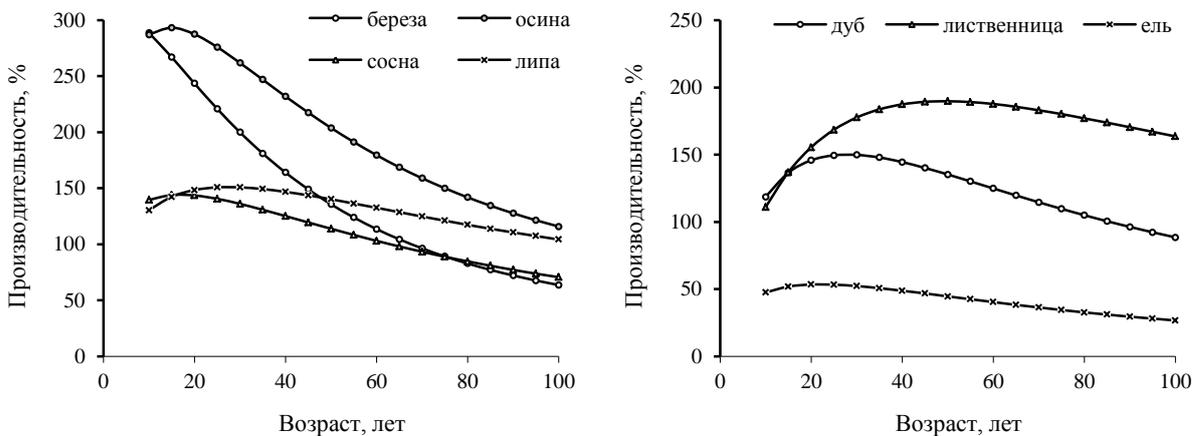


Рис. 12. Динамика производительности ассимиляционного аппарата у деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

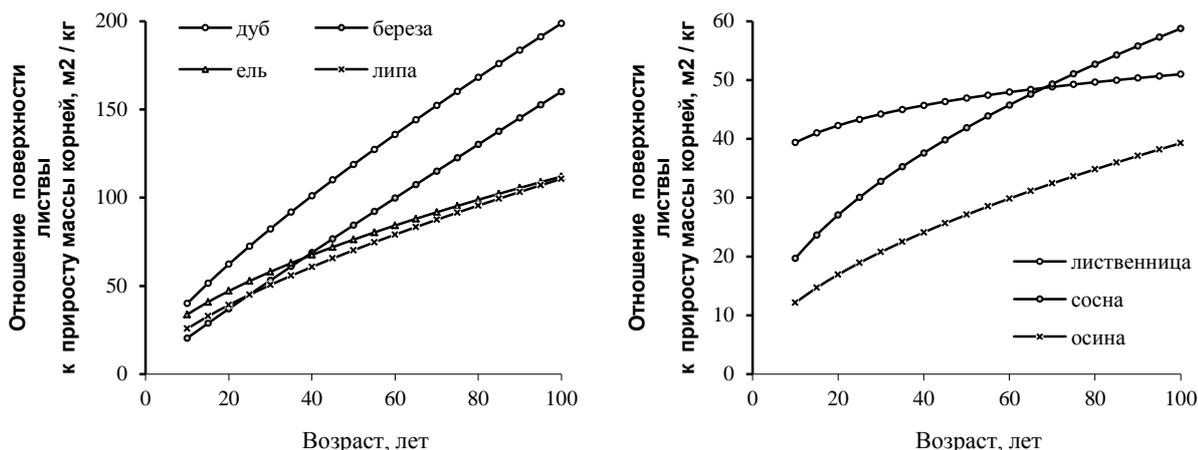


Рис. 13. Динамика отношения листового индекса деревьев, вычисленного по [10], к приросту массы корней различных пород в ТЛН D₂ Предкамья Республики Татарстан

В древостоях динамика соотношения масс фракций такая же, как и у отдельного дерева, но процесс накопления фитомассы происходит иначе, что связано с особенностями отпада определённой части особей, протекающего в различных ценозах неодинаково. Так, в возрасте 20 лет наибольшую густоту имеют ельники, а наименьшую – березняки (рис. 14). В возрасте же 80 лет картина существенно образом меняется: наиболее густыми являются уже липняки, а самыми редкими – осинники, что связано с их естественным распадом. Густота древостоев, как показали расчёты, закономерно убывает с возрастом, что описывает степенная функция

$N_t = K \cdot [a \cdot (t - 10) + 1]^{-b}$, в которой K – густота древостоев в возрасте 10 лет, экз./га; a – скорость изреживания древостоев с их возрастом; b – темп изменения скорости изреживания; t – возраст древостоя, лет. Наиболее высокую исходную густоту и интенсивность изреживания имеют ельники, а наименьшую – светолюбивые березняки (табл. 4). Скорость изреживания наиболее высока у культур лиственницы, а минимальна – у осинников. Темп скорости изреживания у всех древостоев с возрастом увеличивается, однако наиболее значительно это происходит у ельников, дубняков и осинников. Менее всего он изменяется у березняков, сосняков и липняков.

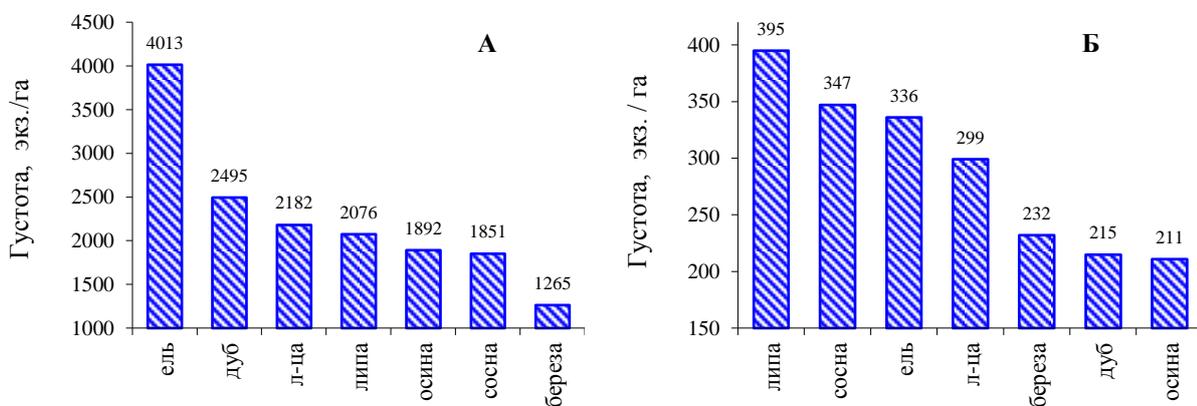


Рис. 14. Ранговое распределение древостоев разных пород в ТЛН D₂ Предкамья Республики Татарстан по их густоте: А – в возрасте 20 лет; Б – в возрасте 80 лет

Таблица 4

**Значения параметров уравнений динамики густоты древостоев
в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан**

| Параметр уравнения | Значения параметров уравнения $N_t = K \cdot [a \cdot (t - 10) + 1]^{-b}$ у разных пород деревьев | | | | | | |
|--------------------|---|-------|-------------|--------|-------|-------|-------|
| | сосны | ели | лиственницы | березы | осины | липы | дуба |
| K | 4087 | 14212 | 6344 | 2918 | 4760 | 4401 | 8220 |
| a | 8,990 | 10,36 | 11,31 | 9,899 | 7,645 | 8,098 | 9,599 |
| b | 1,221 | 1,776 | 1,409 | 1,202 | 1,605 | 1,251 | 1,769 |

В результате взаимодействия двух противоположно направленных процессов, т. е. увеличения массы деревьев и одновременного уменьшения их числа, общая фитомасса древостоя и его отдельных фракций изменяется с возрастом параболически, достигая в определённый момент времени максимального значения, а затем неуклонно снижается. Кульминация общей фитомассы древостоя раньше всех наступает в осинниках, а наиболее поздно – в

культурах лиственницы (рис. 15). Абсолютная величина общей фитомассы в этот момент наибольших значений достигает в лиственничниках (439,3 т/га), а наименьших – в ельниках и дубняках (всего 142,9 и 130,8 т/га). Ранговое положение древостоев по величине массы стволов и корней в данном возрасте пород меняется не очень сильно: лиственничники устойчиво занимают самую высокую позицию, а дубняки – самую низкую (рис. 16).

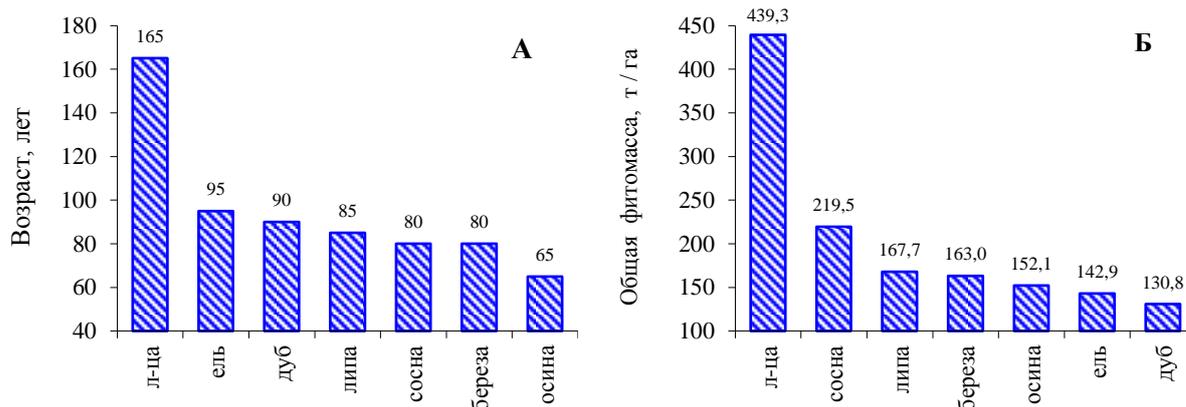


Рис. 15. Ранговое распределение древостоев в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан по времени наступления кульминации наличной общей фитомассы (А) и её величине (Б)

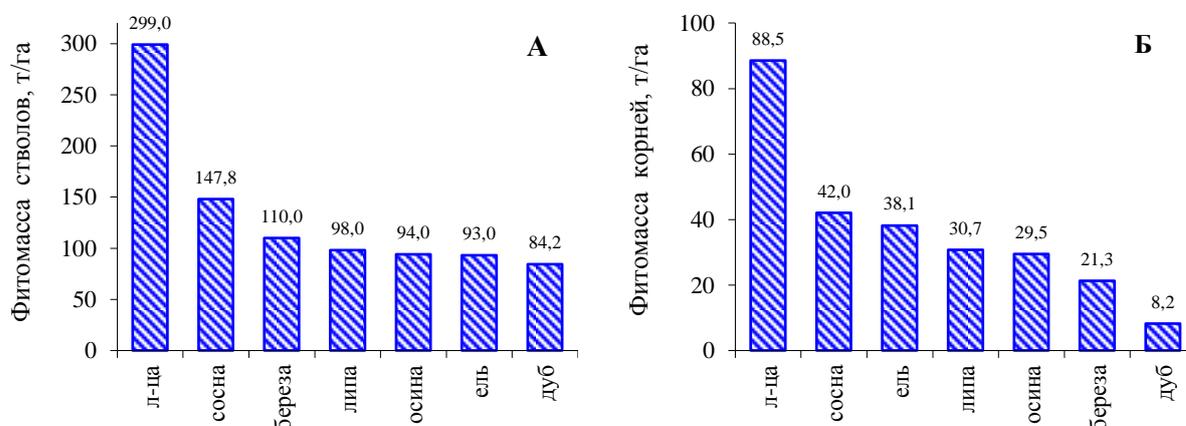


Рис. 16. Ранговое распределение древостоев в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан по величине массы стволов (А) и корней в момент кульминации общей фитомассы (Б)

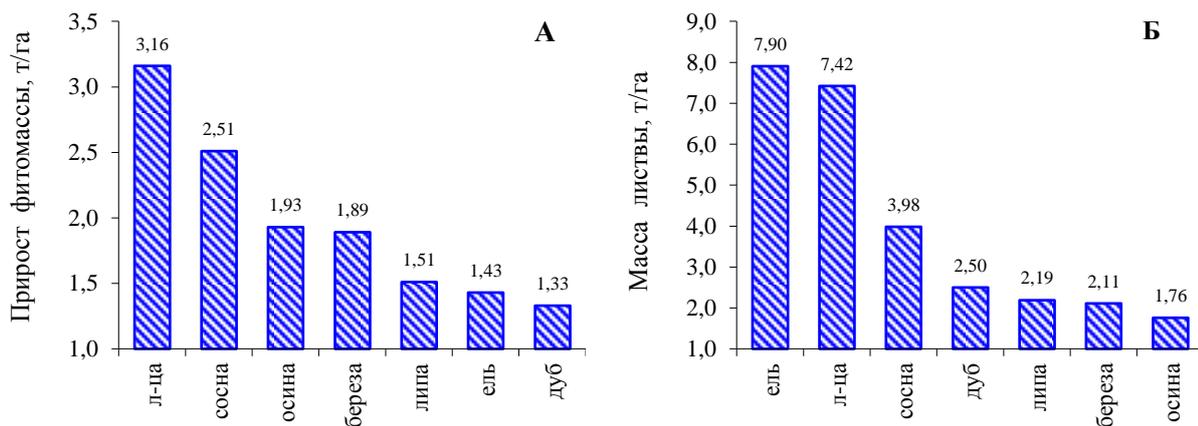


Рис. 17. Распределение древостоев по величине среднего годовичного прироста фитомассы стволов в момент его кульминации (А) и массы ассимиляционного аппарата в этом же возрасте (Б)

При имеющихся различиях характера роста деревьев эффективность использования ими ресурсов среды, в том числе и солнечной энергии, более корректно оценивать не по наличной их фитомассе, а по годовичному приросту стволовой древесины. Расчёты показали, что кульминации величины этого показателя древостои достигают очень рано: культуры лиственницы – в возрасте 15 лет, культуры ели – в 20 лет, липняки – в 35 лет, остальные древостои – в 30 лет. Лидером по величине среднего годовичного прироста фитомассы стволов в этом возрасте, определяющем рубеж энергетической и углерододепонирующей спелости древостоев, устойчиво являются лиственничники, за которыми следуют сосняки и осинники (рис. 17). Замыкают ранговый ряд липняки, ельники и дубняки. По массе ассимиляционного аппарата, приближающейся в этом возрасте к своему абсолютному пределу, лидируют ельники, которым лишь незначительно уступают культуры лиственницы. Наименьшую фитомассу листьев имеют осинники.

Таким образом, результаты проведённых нами расчётов убедительно свидетельствуют о больших возможностях использования аллометрических зависимостей фитомассы различных фракций деревьев от их высоты и диаметра ствола для выявления закономерностей развития

древостоев и выбора наиболее перспективных для лесовыращивания древесных пород, одной из которых в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан, безусловно, является лиственница сибирская.

Подобранные нами аллометрические модели могут быть с успехом использованы для детальной оценки эколого-ресурсного потенциала древостоев как по данным учёта на пробных площадях, так и по материалам таксационных описаний насаждений. Они, как и всё в науке, не являются абсолютной истиной. По мере накопления материала эти модели, естественно, должны уточняться и дополняться. Мы искренне надеемся на то, что наша работа будет интересна многим исследователям, которые успешно разовьют предложенную нами идею или предложат свои.

Заключение. Объём ствола и фитомассу различных фракций деревьев можно достаточно легко и надёжно оценить расчётным путём по их высоте и диаметру, используя соответствующие аллометрические зависимости. Наилучшую аппроксимацию исходных данных по объёму и абсолютно сухой массе ствола, а также общей и надземной фитомассе дерева, его коры и ветвей обеспечивает двухпараметрическая аллометрическая функция $Y = a \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$, объясняющая более 99 % общей дисперсии значений

зависимых переменных. Для оценки же фитомассы ассимиляционного аппарата (листвы или хвои) и корней деревьев лучше всего подходит функция $Y = a \cdot (d + 1)^b$. Значения параметров полученных уравнений сугубо специфичны у каждой древесной породы, исходя из особенностей их биологии и требовательности к условиям среды. Эти уравнения, в которых расчёт показателей производится напрямую без использования видового числа и конверсионно-объёмных коэффициентов, имеют значительные преимуще-

ства перед традиционно используемыми в лесной таксации моделями.

Полученные аллометрические уравнения можно с успехом использовать не только для оценки фитомассы деревьев и древостоев в целом, но и для выявления закономерностей динамики потока ассимилянтов между различными фракциями, что сделать путём прямых натурных экспериментов очень сложно, а также для выбора наиболее перспективных в хозяйственном или экологическом отношении пород.

Список литературы

1. Усольцев, В. А. Русский лес как гарант энергетической и экологической безопасности России / В.А. Усольцев // Эко-потенциал. – 2014. – № 4. – С. 7-15.
2. Исаев, А. С. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России / А.С. Исаев, Г.И. Коровин, А.И. Уткин и др. // Лесоведение. – 1993. – № 5. – С. 3-10.
3. Уткин, А. И. Биологическая продуктивность лесов. Методы изучения и результаты / А.И. Уткин // Итоги науки и техники. Сер.: Лесоведение и лесоводство. – М.: ВИНТИ, 1975. – Т. 1. – С. 9-189.
4. Уткин, А. И. Методика исследований первичной биологической продуктивности лесов / А.И. Уткин // Биологическая продуктивность лесов Поволжья. – М.: Наука, 1982. – С. 59-71.
5. Демаков, Ю. П. Эколого-ресурсный потенциал древостоев искусственного происхождения сосны и ели в свежих сурамях Марийского Заволжья / Ю.П. Демаков, Т.В. Нуреева, А.А. Белоусов // Вестник Удмуртского университета. Сер.: Биология. Науки о Земле. – 2014. – Вып. 1. – С. 14-25.
6. Демаков, Ю. П. Потенциальная производительность древостоев основных лесобразующих пород России / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев // Эко-потенциал. – 2014. – № 4. – С. 41-50.
7. Демаков, Ю. П. Эколого-ресурсный потенциал древостоев лесобразующих пород Среднего Поволжья / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, В.Л. Черных // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 4 (24). – С. 5-20.
8. Демаков, Ю. П. Закономерности развития древостоев в сурамях Марийского Заволжья / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, А.А. Симанова // Сибирский лесной журнал. – 2015. – № 1. – С. 43-57.
9. Уткин, А. И. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы и осины в европейской части России / А.И. Уткин, Д.Г. Замолдчиков, Т.А. Гульбе, Я.И. Гульбе // Лесоведение. – 1996. – № 6. – С. 36-46.
10. Уткин, А. И. Конверсионные коэффициенты для определения площади листовой поверхности насаждений основных лесобразующих пород России / А.И. Уткин, Л.С. Ермолова, Д.Г. Замолдчиков // Лесоведение. – 1997. – № 3. – С. 74-78.
11. Уткин, А. И. Определение запасов углерода по таксационным показателям древостоев: метод поучастковой аллометрии / А.И. Уткин, Д.Г. Замолдчиков, Т.А. Гульбе и др. // Лесоведение. – 1998. – № 2. – С. 38-53.
12. Замолдчиков, Д. Г. Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объёмным коэффициентам / Д.Г. Замолдчиков, А.И. Уткин, Г.Н. Коровин // Лесоведение. – 1998. – № 3. – С. 84-93.
13. Замолдчиков, Д. Г. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений / Д.Г. Замолдчиков, А.И. Уткин // Лесоведение. – 2000. – № 6. – С. 54-63.
14. Замолдчиков, Д. Г. Конверсионные коэффициенты фитомасса/запас в связи с дендрометрическими показателями и составом древостоев / Д.Г. Замолдчиков, А.И. Уткин, Г.Н. Коровин // Лесоведение. – 2005. – № 6. – С. 73-81.
15. Усольцев, В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 708 с.
16. Усольцев, В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 762 с.
17. Усольцев, В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база

данных и ее приложения / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 636 с.

18. Глинский, Б. А. Моделирование как метод научного исследования: гносеологический анализ / Б.А. Глинский, Б.С. Грязнов, Б.С. Дынин, Е.П. Никитин. – М.: МГУ, 1965. – 248 с.

19. Усольцев, В. А. Моделирование распределения ассимилянтов в фитомассе деревьев: законы или закономерности? / В.А. Усольцев, К.С. Субботин, Д.С. Гаврилин, Ю.В. Норицина // Экопотенциал. – 2015. – № 1. – С. 15-32.

20. Gould, S. Allometry and size in ontogeny and phylogeny / S. Gould // Biological Reviews. – 1966. – Vol. 41. – Pp. 587-640.

21. Шмидт, В. М. Аллометрический рост органов растений / В.М. Шмидт // Применение математических методов в биологии. – Л.: ЛГУ, 1969. – Вып. 4. – С. 109-116.

22. Дюльдин, А. А. Коэффициент вариации и аллометрия / А.А. Дюльдин // Экология. – 1973. – № 6. С. 97-99.

23. Кофман, Г. Б. Уравнения роста и онтогенетическая аллометрия / Г.Б. Кофман // Математическая биология развития. – М.: Наука, 1982. – С. 49-55.

24. Кофман, Г. Б. Рост и форма деревьев / Г.Б. Кофман. – Новосибирск: Наука, 1986. – 211 с.

25. Усольцев, В. А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев / В.А. Усольцев. – Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1985. – 191 с.

26. Усольцев, В. А. Рост и структура фитомассы древостоев / В.А. Усольцев. – Новосибирск: Наука, 1988. – 253 с.

27. Niklas, K. J. Plant allometry: is there a grand unifying theory? / K.J. Niklas // Biological Reviews. – 2004. – Vol. 1. 79. – Pp. 871-889.

28. Poorter, H. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control / H. Poorter, K.J. Niklas, P.V. Reich et al. // New Phytologist. – 2012. – Vol. 193. – Pp. 30-50.

29. Карманова, И. В. Математические методы изучения роста и продуктивности растений / И. В. Карманова. – М.: Наука, 1976. – 223 с.

30. Кузьмичев, В. В. Закономерности роста древостоев / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 1977. – 160 с.

31. Богачев, А. В. Методы таксации лесного и лесосечного фонда / А. В. Богачев, Н. С. Свалов // Итоги науки и техники. Сер.: Лесоведение и лесоводство. – М.: ВИНТИ, 1978. – Т. 2. – С. 7-209.

32. Пузанова, Т. А. Вычисление запасов стволовой древесины в молодняках сосны / Т.А. Пузанова, В.В. Кузьмичев // Известия СО АН СССР. Серия биологическая. – 1979. – № 10, Вып. 2. – С. 27-31.

33. Пшеничникова, Л. С. Продуктивность сосновых молодняков разной густоты / Л. С. Пшеничникова // Факторы продуктивности леса. – Новосибирск: Наука, 1989. – С. 36-52.

34. Демаков, Ю. П. Диагностика устойчивости лесных экосистем: методологические и методические аспекты / Ю.П. Демаков. – Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. – 415 с.

35. Бобкова, К. С. Пул углерода фитомассы древостоев сосняков чернично-сфагновых средней тайги европейского северо-востока / К.С. Бобкова, А.Ф. Осипов, Э.П. Галенко // Хвойные бореальной зоны. – 2013. – Т. XXX, № 1. – С. 42-45.

36. Шанин, В. Н. Моделирование горизонтального распространения корней деревьев в различных условиях местообитания / В.Н. Шанин // Лесоведение. – 2015. – № 2. – С. 130-139.

Статья поступила в редакцию 16.04.15.

Информация об авторах

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры экологии, почвоведения и природопользования, Поволжский государственный технологический университет, главный научный сотрудник государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Область научных интересов – биогеоценология, математическое моделирование лесных экосистем. Автор 280 публикаций, в том числе 10 монографий и учебных пособий.

ПУРЯЕВ Айнура Султангалиевич – кандидат биологических наук, доцент, директор, филиал ФБУ ВНИИЛМ «Восточно-европейская лесная опытная станция». Область научных интересов – лесоведение, почвоведение. Автор 50 научных и научно-методических работ.

ЧЕРНЫХ Валерий Леонидович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства, таксации и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – проблемы таксации леса, математического моделирования и ГИС-технологий. Автор 250 публикаций, в том числе пяти монографий.

ЧЕРНЫХ Леонид Валерьевич – аспирант кафедры лесоводства, таксации и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – таксация леса и лесовосстановление, ГИС-технологии. Автор восьми публикаций.

UDC 630*52

ALLOMETRIC DEPENDANCES APPLICATION TO 1 ASSESS PHYTOMASS OF VARIOUS FRACTIONS OF TREES AND SIMULATION OF THEIR DYNAMICS

Yu. P. Demakov¹, A. S. Puryaev², V. L. Chernykh¹, L. V. Chernykh¹¹Volga State University of Technology,

3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation

E-mail: DemakovYP@volgatech.net, ChernyhVL@volgatech.net

²East European FES of All Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry,

40, Tovarishcheskaya St., Kazan, 420097, Russian Federation

E-mail: purjaew@rambler.ru

Key words: trees; stem volume; phytomass of a tree; fraction composition; allometry; mathematical models; simulation modelling.

ABSTRACT

A brief review of some books on application of allometric functions to calculate the phytomass of various fractions of trees, where the predictors are height and diameter of a tree, was carried out. Calculation of parameters of the functions for the trees of major forest forming species was made based on the existing tables for stands bioproductivity. It was shown that two-parameter allometric function $Y = a \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$ showed the best approximation basic data by volume and oven-dry weight of a stem as well as the total and above ground phytomass of tree, its bark and branches. The function explains more than 99 % of total variance of values for the dependent variables. $Y = a \cdot (d + 1)^b$ function is best suited to assess the phytomass of assimilation instrument (foliage and needles) and the roots of trees. Values of the parameters of the obtained regression equations are strictly specific for each tree species (the specificity is explained by the peculiarities of the biology of trees and their requirements for environment condition). The obtained allometric equations may be successfully used both to calculate the phytomass of trees and to reveal the peculiarities of their development, expressed in the change of the assimilates group between different fractions. It is important to note that it is almost impossible to accomplish the above mentioned process by experiments. Thus, for example using the data of stands development in the D₂ forest site type (close to the Kama area in the Republic of Tatarstan), it was determined that regression of trees increment with age was caused by steady growth of force on the annual recovery of their assimilation instrument and reduction of the assimilates group to form new absorbing roots. Besides, the load on the roots in water supply to the crowns was growing. Allometric dependences of phytomass of different fractions of trees on their height and diameter of stem may be also used to choose more perspective species.

REFERENCES

1. Usoltsev V. A. Russkiy les kak garant energeticheskoy i ekologicheskoy bezopasnosti Rossii [Russian Forest as a Guarantee for Energetic and Ecological Security of Russia]. *Eko-potentsial* [Ecological Potential]. 2014. № 4. Pp. 7-15.
2. Isaev A. S., Korovin G.I., Utkin A.I., Zamolodchikov D.G., et al. Otsenka zapasov i godichnogo deponirovaniya ugleroda v fitomasse lesnykh ekosistem Rossii [Assessment of Stock and Annual Carbon Sequestration in Phytomass of Russian Forest Ecosystems]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1993. № 5. Pp. 3-10.
3. Utkin A. I. Biologicheskaya produktivnost lesov. Metody izucheniya i rezultaty [Biological Productivity of Forests. Study Methods and Results]. *Itogi nauki i tekhniki. Seriya: Lesovedenie i lesovodstvo* [Results of Science and Technique. Series: Forestry and Silviculture]. Moscow: VINITI, 1975. Vol. 1. Pp. 9-189.
4. Utkin A. I. Metodika issledovaniy pervichnoy biologicheskoy produktivnosti lesov [A Methods for Research of Primary Biological Productivity of Forests]. *Biologicheskaya produktivnost lesov Povolzhya* [Biological Productivity of the Volga Region Forests]. Moscow: Nauka, 1982. Pp. 59-71.
5. Demakov Yu. P., Nureeva T.V., Belousov A.A. Ekologo-resursnyy potentsial drevostoev iskusstvennogo proishozhdeniya sosny i eli v svezhikh suramenyakh Mariyskogo Zavolzhya [Ecological and Resource Potential of Planted Fir and Pine Stands in Fresh Suramens in Mari Forests]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Nauki o Zemle* [Vestnik of Udmurt University. Series: Biology. Earth Sciences.]. 2014. Issue 1. Pp. 14-25.

6. Demakov Yu. P., Isaev A.V. Potentsialnaya proizvoditel'nost' drevostoev osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Rossii [Potential Productivity of Stands of the Main Forest Forming Species in Russia]. *Eko-potentsial* [Ecological Potential]. 2014. № 4. Pp. 41-50.
7. Demakov Yu. P., Isaev A.V., Chernykh V.L. Ekologo-resursnyy potentsial drevostoev lesoobrazuyushchikh porod Srednego Povolzhya [Ecological and Resource Potential of Stands of Forest Forming Species in the Middle Volga Region]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2014. № 4 (24). Pp. 5-20.
8. Demakov Yu. P., Isaev A.V., Simanova A.A. Zakonomernosti razvitiya drevostoev v suramenyakh Mariyskogo Zavolzhya [Peculiarities of Stands Development in the Suramens of Mari Forests]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal]. 2015. № 1. Pp. 43-57.
9. Utkin A. I., Zamolodchikov D.G., Gulbe T.A., Gulbe Ya.I. Allometricheskie uravneniya dlya fitomassy po dannym derevev sosny, eli, berezy i osiny v evropeyskoy chasti Rossii [Allometric Equations for Phytomass by the Data of Pine, Fir, Birch and Aspen Trees in the European Part of Russia]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1996. № 6. Pp. 36-46.
10. Utkin A. I., Ermolova L.S., Zamolodchikov D.G. Konversionnyye koeffitsienty dlya opredeleniya ploshchadi listvoy poverkhnosti nasazhdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Rossii [Conversion Rate to Determine the Square of Leaf Surface of Plantations of the Main Forest Forming Species in Russia]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1997. № 3. Pp. 74-78.
11. Utkin A. I., Zamolodchikov D.G., Gulbe T.A., Gulbe Ya.I. Opredelenie zapasov ugleroda po taksatsionnyim pokazatelyam drevostoev: metod pouchastkovoy allometrii [Definition of Carbon Deposits by Taxation Characteristics of Stands: Method of Section Allometry]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1998. № 2. Pp. 38-53.
12. Zamolodchikov D.G., Utkin A. I., Korovin G.N. Opredelenie zapasov ugleroda po zavisimym ot vozrasta nasazhdeniy konversionno-obemnym koeffitsientam [Definition of Carbon Deposits by Dependent on the Age of Stands Conversion and Volume Factors]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1998. № 3. Pp. 84-93.
13. Zamolodchikov D.G., Utkin A. I. Sistema konversionnykh otnosheniy dlya rascheta chistoy pervichnoy produktsii lesnykh ekosistem po zapasam nasazhdeniy [A System of Conversion Relations to Calculate Net Primary Production of Forest Ecosystem by Stock Volume]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2000. № 6. Pp. 54-63.
14. Zamolodchikov D.G., Utkin A. I., Korovin G.N. Konversionnyye koeffitsienty fitomassa/zapas v svyazi s dendrometricheskimi pokazatelyami i sostavom drevostoev [Conversion Coefficients Phytomass/Stock Depending on Dendrometer Figures and Stands Composition]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2005. № 6. Pp. 73-81.
15. Usoltsev V. A. *Fitomassa lesov Severnoy Evrazii: baza dannykh i geografiya* [Phytomass of Forests in Northern Eurasia: Database and Geography]. Ekaterinburg: RAS, 2001. 708 p.
16. Usoltsev V. A. *Fitomassa lesov Severnoy Evrazii: normativy i elementy geografii* [Phytomass of Forests in Northern Eurasia: Standards and Elements of Geography]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2002. 762 p.
17. Usoltsev V. A. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoy Evrazii: metody, baza dannykh i ee prilozheniya* [Biological Productivity of Northern Eurasia Forests: Methods, Database and Its Application]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2007. 636 p.
18. Glinskiy B. A., Gryaznov B.S., Dynin B.S., Nikitin E.P. *Modelirovanie kak metod nauchnogo issledovaniya: gnoseologicheskii analiz* [Simulation as a Method of Scientific Research: Gnoseological Analysis]. Moscow: MSU, 1965. 248 p.
19. Usoltsev V. A., Subbotin K.S., Gavrilin D.S., Noritsina Yu.V. Modelirovanie raspredeleniya assimilyantov v fitomasse derevev: zakony ili zakonomernosti? [Simulation as Assimilates Distribution in the Phytomass of Trees: Rules and Regularities?]. *Eko-potentsial* [Ecological Potential]. 2015. № 1. Pp. 15-32.
20. Gould S. Allometry and size in ontogeny and phylogeny. *Biol. Rev.* 1966. Vol. 41. Pp. 587-640.
21. Shmidt V. M. Allometricheskii rost organov rasteniy [Allometric Growth of the Body of Plants]. *Primenenie matematicheskikh metodov v biologii* [Application of Mathematical Methods in Biology]. Leningrad: LSU, 1969. Issue 4. Pp. 109-116.
22. Dul'din A. A. Koeffitsient variatsii i allometriya [Coefficient of Variation and Allometry]. *Ekologiya* [Ecology]. 1973. № 6. Pp. 97-99.
23. Kofman G. B. Uravneniya rosta i ontogeneticheskaya allometriya [Growth Equation and Ontogenetic Allometry]. *Matematicheskaya biologiya razvitiya* [Mathematic Biology of Development]. Moscow: Nauka, 1982. Pp. 49-55.
24. Kofman G. B. *Rost i forma derevev* [Growth and Form of Trees]. Novosibirsk: Nauka, 1986. 211 p.
25. Usoltsev V. A. *Modelirovanie struktury i dinamiki fitomassy drevostoev* [Simulation of Structure and Dynamics of Stands Phytomass]. Krasnoyarsk: Izd-vo Krasnoyarskogo un-ta, 1985. 191 p.
26. Usoltsev V. A. *Rost i struktura fitomassy drevostoev* [Growth and Structure of Phytomass of Stands]. Novosibirsk: Nauka, 1988. 253 p.
27. Niklas K. J. Plant allometry: is there a grand unifying theory? *Biological Reviews*. 2004. Vol. 1. 79. Pp. 871-889.

28. Poorter H., Niklas K.J., Reich P.B. et al. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*. 2012. Vol. 193. Pp. 30-50.
29. Karmanova I. V. *Matematicheskie metody izucheniya rosta i produktivnosti rasteniy* [Mathematical Study Methods of Growth and Productivity of Plants]. Moscow: Nauka, 1976. 223 p.
30. Kuzmichev V. V. *Zakonomernosti rosta drevostoev* [Peculiarities of Stands Growth]. Novosibirsk: Nauka, 1977. 160 p.
31. Bogachev A. V., Svalov N. S. *Metody taksatsii lesnogo i lesosechnogo fonda* [Methods of Taxation of Timber and Timber Cutting Fund]. *Itogi nauki i tekhniki. Seriya: Lesovedenie i lesovodstvo*. [Results of Science and Technics. Series: Forestry and Silviculture]. Moscow: VINITI, 1978. Vol. 2. Pp. 7-209.
32. Puzanova T. A., Kuzmichev V.V. *Vychislenie zapasov stvolovoy drevesiny v molodnyakakh sosny* [Calculation of Stemwood Stock in Young Pine Forest]. *Izvestiya SO AN SSSR. Seriya biologicheskaya* [News of SO AN USSR. Biological series]. 1979. № 10. Issue 2. Pp. 27-31.
33. Pshenichnikova L. S. *Produktivnost sosnykh molodnyakov raznoy gustoty* [Productivity of Young Pine Stands of Diverse Density]. *Faktory produktivnosti lesa* [Factors of Forest Productivity]. Novosibirsk: Nauka, 1989. Pp. 36-52.
34. Demakov Yu. P. *Diagnostika ustoychivosti lesnykh ekosistem: metodologicheskie i metodicheskie aspekty* [Diagnostics of Forest Ecosystems Sustainability: Methodological and Methodical Aspects]. Yoshkar-Ola: Periodika Mariy El, 2000. 415 p.
35. Bobkova K. S., Osipov A.F., Galenko E.P. *Pul ugleroda fitomassy drevostoev sosnyakov chernichno-sfagnovykh sredney taygi evropeyskogo severo-vostoka* [Carbon Pool of the Phytomass of Stands of Bilberry and Bog Moss Pine Forest in the Mid-Taiga of European North-East]. *Khvoynye borealnoy zony* [Coniferous Species in the Boreal Forests]. 2013. Vol. XXX, № 1. Pp. 42-45.
36. Shanin V. N. *Modelirovanie gorizontalnogo rasprostraneniya korney derevev v razlichnykh usloviyakh mestoobitaniya* [Simulation of Horizontal Transfer of the Roots of Trees in Various Habitat Conditions]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2015. № 2. Pp. 130-139.

The article was received 16.04.15.

Citation for an article: Demakov Yu. P., Puryaev A. S., Chernykh V. L., Chernykh L. V. Allometric dependences application to assess phytomass of various fractions of trees and simulation of their dynamics. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2015. No 2 (26). Pp. 19-36.

Information about the authors

DEMAKOV Yuriy Petrovich – Doctor of Biological Sciences, Professor at the Chair of Ecology, Pedology and Nature Management at the Volga State University of Technology, Chief Researcher at the State Natural Reserve «Bolshaya Kokshaga». The author of 280 publications, including 10 monographs and study guides.

PURYAEV Ainur Sultangalievich – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Director, Branch of VNIILM «Eastern-European Forest Experimental Station». Research interests – forest cultivation, pedology. The author of 50 scientific and scientific and methodological works.

CHERNYKH Valeriy Leonidovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head at the Chair of Forestry, Forest Taxation and Forest Surveying, Volga State University of Technology. Research interests – problems of forest taxation, mathematic simulation, IT and GIS technologies in forestry. The author of 250 publications, including 5 monographs.

CHERNYKH Leonid Valeriyevich – Postgraduate student at the Chair of Forestry, Forest Taxation and Forest Surveying, Volga State University of Technology. Research interests – problems of forest taxation and forest restoration, GIS technologies in forestry. The author of 8 publications.

УДК 635.9+ 632.3

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ПАТОГЕНОВ В ЗАЩИТНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

И. В. Скуратов, Е. А. Крюкова

Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт,
Российская Федерация, 400062, Волгоград, пр. Университетский, 97
E-mail: justin_lubimaja@bk.ru

Приведены результаты исследований влияния экстремально высокой температуры воздуха, отмечавшейся летом 2014 года, на состояние древесных растений в защитных лесных насаждениях и посадках урбоэкосистем Волгоградской области. Установлено, что наиболее термически повреждёнными оказались берёза повислая, яблоня лесная, груша лесная, карагана древовидная, а особенно каштан конский. Среднюю степень устойчивости имеют робиния лжеакация и ряд видов клёна. Наиболее устойчивы к термическим повреждениям вяз приземистый, тополь чёрный, дуб черешчатый, ясени ланцетный и обыкновенный. Степень устойчивости к высоким температурам сопряжена с толерантностью деревьев к инфекционным болезням.

Ключевые слова: защитные лесные насаждения; древесные растения; термические повреждения; инфекционные и неинфекционные заболевания.

Введение. В связи с изменениями климата, особенно резко проявляющимися в экстремальных условиях степной и сухостепной зон, роль защитных лесных насаждений возрастает. Одновременно с этим возрастает поражение и ослабление их патогенными организмами, что требует тщательного изучения в складывающейся новой экологической обстановке. Наибольший интерес представляет изучение влияния высокой температуры воздуха на состояние древесных растений и их патогенов.

Массовая гибель отдельных древесных пород на больших территориях фиксируется исследователями как минимум уже два столетия, однако попытку связать её с внешними условиями и внутренними нарушениями физиологических процессов растений удалось только в начале XX века. Так, например, сообщение об усыхании дубовых, вязовых, кленовых, ясеневых лесов на больших площадях было отмечено в 1925 году в Чехословакии, Англии и Германии [1]. Аналогичное явление отмечено

в Центральной чернозёмной зоне России и Нижнем Поволжье [2, 3]. Гибель деревьев объяснялась ослаблением растений от засухи или отрицательным действием на деревья комплекса неблагоприятных погодных и эдафических факторов: низкой зимней температуры воздуха, поздних весенних заморозков, дефицита осадков в летний период, понижения или повышения уровня грунтовых вод [4, 5].

Как показано в ряде исследований [6, 7], действие какого-либо одного фактора может быть ослаблено или усилено предшествующими условиями, во многом определяющими состояние деревьев. В отдельные годы в летний период развитие древесных пород задерживается в результате засухи, вследствие чего значительно снижается их зимостойкость. Конечный исход действия низких температур на древесные породы определяется не только метеоусловиями суровых зим, но и в значительной степени физиологическим состоянием растений в предшествующий сезон.

© Скуратов И. В., Крюкова Е. А., 2015.

Для цитирования: Скуратов И. В., Крюкова Е. А. Влияние высоких температур на состояние древесных растений и их патогенов в защитных насаждениях Нижнего Поволжья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 2 (26). – С. 37-43.

Объективные показатели физиологического состояния древесных видов, связанные с воздействием абиотических факторов, в связи с погодными условиями Нижнего Поволжья изучены не достаточно. Выявление адаптированных видов и форм древесных растений, наиболее приспособленных к изменяющимся условиям климатического стресса, будет способствовать лесоразведению в острозасушливых регионах России.

Целью исследования являлось изучение влияния высокой температуры воздуха на состояние различных видов древесных растений и воздействия термического стресса на устойчивость их к инфекционным болезням в защитных лесных насаждениях Нижнего Поволжья и посадок в г. Волгограде.

Объекты и методика. Исследования проведены в защитных лесных насаждениях различного назначения и конструкций, а также городских озеленительных посадках на постоянных и временных пробных площадях, заложенных в пяти районах Волгоградской области, на которых было учтено и детально обследовано 2550 деревьев. Устойчивость древесных растений к экстремально высоким атмосферным температурам и засухе определялась по методике визуальной оценки поврежденности листьев А. А. Овчаренко [8] в нашей модификации. Для этой цели на основе анализа диапазона морфологических изменений крон древесных растений под влиянием высоких температур и засухи была составлена шкала:

I класс (0–2 балла) – крона дерева не повреждена или повреждена слабо (до 15 %);

II класс (2,1–3 балла) – слабое повреждение кроны (от 15 до 25 %);

III класс (3,1–4 балла) – среднее повреждение кроны (от 25 до 50 %);

IV класс (4,1–4,5 балла) – сильное повреждение кроны (от 50 до 75 %);

V класс (4,6–5 баллов) – очень сильное повреждение кроны (от 75 до 100 %).

На каждой пробной площади оценка степени повреждения кроны проведена не менее чем у 100 деревьев. На основе инди-

видуальных оценок вычислен средний балл повреждения. Был также проведен учёт распространения и развития инфекционных и неинфекционных болезней по общепринятым в фитопатологии методикам [9, 10, 11] в авторской доработке с учётом климатических особенностей региона исследований и типа болезни. Идентификацию патогенов осуществляли путём культивирования возбудителей болезней на селективные питательные среды на основе вытяжки из древесных растений с последующим микропированием и изучением особенностей спороношения. Дополнительно были проведены рекогносцировочные обследования основных лесозащитных полос, состоящих из дуба, вяза и тополя, а также сопутствующих видов.

Результаты и их обсуждение. Погодные условия 2014 года в Волгоградской области были во многом экстремальными [12]. Зима (декабрь – январь) характеризовалась более низкими среднесуточными температурами, чем в предыдущие годы. Весенние же месяцы (март, апрель) были очень тёплыми (2,3–17,2°C) и влажность воздуха была достаточной для прорастания спор большинства дендрофильных грибов. В мае было восемь дней с дождями и грозами, среднее значение температуры составило 19,8°C, а относительная влажность воздуха изменялась от 14 до 97,4 % (табл. 1). Скорость ветра достигала 11 м/с. Количество осадков в летние месяцы снизилось до 16 мм, а влажность воздуха – до 11,4 %.

Всё это привело к нарастанию водного дефицита в почве, увеличению транспирации у древесных растений, падению тургора их листьев, появлению на них термических ожогов и хлороза термического генезиса (см. рис. с. 39). Наиболее остро термические повреждения листьев начали проявляться во второй декаде июля, когда температура в тени перешла отметку 37°C, на солнце же этот показатель доходил до 53°C. В августе температура воздуха в дневные часы также была довольно высокой, варьируя на протяжении месяца от 25,9 до 37,8°C, а влажность воздуха – низкой.

Таблица 1

Погодные условия в Волгоградской области за период с 1 мая по 30 сентября 2014 года

| Месяц | Значения | T, °C | Относительная влажность воздуха, % | Количество осадков, мм | Скорость ветра, м/с | Количество дней с дождями и грозами |
|----------|----------|-------------|------------------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| май | max | 33,6 | 97,4 | 23 | 11,0 | 8 |
| | min | 4,4 | 14,0 | 0 | 1,0 | |
| | среднее | 19,8 | 53,5 | 1,7 | 5,2 | |
| июнь | max | 34,1 | 95,0 | 17 | 14,0 | 7 |
| | min | 10,5 | 12,8 | 0 | 1,0 | |
| | среднее | 21,2 | 45,2 | 0,9 | 5,3 | |
| июль | max | 37,5 | 89,9 | 3,2 | 11,0 | 7 |
| | min | 14,6 | 11,5 | 0 | 1,0 | |
| | среднее | 24,3 | 38,1 | 0,3 | 4,6 | |
| август | max | 37,8 | 95,7 | 17 | 12,0 | 4 |
| | min | 14,8 | 11,4 | 0 | 1,0 | |
| | среднее | 25,9 | 43,4 | 0,7 | 4,4 | |
| сентябрь | max | 27 | 98,6 | 19 | 9 | 6 |
| | min | 2,9 | 20,4 | 0 | 1,0 | |
| | среднее | 15,7 | 50,5 | 1,1 | 4,3 | |

Примечание: цветом выделены значения параметров в период наибольших термических повреждений листьев и побегов.



Термические повреждения различных видов древесных растений в защитных лесных насаждениях и городских посадках

Наибольшие повреждения в защитных лесных насаждениях (ЗЛН) отмечены у берёзы повислой (*Betula pendula* Roth), которая во всех местообитаниях оказалась чувствительной к воздействию экстремально высоких температур (см. рис.). Наибольшее

количество её деревьев отнесено нами к IV классу термических повреждений, многие из которых суховершинны. Сильному воздействию высоких температур и засухи подверглись также посадки яблони лесной (*Malus sylvestris*) и груши лесной (*Pyrus*

pyraaster) и караганы древовидной (*Caragana arborescens*) – 4,0-4,3 балла.

Среднеустойчивыми к термическому фактору в ЗЛН оказались клён остролистный *Acer platanoides* L. (3,9 балла), клён ясенелистный *A. negundo* L. (3,7 балла) и клён татарский *A. tataricum* L. (3,5 балла). Несколько выше жароустойчивость робинии лжеакация *Robinia pseudoacacia* L. (средний балл повреждения варьирует от 3,2 до 3,6), ясеня пушистого *Fraxinus pubescent* (3,2 балла), вяза гладкого *Ulmus laevis* Pall. (3,1 балла) и вяза приземистого *Ulmus pumila* L. (2,8 балла). Довольно устойчивы к высокой температуре воздуха дуб черешчатый *Quercus robur* L. (2,8 балла у раскидистой формы и 2,6 – у пирамидальной) и тополь чёрный *Populus nigra* L. (2,7 балла). Наименее повреждены в ЗЛН ясень ланцетный *Fraxinus lanceolata* Borkh. (2,5 балла) и обыкновенный *Fraxinus excelsior* L. (2,3 балла).

В озеленительных посадках г. Волгограда сильнее всех повреждены берёза повислая (4,3 балла) и каштан обыкновенный *Aesculus hippocastanum* L. (4,5–4,9 балла).

Среднюю степень повреждения имеют клён ясенелистный (3,2 балла) и клён остролистный (3,5). Значительно слабее повреждены вяз приземистый (2,7 балла), дуб черешчатый (2,6) и тополя: чёрный (2,8), белый *Populus alba* L. (2,7) и бальзамический *Populus balsamifera* (2,5). Наиболее устойчивым к термическому воздействию оказался ясень обыкновенный, степень повреждения которого составила в среднем 2,4 балла.

Увеличение степени термического повреждения ЗЛН оказало, как показали исследования, значительное влияние на распространение и развитие возбудителей болезней растений (табл. 2), таксономический состав которых во всех биотопах был довольно сходным. В насаждениях со средней и сильной степенью термического повреждения деревьев возросла степень распространения и развития сосудистых патологий (трахеомикоза дуба, графтиоза, вилта клёна), некрозов, бактериальных и раковых заболеваний, но снизилась инфицированность возбудителями мучнистой росы, ржавчины и пятнистостей листьев, что подтверждено статистически (табл. 3 и 4).

Таблица 2

Состав фитопатогенов в ЗЛН Волгоградской области и степень развития болезней древесных растений при различном их термическом повреждении

| Степень термического повреждения деревьев | Болезни древесных растений в ЗЛН | Степень развития болезни, % | Болезни древесных растений в урбозкосистемах | Степень развития болезни, % |
|---|----------------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|
| Слабая (1-3 балла) | мучнистая роса | 14,0-56,0 | мучнистая роса | 7,0- 35,0 |
| | ржавчина листьев | 9,0-14,0 | ржавчина листьев | 11,0-16,0 |
| | пятнистости | 5,0-15,0 | пятнистости | 7,0-17,0 |
| | трахеомикоз | 18,0-23,0 | графтиоз | 6,0-15,0 |
| | графтиоз | 12,0-27,0 | некрозы | 9,0-17,0 |
| | некрозы | 7,1-27,0 | бактериозы | 3,0-16,4 |
| | бактериозы | 5,0-18,0 | вилт клена | 3,0-8,0 |
| | вилт клена | 1,5-9,5 | поперечный рак | 5,5-19,0 |
| | эндоксилиновый рак | 1,5-3,2 | | |
| Средняя и сильная (4-5 баллов) | поперечный рак | 3,6-16,2 | | |
| | мучнистая роса | 10,0-32,0 | мучнистая роса | 3,0-25,0 |
| | ржавчина листьев | 7,0-9,0 | ржавчина листьев | 6,0-11,0 |
| | пятнистости | 3,0-10,5 | пятнистости | 5,0-12,5 |
| | трахеомикоз | 27,0-34,1 | графтиоз | 8,0 - 25,0 |
| | графтиоз | 17,0 - 34,7 | некрозы | 11,0 - 28,0 |
| | некрозы | 17,0 – 34,6 | бактериозы | 10,0-22,0 |
| | бактериозы | 10,0-25,0 | вилт клена | 5,0-15,0 |
| | вилт клена | 5,5-14,5 | поперечный рак | 9,0-26,0 |
| поперечный рак | 7,0-18,0 | трутовые грибы | 3,0-9,0 | |
| трутовые грибы | 5,0-9,0 | | | |

Примечание: цветом выделены наибольшие показатели развития болезней.

Таблица 3

Влияние силы тепловых повреждений на развитие болезней древесных растений в ЗЛН

| Источник вариации | SS | MS | F _{факт} | P | F _{0,5} |
|-------------------------------------|--------|--------|-------------------|----------|------------------|
| <i>Мучнистая роса</i> | | | | | |
| Степень термического повреждения | 1020,7 | 1020,7 | 9,1 | 0,004 | 4,09 |
| Случайные факторы-шумы | 4260,6 | 112,1 | - | - | - |
| <i>Трахеомикоз</i> | | | | | |
| Степень термического повреждения | 955,8 | 955,8 | 230,0 | 1,05E-17 | 4,09 |
| Случайные факторы-шумы | 157,9 | 4,15 | - | - | - |
| <i>Голландская болезнь ильмовых</i> | | | | | |
| Степень термического повреждения | 537,6 | 537,6 | 23,9 | 1,87E-05 | 4,09 |
| Случайные факторы-шумы | 854 | 22,4 | - | - | - |
| <i>Некрозы</i> | | | | | |
| Степень термического повреждения | 828,6 | 828,6 | 26,0 | 9,69E-06 | 4,09 |
| Случайные факторы-шумы | 1210,3 | 31,8 | - | - | - |
| <i>Бактериозы</i> | | | | | |
| Степень термического повреждения | 428,4 | 428,4 | 28,8 | 4,11E-06 | 4,09 |
| Случайные факторы-шумы | 563,9 | 14,8 | - | - | - |

Примечание: SS – сумма квадратов отклонений; MS – средний квадрат; F_{факт} – критерий Фишера фактический; P – уровень значимости; F_{0,5} – табличное значение критерия Фишера для 5 %-го уровня значимости.

Таблица 4

Влияние силы тепловых повреждений на распространение болезней деревьев в условиях города

| Источник вариации | SS | MS | F _{факт} | P | F _{0,5} |
|-------------------------------------|--------|-------|-------------------|----------|------------------|
| <i>Мучнистая роса</i> | | | | | |
| Степень термического повреждения | 971,2 | 971,2 | 16,9 | 0,0001 | 4,09 |
| Случайные факторы-шумы | 2173,1 | 57,1 | - | - | - |
| <i>Голландская болезнь ильмовых</i> | | | | | |
| Степень термического повреждения | 505,6 | 505,6 | 24,6 | 1,46E-05 | 4,09 |
| Случайные факторы-шумы | 778,0 | 20,4 | - | - | - |
| <i>Некрозы</i> | | | | | |
| Степень термического повреждения | 418,0 | 418,0 | 29,7 | 3,18E-06 | 4,09 |
| Случайные факторы-шумы | 533,9 | 14,0 | - | - | - |

Заключение. Таким образом, проведенные нами исследования показали, что различные виды деревьев, используемые для создания защитных лесных насаждений в Волгоградской области, существенно отличаются между собой по устойчивости к засухе и термическому воздействию. Наиболее сильно пострадали от жары 2014 года берёза повислая, яблоня лесная, груша лесная, карагана древовидная и каштан обыкновенный. Среднюю устойчивость имеют робиния лжеакация, клён остролистный и ясенелистный. Наиболее термоустойчивыми оказа-

лись вяз приземистый, тополь чёрный, дуб черешчатый (пирамидальная форма), ясень обыкновенный и ланцетный, которые наиболее целесообразно использовать в полезащитном лесоразведении на юго-востоке европейской части России. Термические повреждения древесных растений в насаждениях ведут к их ослаблению и развитию инфекционных болезней, среди которых наиболее опасны некрозно-раковые и сосудистые патологии. В годы засух и аномальной жары снижается развитие мучнистой росы, инфекционных пятнистостей и гнилей.

Список литературы

1. Володченкова, Л.А. Кризисные экологические ситуации в эволюции лесного биоценоза / Л.А. Володченкова // III Всероссийская научно-практическая конференция «Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функ-

ционирования», 1-5 марта 2010. – Нижний Тагил: НТГСПА, 2010. – С.137-139.

2. Ведерников, Н.К. Пространственная типология и санитарное состояние культур дуба черешчатого Северо-Западного Прикаспия / Н.К.

Ведерников // Рубки и восстановления леса Нижнего и Среднего Поволжья: Сб. научных тр. – М.: ВНИИЛМ, 2006. – С. 3-18.

3. *Озолин, Г. П.* Перспективы биологических методов борьбы с вредителями и болезнями в защитных лесных насаждениях / Г.П. Озолин, В.Ю. Щепланов, Е.А. Крюкова // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1978. – № 2. – С. 83-89.

4. *Шульга, В. Д.* Устойчивость мелиоративных древостоев степных ландшафтов / В.Д. Шульга. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2002. – 158 с.

5. *Савельева, Л.С.* Устойчивость деревьев и кустарников в защитных лесных насаждениях / Л.С. Савельева. – М.: Лесная промышленность, 1975. – 168 с.

6. *Сурова, Н.А.* Современное состояние лесных экосистем Самарской Луки под влиянием негативных факторов среды обитания / Н.А. Сурова // Проблемы региональной и глобальной экологии: Сб. тр. Международ. науч.-практ. конф. – Самара, 2011. – С. 27-34.

7. *Зарипов, И.А.* Инновационные подходы к повышению экологической и экономической эф-

фективности лесных полос в условиях глобального потепления / И.А. Зарипов // Никоновские чтения. – 2009. – № 14. – С. 138-141

8. *Овчаренко, А. А.* Оценка устойчивости древесных растений запада Саратовской области к экстремально высоким температурам и засухе / А.А. Овчаренко, А.М. Кузьмичев // Молодой учёный. – 2011. – № 9. – С. 87-91.

9. *Чумаков, А. К.* Основные методы фитопатологических исследований / А.К. Чумаков, И.И. Минкевич, Ю.И. Власов и др. – М.: Колос, 1974. – 250 с.

10. *Крюкова, Е. А.* Биологические основы защиты дуба и вяза от инфекционного усыхания / Е.А. Крюкова, Т.С.Плотникова. – М.: Агропромиздат, 1991. – С. 84-86.

11. *Кузьмичёв, Е. П.* Инфекционные болезни городских насаждений и меры борьбы с ними / Е.П. Кузьмичёв, Э.С. Соколова, Е.Г. Куликова. – М.: Изд-во МГУЛ, 2002. – 87 с.

12. Архив погоды г. Волгограда и областных центров [Электронный документ]. Режим доступа: <http://meteo7.ru/station> (дата обращения: 30.09.2014).

Статья поступила в редакцию 21.04.15.

Сведения об авторах

СКУРАТОВ Илья Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт. Область научных интересов – фитопатология, микология, дендрология, экология. Автор 38 публикаций.

КРЮКОВА Елена Андреевна – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт. Область научных интересов – фитопатология, микология, дендрология, экология. Автор 230 публикаций.

UDC 635.9+ 632.3

HIGH TEMPERATURES INFLUENCE ON WOODY PLANTS CONDITION AND THEIR PATHOGENS IN PROTECTIVE STANDS OF LOWER VOLGA REGION

I. V. Skuratov, E. A. Krukova

Russian Research Agroforestry Institute,
97, Universitetskiy pr., Volgograd, 400062, Russian Federation
E-mail: yustin_lubimaja@bk.ru

Ke ywords: *protective stands; woody plants; thermal injury; contagious and noncontagious diseases.*

ABSTRACT

The studies were carried out in 2014 (dry year) in protective stands of different purpose and design, and in the greeneries of the Volgograd region. The analysis for thermal stability of woody plants is carried out on the basis of the analysis of the range of structural changes for the crowns of trees. It was determined that various tree species, used to establish protective forest stands, considerably differed from each other on drought resistance and thermal influence. European white birch, European wild apple, wild pear tree, Siberian pea shrub, and Common horse chestnut were the species to have suffered from the drought in 2014 most of all. Black locust, Norway maple, and Canadian maple are the species of mean stability to high temperatures. Siberian elm, Black poplar, English oak (pyramidal), European ash, and Green ash were found to be the most thermally stable species. Thus, it is desirable to plant them establishing the protective stands on the south-eastern part of Russia. Thermal injuries of woody plants in the stands provoke weakening of the trees and noncontagious diseases occurrence. Carcinous and vascular malformations are considered to be the most dangerous. In hot summers, number of powdery mildew, infectious mottling, and rots decreases.

REFERENCES

1. Volodchenkova L.A. Krizisnye ekologicheskie situatsii v evolutsii lesnogo biotsenoza [Crisis Ecological Situations in Forest Biocenosis Evolution]. *III Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Biologicheskie sistemy: ustoychivost, printsipy i mekhanizmy funktsionirovaniya», 1-5 marta 2010* [III Russian Research and Practical Conference «Biological Systems: Sustainability, Principles, and Mechanisms of Functioning», March, 1-5 2010]. Nizhni Tagil: NTGSPA, 2010. Pp. 137-139
2. Vedernikov N.K. Prostranstvennaya tipologiya i sanitarnoe sostoyanie kultur duba chereschatogo Severo-Zapadnogo Prikaspiya [Spatial Typology and Sanitary Condition of Planted English Oak in North-Western Caspian Sea Region]. *Rubki i vosstanovleniya lesa Nizhnego i Srednego Povolzhya: Sb. nauchnykh tr.* [Fellings and Forest Restoration in Lower and Middle Volga Region: collected papers]. Moscow: VNIILM, 2006. Pp. 3-18.
3. Ozolin G. P., Sheblanov V.Yu., Krukova E.A. Perspektivy biologicheskikh metodov borby s vreditelyami i boleznymi v zashchitnykh lesnykh nasazhdeniyakh [Perspectives for Biological Control of Pests and Diseases in Protective Forest Stands]. *Vestnik selskokhozyaystvennoy nauki* [Vestnik of Agriculture]. 1978. № 2. Pp. 83-89.
4. Shulga V. D. *Ustoychivost meliorativnykh drevostoev stepnykh landshaftov* [Sustainability of Ameliorative Stands in Steppe Landscapes]. Volgograd: VNIALMI, 2002. 158 p.
5. Saveleva L.S. *Ustoychivost derevev i kustarnikov v zashchitnykh lesnykh nasazhdeniyakh* [Sustainability of Trees and Shrubs in Protective Forest Plantation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1975. 168 p.
6. Surova N.A. Sovremennoe sostoyanie lesnykh ekosistem Samarskoy Luki pod vliuaniem negativnykh faktorov sredi obitaniya [Present-day Condition of Forest Ecosystems in Samara Luka under Negative Environment Factors]. *Problemy regionalnoy i globalnoy ekologii: sb. tr. Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf.* [Problems of the World and Regional Ecology: proceedings of International research and practical conference]. Samara, 2011. Pp. 27-34.
7. Zaripov I.A. Innovatsionnye podkhody k povysheniю ekologicheskoy i ekonomicheskoy effektivnosti lesnykh polos v usloviyakh globalnogo potepeniya [Innovative Approaches to Ecological and Economic Efficiency Improvement of Forest Strips in Conditions of the Global Warming]. *Nikonovskie chteniya* [Nikonov Readings]. 2009. № 14. Pp. 138-141.
8. Ovcharenko A. A., Kuzmichev A.M. Otsenka ustoychivosti drevesnykh rasteniy zapada Saratovskoy oblasti k ekstremalno vysokim temperaturam i zasukhe [Assessment of Woody Plants Sustainability to Extremely High Temperatures and Drought in Western Saratov Region]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist]. 2011. № 9. Pp. 87-91.
9. Chumakov A. K., Minkevich I.I., Vlasov Yu.I., et al. *Osnovnye metody fitopatologicheskikh issledovaniy* [Basic Methods for Phytopathological Studies]. Moscow: Kolos, 1974. 250 p.
10. Krukova E. A., Plotnikova T.S. *Biologicheskie osnovy zashchity duba i vyaza ot infektsionnogo usykhaniya* [Biological Basis for Oak and Elm Protection from Infectious Drying out]. Moscow: Agropromizdat, 1991. Pp. 84-86.
11. Kuzmichev E. P., Sokolova E.S., Kulikova E.G. *Infektsionnye bolezni gorodskikh nasazhdeniy i mery borby s nimi* [Contagious Diseases of Urban Plantations and Control Measures]. Moscow: Izdatelstvo MGUL, 2002. 87 p.
12. Arkhiv pogody g. Volgograda i oblastnykh tsentrov [Weather Archive (Volgograd and Volgograd Region)]. URL: <http://meteo7.ru/station> (Reference date: 30.09.2014).

The article was received 21.04.15.

Citation for an article: Skuratov I. V., Krukova E. A. High temperatures influence on woody plants condition and their pathogens in protective stands of Lower Volga region. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2015. No 2 (26). Pp. 37-43.

Information about the authors

SKURATOV Ilya Vladimirovich – Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Russian Research Agroforestry Institute. Research interests – phytopathology, fungology, dendrology, ecology. The author of 38 publications.

KRUKOVA Elena Andreyevna – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Russian Research Agroforestry Institute. Research interests – phytopathology, fungology, dendrology, ecology. The author of 230 publications.

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 676.0(045)

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОТВОДА ТЕПЛА ИЗ МАССИВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ В УСЛОВИЯХ КУЧЕВОГО ХРАНЕНИЯ

Д. А. Братилов, А. Н. Деснев

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
Российская Федерация, 163002, Архангельск, набережная Северной Двины, 17
E-mail: Dmitry-Bratilov@yandex.ru; a_desnev@sovintel.ru

В статье приведено описание конструкции и даны рабочие характеристики теплового элемента, предназначенного для отвода излишнего тепла из массы технологической щепы при хранении её кучевым способом. Проблема заключается в самопроизвольном нагреве щепы до температуры тления и самовоспламенения под воздействием жизнедеятельности микроорганизмов, в результате чего ухудшается качество технологической щепы и возникает пожароопасная ситуация. Для предотвращения негативных последствий предлагается отводить излишнее тепло от технологической щепы с помощью системы, состоящей из тепловых труб.

Ключевые слова: технологическая щепа; открытый способ хранения щепы; тепловая труба; тепловой элемент; температурный напор; температура тления; температура самовоспламенения; математическая модель.

Введение. Технологические процессы переработки древесины предусматривают измельчение цельной древесины в технологическую щепу. Хранение щепы на открытых складах осуществляется путём формирования куч. Одним из недостатков такого способа хранения является самопроизвольный нагрев щепы до температуры тления и самовоспламенения под воздействием жизнедеятельности микроорганизмов. В результате тления уменьшается содержание целлюлозы, изменяется химический состав древесины, что приводит к безвозвратным потерям значительного количества кондиционной технологической

щепы. Развитие процесса тления приводит к самовоспламенению щепы и, как следствие, к пожароопасной ситуации [1].

Наиболее интенсивно щепа нагревается в центре кучи, аккумулируя значительное количество тепла. Для предотвращения процесса разогрева щепы необходимо из центральной зоны кучи временно отводить излишнее тепло и понижать температуру. Данную задачу можно решить с помощью системы теплоотводящих элементов, выполненную на основе тепловых труб. Опыт применения тепловых труб имеется в различных отраслях промышленности [2–4].

© Братилов Д. А., Деснев А. Н., 2015.

Для цитирования: Братилов Д. А., Деснев А. Н. Устройство для отвода тепла из массива технологической щепы в условиях кучевого хранения // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 2 (26). – С. 44-49.

Тепловая труба – это герметичное испарительно-конденсационное устройство с использованием капиллярных сил, служащее для передачи тепла и работающее по замкнутому циклу [4]. Корпус трубы состоит из испарительной, конденсационной, транспортной зон и капиллярной структуры. В качестве теплоносителя используется легкокипящая жидкость.

Цель работы – исследовать опытный образец устройства для отвода тепла из массива технологической щепы в условиях кучевого хранения.

Решаемые задачи: разработать и изготовить опытный образец тепловой трубы; экспериментально изучить тепловой напор трубы [5–8].

Методика исследования. Нами разработана конструкция низкотемпературной тепловой трубы для отвода тепла из кучи технологической щепы. Труба изготовлена из нержавеющей стали 08×13 толщиной 2,5 мм и диаметром 50 мм. Корпус трубы состоит из цилиндрической и конической частей и имеет клапанную крышку, которая соединена с трубой резьбовым соединением через уплотнитель (рис. 1, а). Клапан предназначен для заполнения трубы легкокипящей жидкостью. Рукояти, расположенные рядом с клапаном, необходимы для перемещения трубы. Внутренний объем трубы составляет 2,65 л, из которых на коническую часть приходится 0,83 л.

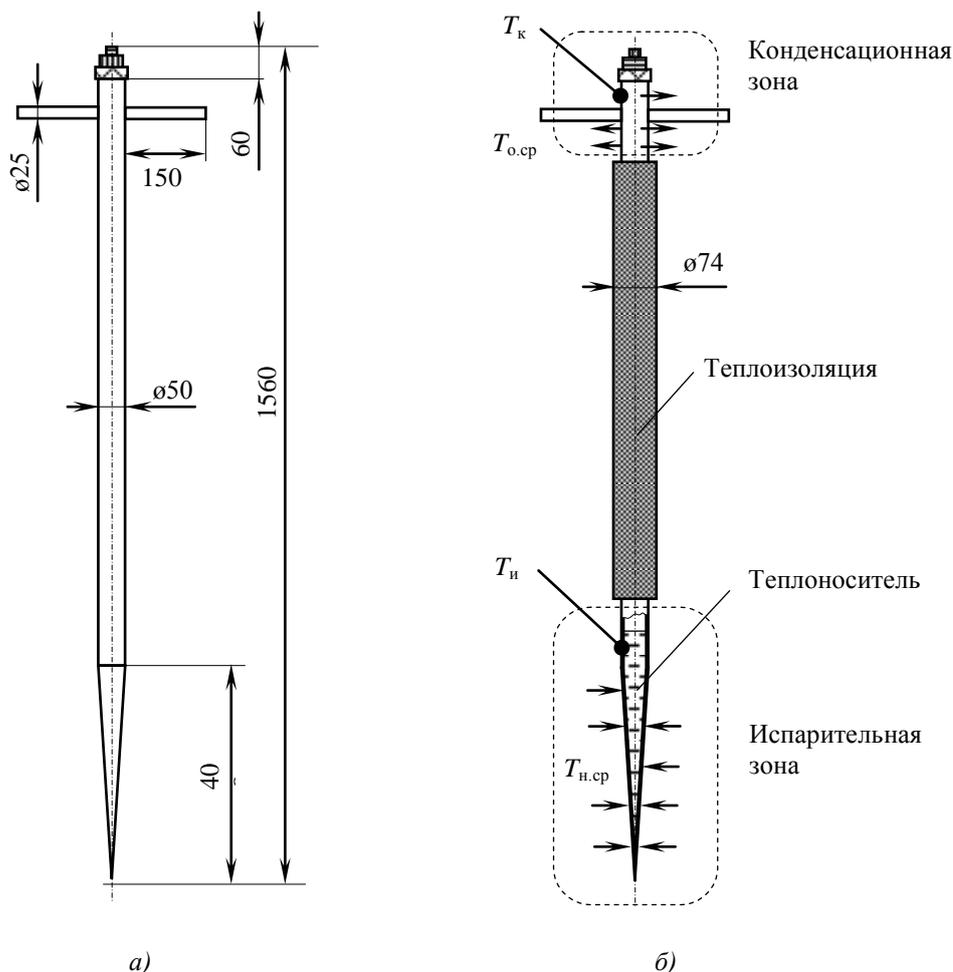


Рис. 1. Теплоотводящий элемент: а – тепловая труба; б – схема эксперимента;
 $T_{н,сп}$ – температура нагретой среды; T_n – температура трубы в зоне испарения;
 T_k – температура трубы в зоне конденсации; $T_{о,сп}$ – температура окружающей среды

Для оценки количества тепла, которое можно отвести из кучи, необходимо знать температурную характеристику теплоотводящего элемента. С этой целью было проведено экспериментальное исследование опытного образца тепловой трубы. В качестве теплоносителя использовали ацетон с температурой кипения 56°C . Температура окружающего воздуха $T_{\text{о.ср}}$ 16°C . План эксперимента предусматривал два переменных фактора: температура нагретой среды $T_{\text{н.ср}}$, $^{\circ}\text{C}$; объём теплоносителя $V_{\text{тн}}$, л. Для каждого фактора было выбрано пять уровней. Схема эксперимента представлена на рис. 1, б. Площадь поверхности нагрева 780 см^2 , площадь поверхности охлаждения 390 см^2 , соотношение 2 к 1. Измеряли температуру трубы в зоне испарения $T_{\text{и}}$ $^{\circ}\text{C}$ и в зоне конден-

сации $T_{\text{к}}$ $^{\circ}\text{C}$, затем определяли температурный напор ΔT , $^{\circ}\text{C}$

$$\Delta T = T_{\text{и}} - T_{\text{к}}. \quad (1)$$

Полученные результаты. Результаты наблюдений представлены в таблице.

Математическое моделирование и интерпретация результатов. Регрессионный анализ результатов наблюдений позволил определить математическую зависимость температурного напора ΔT , $^{\circ}\text{C}$ от температуры нагретой среды $T_{\text{н.ср}}$, $^{\circ}\text{C}$ и объёма теплоносителя в трубе $V_{\text{тн}}$, л

$$\Delta T = -19,091 + 30,489 \cdot V_{\text{тн}} + 0,673 \cdot T_{\text{н.ср}} - 32,514 \cdot V_{\text{тн}}^2 + 0,170 \cdot V_{\text{тн}} \cdot T_{\text{н.ср}} + 0,0001 \cdot T_{\text{н.ср}}^2. \quad (2)$$

Графически зависимость (2) представлена на рис. 2 в виде поверхности

Температурный напор ΔT , $^{\circ}\text{C}$

| Объём теплоносителя $V_{\text{тн}}$, л | Температура нагретой среды $T_{\text{н.ср}}$, $^{\circ}\text{C}$ | | | | |
|---|---|------|------|------|------|
| | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| 0,2 | 13,1 | 30,1 | 42,6 | 61,4 | 67,3 |
| 0,4 | 17,9 | 37,4 | 48,7 | 61,4 | 79,9 |
| 0,6 | 18,0 | 29,9 | 48,3 | 61,6 | 81,4 |
| 0,8 | 12,6 | 37,4 | 45,9 | 68,3 | 97,5 |
| 1,0 | 15,6 | 32,1 | 47,7 | 63,6 | 73,2 |

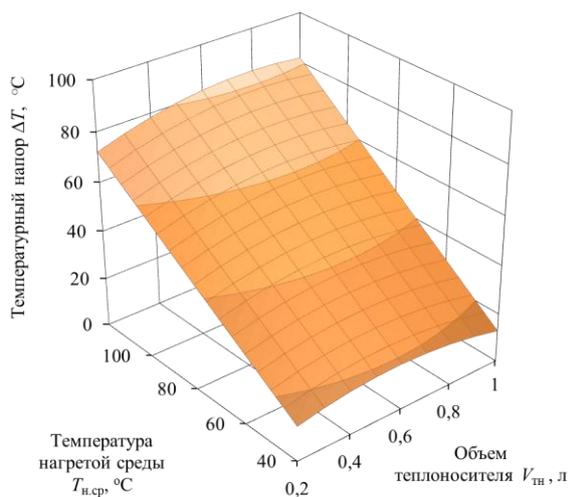


Рис. 2. Математическая модель зависимости температурного напора ΔT от температуры нагретой среды $T_{\text{н.ср}}$ и объёма теплоносителя $V_{\text{тн}}$

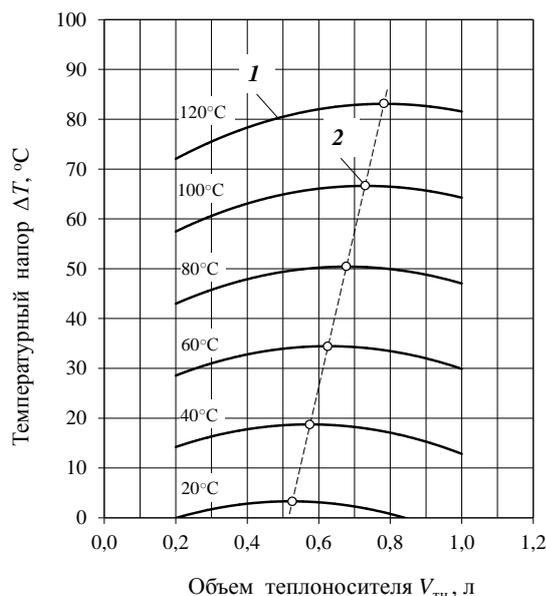


Рис. 3. Оптимальный объем жидкости в теплоотводящем элементе при различных температурах нагретой среды: 1 – изотерма; 2 – значение оптимального объема жидкости

Из формулы (2) следует, что ΔT линейно зависит от температуры в зоне нагрева $T_{н.ср}$ и значимо зависит от $V_{тн}^2$. Следовательно, можно определить объем жидкости в трубе, при котором труба наиболее эффективно отводит тепло. Диапазон объема жидкости для исследованного теплового элемента определен 0,6...0,8 л в зависимости от температуры в зоне нагрева (рис. 3).

Выводы. Полученная математическая зависимость позволяет определить количество тепла, которое теплоотводящий элемент может перенести из массива насыпной кучи технологической щепы в окружающую среду, контролировать и регулировать процесс аккумуляции тепла в массиве при помощи установки необходимого количества теплоотводящих элементов.

Список литературы

1. Головкин, С.И. Энергетическое использование древесных отходов / С.И. Головкин, И.Ф. Коперин, В.И. Найденков. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 224 с.
2. Ивашов, Е.Н., Применение тепловых трубок в нанотехнологиях / Е.Н. Ивашов, К.Д. Федотов // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 1. – С. 48-51.
3. Гоголев, Г.В. Исследование артериальных низкотемпературных тепловых труб для теплообменного оборудования СЭУ / Г.В. Гоголев, В.А. Тимофеев // Вестник СевГТУ. Сер.: Механика, энергетика, экология. – 2008. – Вып. 85. – С. 82-86.
4. Ивановский, М.Н. Технологические основы тепловых труб / М.Н. Ивановский, В.П. Сорокин, И.В. Ягодкин. – М.: Атомиздат, 1980. – 256 с.
5. Кузнецов, Г.В. Численное моделирование тепло-массопереноса в низкотемпературной тепловой трубе / Г.В. Кузнецов, А.Е. Ситников // Инженерно-физический журнал. – 2002. – Т. 75, № 4. – С. 58-64.
6. Колоусова, А.А. Температурный режим тепловой трубы при неоднородном теплообмене не ее внешнем контуре / А.А. Колоусова, Г.В. Кузнецов // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307, № 6. – С. 98-101.
7. Ибрагимов, Э.В. Экспериментальные исследования инновационных конструкций пологонаклонных термостабилизаторов грунта / Э.В. Ибрагимов, Я.А. Кроник, Е.В. Куплинова // Вестник ТГАСУ. – 2014, № 4. – С. 208-220.
8. Лукс, А.Л. Анализ основных расчетных и экспериментальных теплофизических характеристик аммиачных тепловых труб повышенной тепловой проводимости из алюминиевых сплавов / А.Л. Лукс, А.Г. Матвеев // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. – 2008. – № 3. – С. 331-357.

Статья поступила в редакцию 30.04.15.

Информация об авторах

БРАТИЛОВ Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры древесиноведения и технологии деревообработки, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. Область научных интересов – технология механической обработки древесины, композиционные материалы на основе древесины, деревянное домостроение. Автор шести публикаций.

ДЕСНЕВ Александр Николаевич – ассистент кафедры гражданской защиты, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. Область научных интересов – физические свойства древесных материалов, промышленная безопасность. Автор 10 публикаций.

UDC 676.0(045)

DEVICE FOR HEAT TRANSFER FROM CHIPPINGS WHEN STORAGE IN HEAPS

D. A. Bratilov, A. N. Desnev

Northern (Arctic) Federal University,
17, Sev. Dviny nab., Arkhangelsk, 163002, Russian Federation
E-mail: Dmitry-Bratilov@yandex.ru; a_desnev@sovintel.ru

Key words: chippings; open woodchips storage; heat pipe; thermal element; temperature difference; smoulder temperature; self-ignition temperature; mathematical model.

ABSTRACT

Introduction. Woodprocessing enterprises store chippings and other particulate wood-base materials at the unsheltered storage area in the heaps. Serious shortcoming of the mode of storage is spontaneous heating of chippings up to smoulder temperature and its spontaneous ignition caused by vital activity of microorganisms. As a result of smoldering, cellulose content is decreased and timber chemical composition is changed. It leads to permanent losses of vast number of chippings and provokes fire hazardous situation. Chipping is heated in the center of a heap most of all, accumulating heat. Thus, it is obligatory to deflect the heat and lower the temperature of chippings. It is possible to solve the problem with the help of system of heat-removing elements, made on the basis of heat pipes. **The goal of the research** is to study a test model of a device for heat transfer from chippings when storage in heaps. **Tasks in hand** is to develop and produce a test model of heat pipe, and to experimentally study pipe temperature head. **Research technique.** The test model of heat pipe made of stainless steel 08X13 (2,5 mm width and 50 mm diameter) was elaborated and produced. Body of pipe consists of cylindrical and conical portions and it includes valve cover. The valve is meant for pipe filling with low boiling liquid. Pipe capacity is 2,65 l. Acetone with 56°C boiling temperature was used as heat-transfer material. Surrounding air temperature ($T_{sur.air}$) was 16°C. The plan of experiment included two variable factors: temperature of heated medium $T_{heated\ medium}$, °C; and volume of heat carrier $V_{heat\ carrier\ volume}$, l. Pipe temperature in the evaporation zone $T_{evaporation}$ °C and $T_{condensation}$ °C in the condensation zone were measured in the course of the experiment, than temperature difference ΔT , °C was defined

$$\Delta T = T_{evaporation} - T_{condensation} \quad (1)$$

Mathematic simulation and results interpretation. Regression analysis made it possible to define mathematic dependence of temperature difference ΔT , °C on the temperature of heated medium $T_{heated\ medium}$, °C and heat carrier volume in the pipe $V_{heat\ carrier\ volume}$, l.

$$\Delta T = -19,091 + 30,489 \cdot V_{heat\ carrier\ volume} + 0,673 \cdot T_{heated\ medium} - 32,514 \cdot V_{heat\ carrier\ volume}^2 + 0,170 \cdot V_{heat\ carrier\ volume} \cdot T_{heated\ medium} + 0,0001 \cdot T_{heated\ medium}^2 \quad (2)$$

Equation (2) allowed to define that pipe rejected heat more intensively when it was filled with heat-transfer material up to 0,23...0,30 of its inner volume. **Conclusions.** The obtained mathematical relation allows to define the necessary heat, which heat-transmitting element may transfer from the heap of chippings into the environment, consequently, it is the device for heat spreading system design.

REFERENCES

1. Golovkov S.I., Koperin I.F., Naidenov V.I. *Energeticheskoe ispolzovanie drevesnykh otkhodov* [Wood Wastes Usage for Power Generation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1987. 224 p.
2. Ivashov E.N., Fedotov K.D. *Primenenie teplovykh trubok v nanotekhnologiyakh* [Application of Heat Pipes in Nanotechnology]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Success of Modern Natural Sciences]. 2014. № 1. Pp. 48-51.
3. Gogolev G.V., Timofeev V.A. *Issledovanie arterialnykh nizkotemperaturnykh teplovykh trub dlya teploobmennogo oborudovaniya SEU* [Study of Arterial Low-Temperature Heat Pipes for Heat-Exchange Equipment of Ship Power Plant]. *Vestnik SevGTU*.

Ser.: Mekhanika, energetika, ekologiya. [Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Ser.: Mechanics, Energetics, Ecology]. 2008. Issue 85. Pp. 82-86.

4. Ivanovskiy M.N., Sorokin V.P., Yagodkin I.V. Tekhnologicheskie osnovy teplovykh trub [Technology of Heat Pipes]. Moscow: Atomizdat, 1980. 256 p.

5. Kuznetsov G.V., Sitnikov A.E. Chislennoe modelirovanie teplo-massoperenosa v nizkoterperaturnoy teplovoy trube [Numerical Simulation of Heat and Mass Transfer in Low-Temperature Heat Pipe]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal* [Engineering and Physics Journal]. 2002. Vol. 75. № 4. Pp. 58–64.

6. Kolousova A.A., Kuznetsov G.V. Temperaturnyy rezhim teplovoy trubyy pri neodnorodnom teploobmene na ee vneshnem konture [Temperature Condition of Heat Pipe When Irregular Heat Exchange on Its Outer Boundary]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [News of Tomsk

Polutechnical University]. 2004. Vol. 307, № 6. Pp. 98–101.

7. Ibragimov E.V., Kronik Ya.A., Kuplino-va E.V. Eksperimentalnye issledovaniya innovatsionnykh konstruksiy pologo-naklonnykh termostabilizatorov grunta [Experimental Researches of Innovative Facilities of Oblique Soil Heat Stabilizer]. *Vestnik TGASU* [Vestnik of TGASU]. 2014. № 4. Pp. 208–220.

8. Luks A.L., Matveev A.G. Analiz osnovnykh raschetnykh i eksperimentalnykh teplofizicheskikh kharakteristik ammiachnykh teplovykh trub povyshennoy teplovoy provodimosti iz aluminievykh splavov [The Analysis of Basic Calculation and Experimental Thermophysical Characteristics of Ammoniac Heat Pipes of Higher Heat Conduction Made of Aluminum Alloys]. *Vestnik SamGU. Estestvennonauchnaya seriya.* [Vestnik of SamSU. Natural Sciences]. 2008. № 3. Pp. 331–357.

The article was received 30.04.15.

Citation for an article: Bratilov D. A., Desnev A. N. Device for heat transfer from chippings when storage in heaps. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2015. No 2 (26). Pp. 44-49.

Information about the authors

BRATILOV Dmitry Aleksandrovich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Chair of Wood Technology and Woodworking Technology, Northern (Arctic) Federal University. Research interests – technology of mechanical wood processing, composite materials based on wood, house-building of wood. The author of six publications.

DESNEV Alexander Nikolayevich – Teaching Assistant at the Chair of Civil Protection, Northern (Arctic) Federal University. Research interests – physical properties of wooden materials, industrial security. The author of 10 publications.

УДК 674*416

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШАННОГО РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ШПОН С ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ РЕЖУЩЕГО ОРГАНА

Р. Х. Гайнуллин

Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
Rishat_000@mail.ru

Анализируется проблема изучения строгания древесины на шпон. Описано техническое решение для получения шпона смешанным строганием древесины. Получена информационно-логическая модель процесса работы шпонострогального станка, а также формула производительности, пригодная для практического использования.

Ключевые слова: шпон; смешанное строгание; шпонострогальный станок; математическая модель; производительность.

Введение. В настоящее время для получения строганого шпона применяется в основном технология поперечного (относительно волокон древесины) строгания, которая подразумевает использование громоздкого и энергоёмкого оборудования [1] и продольного (относительно волокон древесины) строгания, которая предусматривает использование металлоёмкой системы РИНК (транспортёры дополнительно к шпонострогальному станку), для увеличения производительности [2]. Одним из конкурирующих вариантов получения шпона являются технология и оборудование для его смешанного строгания. Подобный шпонострогальный станок отличается отсутствием холостого хода рабочего органа и не нуждается в системе РИНК, что значительно уменьшает металлоёмкость конструкции и энергоёмкость получения шпона. В связи с этим вопросы применения технологии и оборудования для получения шпона смешанным строганием являются актуальными. В настоящее время на кафедре деревообрабатывающих производств Поволжского

государственного технологического университета ведутся научные исследования смешанного резания древесины на шпон. Имеются патенты на способ получения шпона вращением режущего органа [3], а также на конструкцию шпонострогального станка с вращающимся режущим органом [4], создана экспериментальная модель станка. В отличие от продольного, процесс смешанного резания древесины на шпон изучен лишь поверхностно [5,6].

Целью настоящей работы является совершенствование конструкции станка и методики оценки процесса строгания шпона путём смешанного резания древесины. Для этого поставлены следующие **задачи**: составить информационно-логическую модель работы станка и математическую модель для расчёта производительности, вывести формулу производительности в зависимости от параметров предмета труда для дальнейшей оптимизации поточной линии, в которой будет работать станок.

Шпонострогальный станок для получения шпона с вращательным движением

© Гайнуллин Р. Х., 2015.

Для цитирования: Гайнуллин Р. Х. Моделирование процесса смешанного резания древесины на шпон с вращательным движением режущего органа // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 2 (26). – С. 50-56.

режущего органа состоит из станины 1, механизма подачи 2, траверсы 9, оснащённой двумя режущими блоками с ножами и прижимными линейками 11, закреплённой на валу 15, соединённому посредством конической передачи 12 с электродвигателем 13 (рис. 1,2). Заготовки 14 фиксируются под столом 4 и устанавливаются на требуемый уровень с помощью механизма подачи 2. После пуска электродвигателя 13 конической передачи 12, которая вращает траверсу 9 со строго-

щими блоками, имеющими ножи 10 и прижимные линейки 11, вращающаяся траверса 9 срезает листы шпона, которые выводятся за пределы станка. Нужная толщина шпона достигается опусканием заготовок 14 на величину толщины срезаемого шпона, после чего траверса 9 совершает вращательное движение на пол оборота и срезает с заготовок 14 листы шпона. Цикл повторяется до тех пор, пока не будут обработаны установленные заготовки [4].

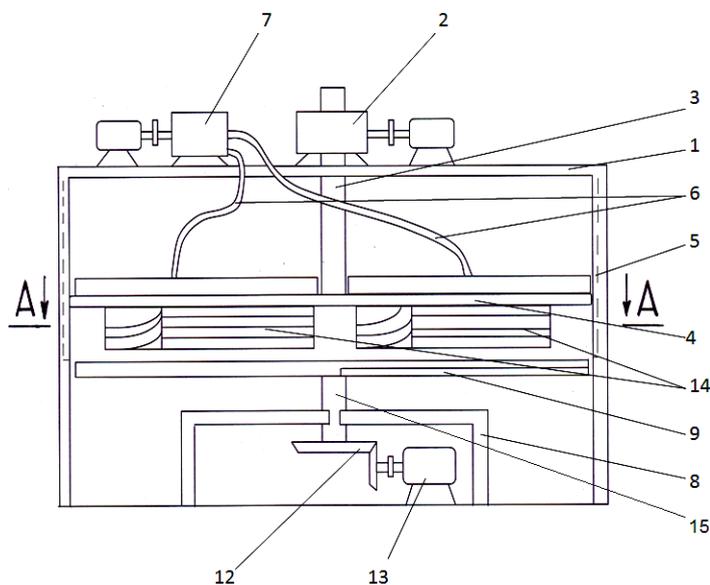


Рис. 1. Шпонострогальный станок (вид сбоку)

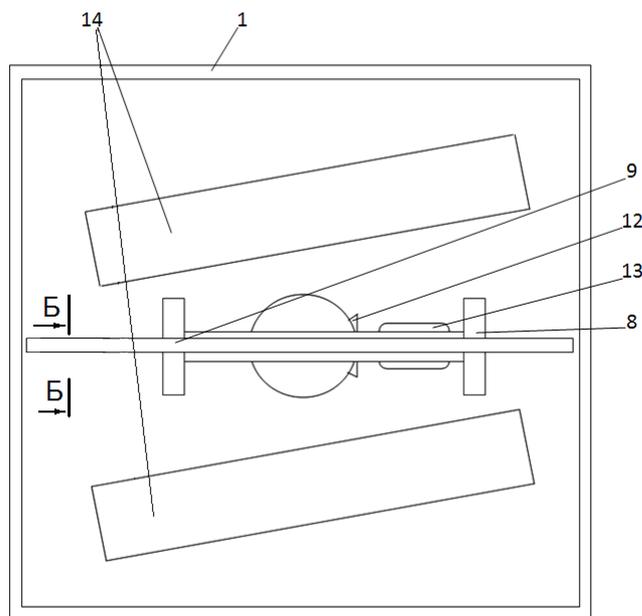


Рис. 2. Шпонострогальный станок (вид сверху)

По сравнению с продольно-строгальными и поперечно-строгальными станками, предлагаемая конструкция позволит производить строгание шпона с меньшим холостым ходом вращательного движения режущего блока, а также с нескольких заготовок в зависимости от их размеров и позволит повысить производительность при строгании шпона с наименьшей энергоёмкостью строгания.

В настоящее время на кафедре деревообрабатывающих производств Поволжского государственного технологического университета построена экспериментальная установка для строгания

шпона режущим органом, совершающим вращательное движение; установка имеет минимальное количество холостых ходов, достаточно высокое качество получаемого шпона, небольшие габариты, относительно простую конструкцию. Виды станка сверху, сбоку, вид производимого шпона приведены на рис. 3–5.

Математическое моделирование. С учётом работы [7] разработаны информационно-логическая модель процесса работы шпонострогального станка (рис. 6) и блок-схема из составляющих времени цикла $T_{ц}$ (рис. 7). Цикл представляет собой комплекс операций от установки заготовок до уборки отстругов.



Рис. 3. Экспериментальная установка (вид сбоку)



Рис. 4. Экспериментальная установка (вид сверху)



Рис. 5. Производимый шпон

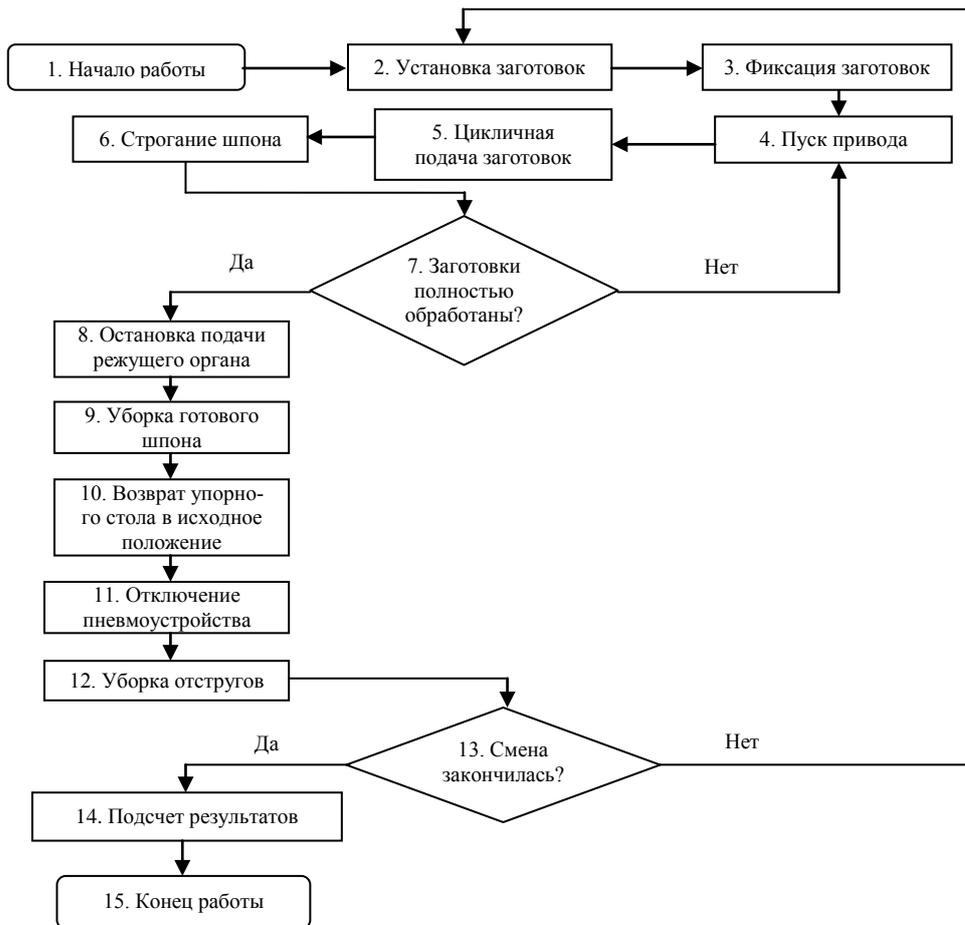


Рис. 6. Информационно-логическая модель процесса работы шпонострогального станка

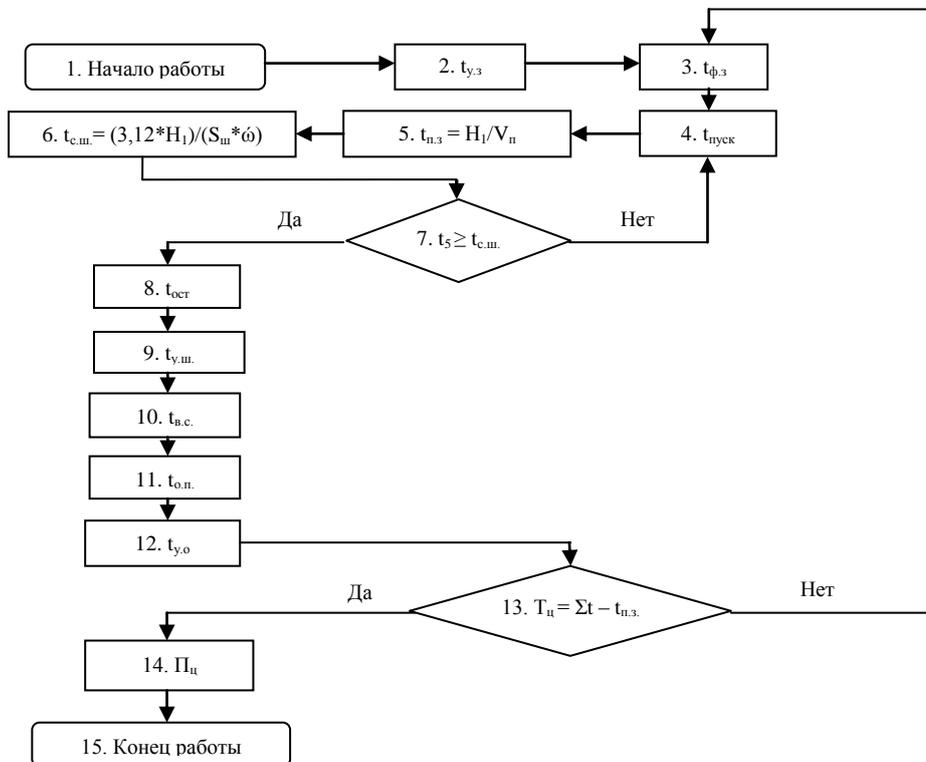


Рис. 7. Блок-схема из составляющих времени цикла $T_{ц}$

На основе информационно-логической модели разрабатывается блок-схема из составляющих времени цикла для расчёта производительности. Число блоков математической модели равно числу блоков информационно-логической модели. Для её создания выполняется символизация параметров: $t_{y.z.}$ – время установки заготовок, с; $t_{ф.з.}$ – время фиксации заготовок, с; $t_{пуск}$ – время пуска привода рабочего органа; $t_{п.з.}$ – время подачи заготовок для строгания, с; $t_{с.ш.}$ – время строгания шпона, с; $t_{ост.}$ – время остановки режущего органа, с; $t_{y.ш.}$ – время на уборку шпона, с; $t_{в.с.}$ – время на возврат упорного стола в исходное положение, с; $t_{откл.}$ – время на отключение пневмоустройства, с; $t_{y.o.}$ – время на уборку отстругов, с; H_1 – высота заготовки для строгания шпона, м; $S_{ш}$ – толщина шпона, м; $v_{п}$ – скорость подачи, м/с; T – количество часов в смене, час; ω – угловая скорость вращения вала.

Сменная производительность станка равна произведению количества циклов на производительность одного цикла, как описано в формуле (1):

$$P_{см} = N_{ц} \times P_{ц}, \quad (1)$$

где $P_{см}$ – сменная производительность станка, м²/см; $N_{ц}$ – количество циклов в смену; $P_{ц}$ – производительность одного цикла, м²/цикл.

Количество циклов в смене определяется частным от общего времени работы в смену к длительности одного цикла:

$$N_{ц} = \frac{T_p}{T_{ц}}, \quad (2)$$

где T_p – время работы, сек; $T_{ц}$ – длительность цикла, сек.

Определив произведение количества часов в смене на коэффициент использования времени смены, а также на коэффициент использования машинного времени, найдем время работы, как описано в формуле (3):

$$T_p = 3600 \times T \times \varphi_1 \times \varphi_2, \quad (3)$$

где T – количество часов в смене, ч; φ_1 – коэффициент использования времени

смены; φ_2 – коэффициент использования машинного времени.

Время, затрачиваемое в течение цикла на выполнение всех операций, суммируется в блоке 13. В момент окончания цикла выражение (блок 13) можно записать в виде

$$T_{ц} = t_{y.z.} + t_{ф.з.} + t_{пуск} + t_{п.з.} + t_{с.ш.} + t_{ост.} + t_{y.ш.} + t_{в.с.} + t_{о.н.} + t_{y.o.} \quad (4)$$

Количество получаемых листов $N_{лист}$

цикла определяется по формуле (5)

$$N_{лист} = \frac{2H_1}{S_{ш}}, \quad (5)$$

где H_1 – высота заготовки для строгания шпона, м; $S_{ш}$ – толщина шпона, м.

Производительность одного цикла $P_{ц}$ (м²/цикл) определим в формуле (6)

$$P_{ц} = N_{лист} \times L \times B, \quad (6)$$

где L – длина заготовки, м; B – ширина заготовки, м.

Подставив полученные формулы в формулу (1), находим выражение для определения производительности шпонострогального станка за одну смену

$$P_{см} = \frac{T_p}{T_{ц}} \times \frac{N_{лист} \times L \times B}{1} = \frac{3600 \times T \times \varphi_1 \times \varphi_2 \times N_{лист} \times L \times B}{T_{ц}} \left(\frac{м^2}{см} \right). \quad (7)$$

Исходя из формулы (7), очевидно, что производительность станка прямо пропорциональна линейным размерам заготовки, коэффициентам использования рабочего и машинного времени, обратно пропорциональна времени цикла и толщине получаемого шпона, что очевидно из формулы (5).

Выводы

1. Анализ работы шпонострогального станка с вращательным режущим органом может быть выполнен путём последовательного информационно-логического и математического моделирования.

2. Получена формула для расчёта производительности строгания, пригодная для практического использования.

Список литературы

1. Плахов, В.Н. Производство строганого шпона / В.Н. Плахов. – М.: Лесная промышленность, 1975. – 128 с.
2. Чемоданов, А.Н. Шпонострогальный станок с вращательным движением режущего инструмента / А.Н. Чемоданов, Риш. Х. Гайнуллин, Рен. Х. Гайнуллин, С.Е. Анисимов // Сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – 2014. – № 5, часть 4 (10-4). – С. 375-379.
3. Пат. 2373047 Российская Федерация, МПК В27L5/00. Способ изготовления строганого шпона / Гайнуллин Рен. Х., Гайнуллин Риш. Х.; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Марийский государственный технический университет. – № 2008140549/12; заявл. 13.10.2008; опубл. 20.11.2009, Бюл. №32.
4. Пат. 2484952 Российская Федерация, МПК В27L5/06. Шпонострогальный станок / Царев П. Е., Чемоданов А. Н., Гайнуллин Риш. Х., Анисимов С. Е., Гайнуллин Рен. Х.; заявитель и патентообладатель Йошкар-Ола. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Марийский государственный технический университет. – № 2011147949/13; заявл. 24.11.2011; опубл. 20.06.2013, Бюл. №17.
5. Чемоданов, А.Н. Анализ способов производства строганого шпона / А.Н. Чемоданов, Риш. Х. Гайнуллин, Рен. Х. Гайнуллин и др. // SCIENCE AND WORLD. – 2013. – № 3 (3) – С. 73-75.
6. Чемоданов, А.Н. Совершенствование производственных процессов выработки строганого шпона / А.Н. Чемоданов, Риш. Х. Гайнуллин, Рен. Х. Гайнуллин и др. // SCIENCE AND WORLD. – 2013. №4(4) – С. 101-104.
7. Василевская, П.В. Анализ основных параметров процесса строгания шпона: Обзорная информация / П.В. Василевская, Л.Г. Красовская, Л.И. Троязыкова. – М.: ВНИПИЭ, 1980. – 23 с.

Статья поступила в редакцию 18.05.15.

Информация об авторе

ГАЙНУЛЛИН Ришат Харисович – аспирант кафедры деревообрабатывающих производств, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – станкостроение для деревообрабатывающей промышленности, разработка конструкций шпонострогальных станков. Автор девяти публикаций.

UDC 674*416

SIMULATION VENEER PRODUCTION PROCESS
IN ROTARY MOTION

R. Kh. Gainullin

Volga State University of Technology,
3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: Rishat_000@mail.ru

Keywords: veneer; combined slicing; slicing machine; mathematical model; productivity.

ABSTRACT

Need of woodworking enterprises, furniture plants, and plywood mill in veneer grows day by day. Some new technologies to produce veneer are elaborated. The technologies allow to improve the quality of the product and its look, but the problem of energy intensity decrease, equipment productivity improvement, and reduction of production cost was drained. The problems of the equipment to produce veneer are considered in the paper. They are high steel intensity and energy intensity. An engineering solution is described. The solution makes it possible produce veneer by the combined wood cutting and solve the existing problems in the considered area of production. Combined wood cutting is a way of veneer slicing in rotary motion. The way minimizes noncutting, helps to improve the equipment productivity, and reduce steel intensity due to the absence of RINK system (a system of conveyer to move the wainscot around the machine). An information-logical model of the offered slicing machine was presented in the form of the complete circuit diagram as well as the formula of productivity, which is applicable to the practical use, was obtained.

REFERENCES

1. Plakhov V.N. *Proizvodstvo stroganogo shpona* [Sliced Veneer Production]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1975. 128 p.
2. Chemodanov A.N., Gainullin R.Kh., Gainullin Ren.Kh., Anisimov S.E. Shponostrogalnyy stanok s vrashchatelnym dvizheniem rezhushchego instrumenta [Slicing Machine with the Cutting Tool (Rotational Motion)]. Sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy zaachnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Collected papers of the proceedings of International distance research and practical conference.]. 2014. № 5, Part 4 (10-4). Pp. 375-379
3. Gainullin Ren.Kh., Gainullin R.Kh. Sposob izgotovleniya strogannogo shpona [A Way to Produce the Slice Veneer]. Patent RF, no 2373047, 2009.
4. Tsarev A.N., Chemodanov A.N., Gainullin R.Kh., Anisimov S.E., Gainullin Ren.Kh. Shponostrogalnyy stanok [Slicing Machine]. Patent RF, no 2484952, 2013.
5. Chemodanov A.N., Gainullin R.Kh., Gainullin Ren.Kh., et al. Analiz sposobov proizvodstva stroganogo shpona [The Analysis of the Ways to Produce the Sliced Veneer]. *SCIENCE AND WORLD*. 2013. №3(3). Pp. 73-75.
6. Chemodanov A.N., Gainullin R.Kh., Gainullin Ren.Kh., et al. Sovershenstvovanie proizvodstvennykh protsessov vyrabotki stroganogo shpona [Improvement of the Process of Slice Veneer Production]. *SCIENCE AND WORLD*. 2013. №4 (4). Pp. 101-104.
7. Vasilevskaya P.V., Krasovskaya L.G., Troyazykova L.I. *Analiz osnovnykh parametrov protsessa stroganiya shpona: obzornaya informatsiya* [The Analysis of the Basic Parameters of the Veneer Slicing: review]. Moscow: VNIPIE, 1980. 23 p.

The article was received 18.05.15.

Citation for an article: Gainullin R. Kh. Simulation veneer production process in rotary motion. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2015. No 2 (26). Pp. 50-56.

Information about the author

GAINULLIN Rishat Kharisovich – Postgraduate student at the Chair of Woodworking Industry, Volga State University of Technology. Research interests – machine tool technology for woodworking industry, elaboration of the design of slicing machines. The author of nine publications.

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК 630*181:579.61

ХИМИЧЕСКАЯ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВОДНЫХ ЭКСТРАКТОВ ЛЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Ю. П. Демаков^{1,2}, А. В. Исаев², В. И. Таланцев¹, О. В. Малюта¹

¹Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: DemakovYP@volgatech.net; TalancevVI@volgatech.net; MalytaOV@volgatech.net

²Государственный природный заповедник «Большая Кокшага»,
Российская Федерация, 424038, Йошкар-Ола, ул. Воинов-Интернационалистов, 26
E-mail: avsacha@yandex.ru

Проведён подробный анализ литературных источников по оценке роли прижизненных выделений (экзометаболитов) растений в формировании видовой структуры и поддержании устойчивости функционирования лесных экосистем и агроценозов. Приведены результаты оценки содержания в водных экстрактах 12 видов лесных растений подвижных форм ряда металлов и лабораторного опыта по воздействию их на почву и состояние тест-организмов. Сделан вывод о том, что экзометаболиты растений являются мощным экологическим фактором, оказывающим влияние не только на формирование видовой структуры фитоценозов, но и на их состояние, продуктивность, устойчивость функционирования и непрерывность круговорота веществ.

Ключевые слова: лесные растения; водные экстракты; элементный состав; почва; подвижные формы металлов; тест-организмы.

Введение. Каждый вид растения в процессе своей жизнедеятельности выделяет в окружающую среду разнообразные органические и минеральные вещества, которые оказывают существенное влияние на состояние и структуру всего биогеоценоза, обеспечивая его устойчивое функционирование и непрерывный круговорот веществ. Изучение состава прижизненных выделений растений (экзометаболитов) и выяснение их роли в жизни фитоценозов имеет, в связи с этим, большое практическое значение.

Цель работы – детальный анализ литературных источников по химической и биологической активности прижизненных выделений растений и проведение серии контрольных лабораторных экспериментов по влиянию их на содержание подвижных форм металлов в суглинистой почве и состояние тест-объектов.

Состояние вопроса. К настоящему времени наукой накоплен значительный материал о биохимических (аллелопатических) взаимоотношениях растений в

© Демаков Ю. П., Исаев А. В., Таланцев В. И., Малюта О. В., 2015.

Для цитирования: Демаков Ю. П., Исаев А. В., Таланцев В. И., Малюта О. В. Химическая и биологическая активность водных экстрактов лесных растений // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 2 (26). – С. 57-76.

лесных экосистемах и агроценозах [1–11], свидетельствующий о том, что прижизненные выделения (экзометаболиты) и опад одного вида могут либо стимулировать, либо угнетать развитие других видов. Так, по данным М. В. Колесниченко [2], берёза повислая и дуб влияют на сосну обыкновенную отрицательно, а лиственница – положительно. Липа, вяз и сосна положительно влияют на лиственницу, а лещина и липа – на дуб; осина же и тополь канадский действуют на него отрицательно, снижая фотосинтез листвы на 7–14 %. Дуб индифферентен к выделениям ели, а она же испытывает с его стороны негативное влияние. Воздушные фитонциды берёзы стимулируют фотосинтез у дуба, а корневые выделения, наоборот, снижают его. Неблагоприятное действие на состояние и рост всходов дуба оказывают водные вытяжки из его листьев или корней, а также порубочные остатки на вырубке [12]. Подобное действие оказывает и почва из-под вековых деревьев дуба. На почве из-под смешанных древостоев сеянцы дуба росли в опыте лучше, чем на почве из-под его монокультуры [13]. Водные вытяжки из корней липы мелколистной и гледичии трёхключковой оказывают на рост всходов дуба стимулирующее воздействие, а сеянцы сосны, выращенные из семян, обработанных водными экстрактами из её хвои и листьев берёзы, характеризуются более интенсивным ростом и высокой устойчивостью к засухе [14, 15].

Достаточно хорошо известно положительное влияние на развитие сельскохозяйственных культур пожнивных и корневых остатков предшествующих культур, а также компостов и водных вытяжек из сорных растений [16]. Так, к примеру, компосты из лебеды оказывают положительное влияние на развитие огородных культур, а водные экстракты из крапивы используются при борьбе с вредителями и болезнями растений [17]. На основе водных вытяжек из хвои сосны и пихты изготовлен препарат «Экстрафлор» (www.euro-semena.ru/gellery), который оказывает стимулирующее дей-

ствие на многие огородные и цветочные культуры, подавляя при этом развитие патогенов. Выделения же многих сорных растений часто являются причиной снижения урожайности культурных растений, фитонциды которых, в свою очередь, подавляют рост и развитие сорняков [18–20]. Так, к примеру, корни льна выделяют целый ряд ароматических соединений, обладающих ингибирующим действием не только на многие виды растений, но и на микрофлору, корни овса – токсический скополетин, яблони – ядовитый флоридин, персика – амигдалин, и т. д. Исследования некоторых учёных [21] показали, что водные вытяжки из листьев, корней и опада древесных пород отрицательно воздействуют на прорастание семян, рост и продуктивность многих сельскохозяйственных культур. Наибольшее негативное воздействие на пшеницу оказывает тополь бальзамический, а на ячмень – берёза повислая. Водные экстракты растений семейства подорожниковые *Plantaginaceae* характеризуются высокой железо-связывающей и пребиотической активностью [22]. Базируясь на знаниях о токсических свойствах корневых выделений растений, ботаник О. Декандоль ещё в начале 18 века, как отмечает В. П. Иванов [3], попытался создать теорию сельскохозяйственных севооборотов, однако, не имея достаточного экспериментального материала, не смог выстроить чёткую схему чередования культур.

Водные вытяжки растений создаются не только искусственно в лабораторных условиях. Они образуются и естественным путём. Многими исследователями установлено, что атмосферные осадки, проходя через полог леса, существенным образом изменяют свой состав, не только смывая с листьев осевшую пыль, но и насыщаясь продуктами метаболизма растений и других организмов, а также выщелачивая часть химических элементов из живых клеток, активно воздействуя на все биоценоотические процессы, в том числе и на процесс почвообразования [23–43]. Наиболее значительно возрастает в подкороновых

осадках содержание азота, гидрокарбонатов, серы, сульфатов, калия, кальция, натрия, марганца, железа, цинка и меди. Степень трансформации состава атмосферных осадков зависит от вида древесных растений. Так, И. К. Свиридова [23] отмечает, что под кронами осин дождевая вода более насыщена кальцием, чем под кронами сосен. В подмосковных смешанных лесах наибольшая концентрация кальция, калия и магния отмечена в дождевой воде под деревьями липы [26]. Установлено также, что под кроны сосняков и ельников черничниковых этих элементов поступает больше, чем под кроны ельников кисличниковых и березняков разнотравных. В ельнике-кисличнике с мая по сентябрь 1966 года из кроны деревьев было вымыто 32,1 кг/га различных элементов, а в однотипном березняке на 14,7 кг/га меньше [31]. В среднетаёжных лесах концентрация калия в дождевой воде под деревьями ели была значительно выше, чем под деревьями сосны, берёзы и осины [40].

Влияние растений друг на друга происходит в основном не прямо, а опосредованно через изменение физических, химических и микробиологических параметров почвы. Так, водорастворимые вещества листьев и корней ясеня, бука и лиственницы в концентрациях, близких к существующим в природных условиях (1:100 – 1:200), увеличивают скорость инфильтрации влаги через оподзоленный чернозём, серую лесную и дерново-подзолистую почвы, а экзометаболиты дуба и ели, содержащие дубильные вещества, флавоноиды, сапонины и многие другие биологически активные вещества, снижают её [44, 45], что приводит к заболачиванию пониженных участков леса [13]. На положительном влиянии выделений растений на свойства почв основана, в частности, биологическая мелиорация земель [46].

Большая роль растительности в процессе образования и развития почв была доказана, как отмечает в своей работе Л. О. Карпачевский [47], уже более 100 лет назад В. В. Докучаевым, однако этот во-

прос не потерял своей актуальности и поныне, что связано: 1) с его большим практическим значением, 2) с разнообразием природно-климатических условий и почв, обуславливающих специфику проявления биогеоценологических процессов в различных регионах России и Земного шара; 3) с совершенствованием методов и аппаратуры почвенно-экологических исследований, позволяющих открыть ранее не изученные явления; 4) с наличием противоречий в результатах различных авторов.

Многочисленные исследования [48–60] показали, что эдификаторная роль древесных растений выражается в изменении температурно-гидрологического режима биогеоценоза, состава атмосферных осадков, массы опада и лесной подстилки, структуры и биомассы подпологовой растительности, численности и активности различных деструкторов органического вещества. Характер и степень влияния древесных растений на почву зависит от их вида, возраста, степени сомкнутости полога леса, рельефа местности и климата. Так, к примеру, в осинниках и березняках фитомасса подпологовой растительности и подстилки выше, чем в сосновых и еловых культурах, произрастающих в сходных лесорастительных условиях [61], а подстилки ельников отличаются от подстилок липняков меньшим содержанием гидролизуемого азота и подвижного фосфора, меньшей насыщенностью основаниями, но более высоким содержанием гуминовых кислот [56, 57]. Под влиянием продуктов разложения подстилки в почвах ельников протекает ярко выраженный подзолистый процесс, степень проявления которого в почвах липняков гораздо слабее. Степень разложения еловых подстилок увеличивается с возрастанием в них примеси лиственного опада. Почвы липняков обладают, по сравнению с почвами ельников, лучшими лесорастительными свойствами, а дерново-подзолистые почвы под культурами дуба, по сравнению с культурами сосны, имеют меньшую кислотность и более высокое содержание гумуса, азота и обменных осно-

ваний. В то же время действие одних и тех же видов растений на почву в разных биогеоценозах проявляется, как отмечает Л. О. Карпачевский [47], неодинаково и во многом зависит от физико-географических условий. Так, берёза в лесной зоне способствует, по сравнению с дубом, осиной, лиственницей и сосной, большему накоплению гумуса в верхнем горизонте почвы, однако в лесостепной она уже уступает дубу и сравнивается с сосной. Установлено также, что содержание основных элементов питания растений и кислотность почвы закономерно изменяются в градиенте фитогенного поля деревьев по мере удаления от их стволов [47, 62, 63].

Анализ литературы показал, таким образом, что прижизненные выделения растений (экзометаболиты) и вещества, вымываемые из их опада, являются довольно мощным экологическим фактором, оказывающим влияние не только на формирование видовой структуры фитоценозов, но и на их состояние, продуктивность, устойчивость функционирования и непрерывность круговорота веществ. Этот вопрос, несмотря на большое число публикаций, изучен, однако, недостаточно глубоко и всесторонне. Особенно слабо изучено влияние экзометаболитов растений на почву, что связано со сложностью этого компонента экосистем, реакция которого на внешнее воздействие зависит от многих факторов, вычленив которые в природных условиях часто

невозможно. Оценку влияния экзометаболитов растений на свойства почвы целесообразно, в связи с этим, проводить в лабораторных условиях, а уж затем переходить к проверке результатов полевыми опытами.

Объекты и методика исследования. Опыты были проведены в 2014 году в лаборатории Центра коллективного пользования научным оборудованием Поволжского государственного технологического университета. Для приготовления водных вытяжек растений брали их листья массой 5 г в естественном (невысушенном) состоянии, помещали в стеклянные колбы, заливали дистиллированной водой объемом 100 мл и выдерживали в течение 24 часов. Определение содержания в растворе ионов металлов проводили на атомно-абсорбционном спектрометре AAnalyst 400 (PerkinElmer, USA, 2008) по типовым методикам [64, 65]. Стандартные калибровочные растворы и растворы исследуемых образцов вводили в пламя горелки последовательно через распылитель. В качестве горючего газа использовали ацетилен, окислителя – воздух, а калибровочного раствора – 0,1 М раствор HNO_3 . Вся мерная посуда (пипетки, колбы) была предварительно откалибрована по дистиллированной воде. Каждую пробу анализировали на спектрометре три раза и вычисляли среднее значение по образцу. Основные сведения об условиях проведения анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Условия проведения химического анализа образцов методом атомной абсорбции

| Элемент | Основные характеристики метода и условий проведения анализа | | | | | | | |
|------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|--|--------------------------|
| | Длина волны, нм | Высота щели, мм | Ширина щели, мм | Расход горючего газа, л/мин | Расход окислителя, л/мин | Ток лампы, мА | Стандартные калибровочные концентрации, мг/дм ³ | Погрешность измерения, % |
| Ca ²⁺ | 422,67 | 2,7 | 1,05 | 2,50 | 10,00 | - | 0; 5; 10; 25; 50; 100 | ±0,9 |
| K ⁺ | 766,49 | 2,7 | 0,45 | 2,50 | 10,00 | - | 0; 2; 5; 10; 25; 50 | ±1,1 |
| Mn ²⁺ | 279,48 | 1,8 | 0,60 | 3,78 | 10,78 | 20 | 0; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10 | ±1,4 |
| Zn ²⁺ | 213,86 | 2,7 | 1,80 | 2,66 | 10,44 | 20 | 0; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 5 | ±1,3 |
| Cu ²⁺ | 324,75 | 2,7 | 1,35 | 3,14 | 11,32 | 30 | 0; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10 | ±1,8 |
| Fe ³⁺ | 248,33 | 1,8 | 1,35 | 2,50 | 10,00 | 30 | 0; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10 | ±1,2 |
| Ni ²⁺ | 232,00 | 1,8 | 1,35 | 3,02 | 10,24 | 30 | 0; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0 | ±3,0 |

Для оценки химической активности водных вытяжек растений использовали образец верхнего горизонта (0–20 см) аллювиально-луговой легкоглинистой (содержание физической глины составляло 54,3 %, а илистых частиц – 25,2 %) сильно гумусированной (5,6 %) почвы, взятой под 55-летними культурами лиственницы сибирской, созданными на лугу в пойме р. Малая Кокшага (лесопарк «Дубовая роща», г. Йошкар-Ола). Содержание подвижных оснований (Ca+Mg) в образце составляло 26,4 мг/экв. на 100 г почвы, K₂O – 3,0 мг на 100 г, P₂O₅ – 5,7 мг на 100 г.

Последовательность проведения опыта была следующей: почву высушивали, отбирали образец массой 5 г, помещали в колбу, заливали 50 мл полученной и отфильтрованной вытяжки определённого вида растения, выдерживали в течение 24 часов. Полученные растворы отфильтровывали в мерные колбы, доводя их объём до 50 мл, разбавляя дистиллированной водой. В качестве контрольного раствора использовали дистиллированную воду. Для определения содержания подвижных форм ионов металлов образец почвы массой 5 г экстрагировали смесью кислот (1 мл концентрированной химически чистой азотной и 3 мл концентрированной особо чистой соляной), а также аммонийно-ацетатного буфера (108 мл CH₃COOH + 75 мл NH₄OH + H₂O = 1000 мл раствора, pH=4,8) объёмом 50 мл. Полученные растворы пропускали через обеззоленные фильтры в мерные колбы и разбавляли дистиллированной водой, доводя объём до 25 мл, и на атомно-абсорбционном спектрометре оценивали в них содержание ионов металлов.

Биологическую активность водных вытяжек растений оценивали по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла *Chlorella vulgaris* Beijer. [66], по смертности и изменению плодовитости дафний *Daphnia magna* Straus. [67], изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции [68], всхожести семян и развитию проростков редиса.

Полученный цифровой материал обрабатывали на ПК с использованием стандартных методов математической статистики и пакетов прикладных программ Excel и STATISTICA.

Результаты опыта и их интерпретация. Химический анализ растворов показал, что содержание ионов металлов в них изменялось в очень больших пределах (табл. 2), что связано, вероятно, как с составом клеточного сока растений, так и проницаемостью кутикулы их листьев. Лидером по содержанию всех элементов, кроме кальция и железа, являлись растворы, в которых вымачивались листья осины. Концентрация же кальция и железа была наибольшей в экстрактах листьев липы. Меньше всего этих элементов содержалось в вытяжках из листьев ландыша, а марганца – из стеблей сфагнума. Ионов железа не обнаружено в растворах, в которых вымачивались листья берёзы, орляка, сосны и ели, цинка – ландыша и можжевельника, меди – берёзы и можжевельника. Никель не обнаружен в вытяжках пяти видов растений: ели, можжевельника, берёзы, орляка и кладонии. Довольно значительно изменялось также значение pH экстрактов, хотя реакция всех их была близка к нейтральной или слабощелочной. Наиболее высокое значение pH имели вытяжки из хвой можжевельника, а наиболее низкое – из стеблей сфагнума. Очень сильно варьирует в вытяжках отношение содержания калия к кальцию. Высокие значения этой величины имеют вытяжки из сфагнума, в которых калия в 34,2 раза больше, чем кальция, и из орляка (25,2). В вытяжках же из листьев ландыша и липы отношения содержания калия к кальцию самые низкие (0,5–1,7).

Водные вытяжки растений, как показал кластерный анализ, объединяются друг с другом по относительной величине концентрации в них химических элементов в четыре однородные группы (рис. 1). В первую группу вошли вытяжки четырёх видов (сосны обыкновенной, папоротника орляка, дуба черешчатого и берёзы), отли-

чающиеся от других самым низким содержанием меди (рис. 2). Во второй кластер, являющийся наиболее представительным, вошли шесть видов растений (ель, можжевельник, кладония лесная, ландыш майский, мох Шребера и сфагнум), вытяжки

которых имеют самое низкое содержание кальция, калия, марганца, цинка и никеля. Вытяжки из листьев липы отличаются от всех остальных очень высоким содержанием кальция и железа, а осины – всех химических элементов, особенно цинка и меди.

Таблица 2

Реакция среды и содержание химических элементов в водных вытяжках различных лесных растений

| Растение | рН | Содержание элементов в растворе, мг/л | | | | | | | К/Са |
|--------------|------|---------------------------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|
| | | Ca ²⁺ | K ⁺ | Fe ³⁺ | Mn ²⁺ | Zn ²⁺ | Cu ²⁺ | Ni ²⁺ | |
| Сосна | 6,66 | 420,7 | 4393,0 | 0,00 | 12,2 | 1,05 | 0,09 | 0,70 | 10,4 |
| Ель | 6,46 | 71,87 | 508,3 | 0,00 | 21,1 | 1,27 | 0,10 | 0,00 | 7,1 |
| Можжевельник | 7,27 | 66,67 | 466,7 | 0,36 | 4,18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 7,0 |
| Берёза | 6,77 | 245,0 | 1358,0 | 0,00 | 102,0 | 6,79 | 0,00 | 0,00 | 5,5 |
| Осина | 7,04 | 532,1 | 5556,0 | 3,79 | 130,9 | 33,1 | 10,5 | 1,74 | 10,4 |
| Липа | 7,11 | 2519,0 | 4350,0 | 3,93 | 75,2 | 1,67 | 1,33 | 0,65 | 1,7 |
| Дуб | 6,61 | 438,0 | 2794,0 | 1,72 | 67,7 | 0,61 | 0,06 | 1,08 | 6,4 |
| Орляк | 6,53 | 206,3 | 5188,0 | 0,00 | 7,79 | 0,49 | 0,08 | 0,00 | 25,2 |
| Ландыш | 6,80 | 1,172 | 0,638 | 0,64 | 39,1 | 0,00 | 1,17 | 0,40 | 0,5 |
| Мох Шребера | 6,32 | 31,76 | 287,9 | 2,18 | 6,58 | 1,42 | 0,97 | 0,38 | 9,1 |
| Сфагнум | 6,00 | 56,04 | 1919,0 | 2,89 | 1,31 | 0,33 | 0,52 | 0,38 | 34,2 |
| Кладония | 6,30 | 31,85 | 247,5 | 1,34 | 1,82 | 0,09 | 0,09 | 0,00 | 7,8 |

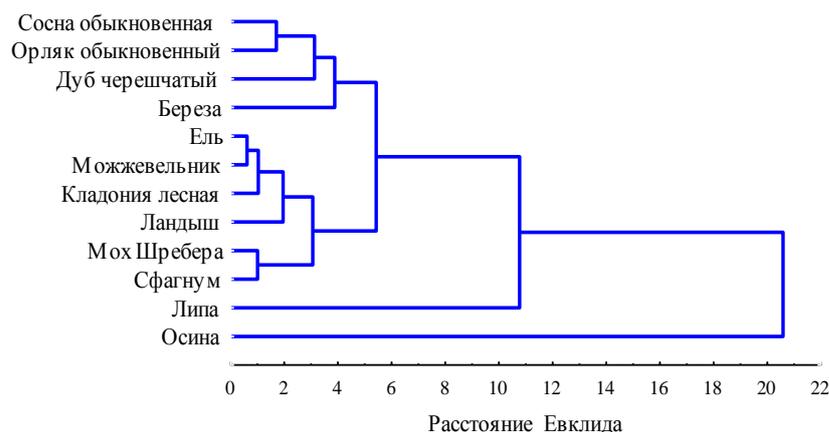


Рис. 1. Дендрограмма сходства химического состава экстрактов различных растений

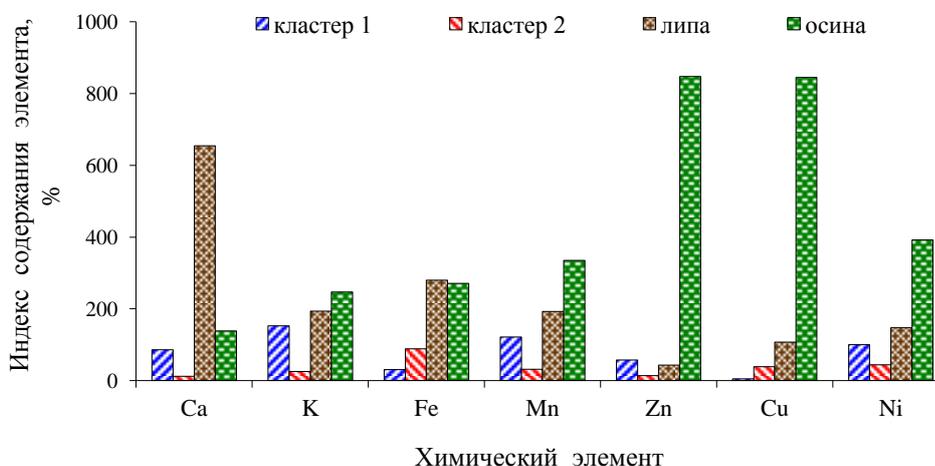


Рис. 2. Содержание химических элементов в экстрактах растений разных кластеров

Таблица 3

Матрица коэффициентов корреляции между концентрацией элементов в экстрактах растений

| Элемент | Значения коэффициента корреляции между концентрацией элементов в вытяжке | | | | | | | |
|------------------|--|------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | pH | Ca ²⁺ | K ⁺ | Fe ³⁺ | Mn ²⁺ | Zn ²⁺ | Cu ²⁺ | Ni ²⁺ |
| pH | 1,00 | | | | | | | |
| Ca ²⁺ | 0,46 | 1,00 | | | | | | |
| K ⁺ | 0,26 | 0,51 | 1,00 | | | | | |
| Fe ³⁺ | 0,06 | 0,57 | 0,34 | 1,00 | | | | |
| Mn ²⁺ | 0,51 | 0,42 | 0,42 | 0,41 | 1,00 | | | |
| Zn ²⁺ | 0,35 | 0,09 | 0,48 | 0,46 | 0,75 | 1,00 | | |
| Cu ²⁺ | 0,34 | 0,15 | 0,48 | 0,59 | 0,66 | 0,96 | 1,00 | |
| Ni ²⁺ | 0,27 | 0,32 | 0,59 | 0,65 | 0,64 | 0,72 | 0,78 | 1,00 |

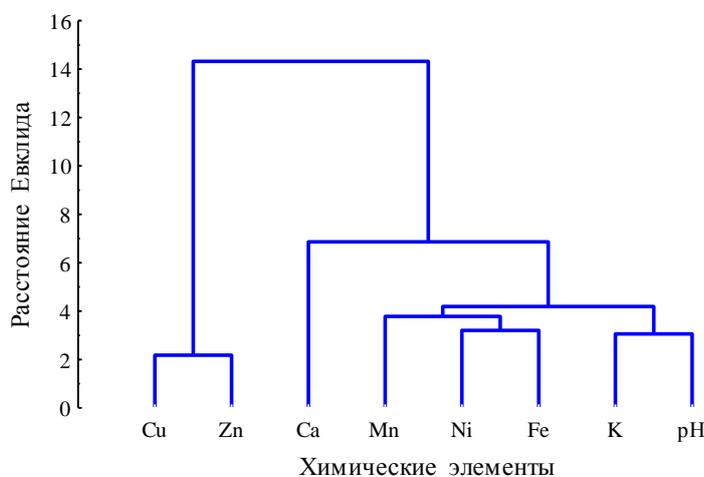


Рис. 3. Дендрограмма сходства содержания химических элементов в вытяжках растений, выполненная способом Варда по матрице нормированных данных

От величины pH вытяжек в определённой мере зависела концентрация в них кальция и марганца (табл. 3). На концентрацию остальных элементов величина pH воздействие оказывает очень слабое, а на концентрацию железа вообще не влияет. Очень тесно связана между собой концентрация в растворах ионов цинка и меди ($r = 0,96$). Тесная связь отмечается между содержанием в вытяжках меди и никеля ($r = 0,78$), цинка и марганца ($r = 0,75$), цинка и никеля ($r = 0,72$), а умеренная – между концентрацией в них марганца и меди, марганца и никеля, железа и никеля. Коррелятивная связь между концентрацией ионов остальных элементов умеренная или очень слабая. Все элементы объединяются между собой в три кластера (рис. 3). В первый входят медь и цинк, во

второй – все остальные элементы, кроме кальция, который составляет отдельный «хуторской» кластер.

Экстракты растений, как показали результаты опыта, по-разному влияли на содержание подвижных форм зольных элементов в образцах почвы (табл. 4). Так, после обработки почвы экстрактами из листьев липы содержание в растворах ионов кальция увеличилось более чем в 30 раз, калия в 16 раз, а марганца в 35 раз по сравнению с растворами, приготовленными на основе дистиллированной воды. Содержание ионов цинка больше всего увеличилось после обработки почвы экстрактами из хвои сосны, стеблей сфагнума и мха Шребера, меди – из листьев ландыша, никеля – из листьев дуба. Увеличение подвижных форм калия и цинка после

Таблица 4

Химический состав образцов почвы, обработанной различными растворами

| Растворы | Содержание элементов в растворе, мг/л | | | | | | | К/Са |
|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|
| | Ca ²⁺ | K ⁺ | Fe ³⁺ | Mn ²⁺ | Zn ²⁺ | Cu ²⁺ | Ni ²⁺ | |
| <i>Вытяжки из растений:</i> | | | | | | | | |
| Сосны | 402,5 | 135,1 | 28,41 | 29,52 | 15,1 | 0,19 | 0,00 | 0,34 |
| Ели | 284,3 | 93,36 | 10,18 | 22,05 | 0,33 | 0,00 | 0,00 | 0,33 |
| Можжевельника | 233,6 | 103,3 | 5,141 | 14,95 | 0,00 | 0,11 | 0,00 | 0,44 |
| Берёзы | 450,6 | 301,8 | 47,89 | 46,40 | 0,98 | 0,24 | 0,46 | 0,67 |
| Осины | 1394,0 | 806,7 | 53,00 | 133,1 | 3,94 | 0,20 | 0,88 | 0,58 |
| Липы | 1402,0 | 896,0 | 24,60 | 63,47 | 3,90 | 0,34 | 0,76 | 0,64 |
| Дуба | 559,1 | 378,3 | 54,93 | 62,97 | 7,92 | 0,42 | 0,94 | 0,68 |
| Орляка | 604,2 | 656,5 | 42,61 | 70,98 | 0,32 | 0,10 | 0,34 | 1,09 |
| Ландыша | 783,9 | 774,0 | 36,87 | 78,77 | 3,23 | 0,63 | 0,29 | 0,99 |
| Мха Шребера | 586,1 | 479,0 | 70,79 | 70,63 | 8,20 | 0,38 | 0,00 | 0,82 |
| Сфагнома | 354,0 | 427,9 | 125,7 | 44,09 | 8,94 | 0,41 | 0,00 | 1,21 |
| Кладонии | 218,0 | 93,90 | 10,16 | 14,52 | 0,26 | 0,23 | 0,54 | 0,43 |
| <i>Растворители:</i> | | | | | | | | |
| Чистая вода | 44,77 | 55,66 | 60,30 | 3,752 | 0,00 | 0,11 | 0,00 | 1,24 |
| ААБ* | 6238,0 | 267,5 | 121,1 | 495,0 | 5,22 | 0,43 | 3,70 | 0,04 |
| Смесь кислот | 1156,0 | 2418,0 | 19536,0 | 1278,0 | 63,0 | 8,78 | 45,9 | 2,09 |

* ААБ – аммонийно-ацетатный буфер.

обработки экстрактами многих растений было более значительным, чем после обработки почвы аммонийно-ацетатным буфером. После обработки почвы экстрактами из листьев липы и осины содержание ионов кальция в растворе было таким же, как после обработки почвы смесью кислот. Концентрация же подвижных ионов железа, наоборот, снизилась, что обусловлено связыванием их, как отмечено исследователями [22, 59], полифенолами, танинами и фосфорной кислотой, содержащимися в вытяжках. Особенно сильное влияние на снижение содержания ионов железа оказали экстракты из хвои можжевельника (в 11,7 раза) и ели (в 5,9 раза), воздействие которых на концентрацию ионов кальция и калия было минимальным. Экстракты из мхов Шребера и сфагнома, наоборот, привели к увеличению содержания подвижной формы железа в почве. Отношение содержания калия к кальцию в вытяжках почвы стало намного

меньшим, чем в вытяжках растений и приблизилось по величине к отношению этих элементов в водной вытяжке почвы.

Фактическая величина содержания элементов в вытяжках почвы не может характеризовать химическую активность экстрактов растений. Более верно, на наш взгляд, её отражает баланс содержания элементов, представляющий собой разность между их приходом с вытяжками растений и конечной величиной, из которой необходимо ещё вычесть величину содержания элементов в водной вытяжке почвы. Расчёты показали, что водные экстракты растений по-разному повлияли на баланс содержания подвижных форм зольных элементов в вытяжках почвы (табл. 5). Так, содержание кальция в вытяжках почвы, обработанной экстрактом из листьев липы, стало почти в два раза меньше, чем в самом экстракте. Отрицательным был и баланс содержания кальция в вытяжках почвы, обработанной экс-

трактом хвои сосны, хотя по величине он был значительно меньшим. Баланс же содержания кальция в вытяжках почвы, обработанной экстрактами других растений, был положительным. Особенно сильно увеличилось содержание кальция в вытяжках почвы, обработанной экстрактами осины, ландыша и мха Шребера. Содержание калия в вытяжках почвы увеличилось лишь после обработки её экстрактами ландыша и мха Шребера. Баланс же его содержания в вытяжках почвы после обработки её экстрактами других растений был отрицательным. Наиболее значительно снизилось содержание калия в вытяжках почвы, обработанной экстрактами осины, орляка и сосны. Баланс содержания железа в вытяжках почвы был положительным только после обработки её экстрактами сфагнома. Экстракты остальных растений приводили к связыванию его подвижных ионов в почве. Особенно сильно связывалось свободное железо после обработки почвы экстрактами можже-

вельника, ели и кладонии. Экстракты мха Шребера, сфагнома, орляка, сосны, кладонии и можжевельника связывали подвижные ионы марганца, а берёзы, липы и дуба, наоборот, приводили к увеличению их концентрации в вытяжках почвы. Обработка почвы экстрактами осины привела к связыванию подвижных ионов цинка, а сосны, сфагнома, мха Шребера, дуба, ландыша и липы, наоборот, к увеличению их содержания в вытяжках. Содержание подвижных ионов меди в вытяжках почвы возросло после обработки её экстрактами дуба и берёзы. В остальных случаях оно снизилось. Особенно значительное их связывание происходило после обработки почвы экстрактом из листьев осины, который сильно связывал также содержание подвижных ионов никеля в вытяжках. Обработка почвы экстрактами кладонии, берёзы и орляка привела к увеличению содержания в вытяжках ионов никеля, а осины, сфагнома, мха Шребера и дуба, наоборот, к их связыванию.

Таблица 5

Баланс содержания химических элементов в вытяжках почвы, обработанной различными растворами

| Вытяжка растений, растворитель | Баланс содержания элементов в растворе, ± мг/л | | | | | | |
|--------------------------------|--|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Ca ²⁺ | K ⁺ | Fe ³⁺ | Mn ²⁺ | Zn ²⁺ | Cu ²⁺ | Ni ²⁺ |
| Сосны | -63,0 | -4313,6 | -31,9 | 13,6 | 14,1 | 0,00 | -0,70 |
| Ели | 167,7 | -470,6 | -50,1 | -2,8 | -0,95 | -0,20 | 0,00 |
| Можжевельника | 122,2 | -419,1 | -55,5 | 7,0 | 0,00 | 0,01 | 0,00 |
| Берёзы | 160,8 | -1111,9 | -12,4 | -59,4 | -5,81 | 0,14 | 0,46 |
| Осины | 817,1 | -4805,0 | -11,1 | -1,6 | -29,1 | -10,4 | -0,86 |
| Липы | -1161,8 | -3509,7 | -39,6 | -15,5 | 2,22 | -1,10 | 0,11 |
| Дуба | 76,3 | -2471,4 | -7,1 | -8,4 | 7,31 | 0,25 | -0,15 |
| Орляка | 353,1 | -4587,2 | -17,7 | 59,4 | -0,17 | -0,09 | 0,34 |
| Ландыша | 738,0 | 717,7 | -24,1 | 35,9 | 3,23 | -0,65 | -0,10 |
| Мха Шребера | 509,6 | 135,4 | 8,3 | 60,3 | 6,78 | -0,70 | -0,38 |
| Сфагнома | 253,2 | -1546,8 | 62,5 | 39,0 | 8,60 | -0,22 | -0,38 |
| Кладонии | 141,4 | -209,3 | -51,5 | 8,9 | 0,17 | 0,04 | 0,54 |
| Чистая вода | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ААБ* | 6193,2 | 211,8 | 60,8 | 491,2 | 5,22 | 0,33 | 3,70 |
| Смесь кислот | 1111,2 | 2362,3 | 19475,7 | 1274,2 | 63,0 | 8,67 | 46,0 |

* ААБ – аммонийно-ацетатный буфер.

Кластерный анализ показал, что все изученные нами растения объединяются друг с другом в три однородные группы (рис. 4), совершенно несхожие между собой по систематике, биологии и экологии, но оказывающие почти одинаковое химическое воздействие на почву. В первую группу вошли три вида растений (сосна обыкновенная, дуб черешчатый, орляк обыкновенный), водные экстракты которых, содержащие химически активные компоненты, обладают самой высокой способностью к связыванию в почве подвижных форм калия, о чём свидетельствует отрицательный баланс этого элемента (рис. 5). Экстракты этих рас-

тений, в то же время, способствуют, по сравнению с другими, увеличению содержания в почве подвижных форм цинка и меди. Во второй кластер вошло четыре вида растений (осина, ландыш майский, мох Шребера и сфагнум), экстракты которых повышают содержание в почве подвижных ионов кальция, железа и марганца, снижая при этом содержание ионов цинка, меди и никеля. Экстракты остальных пяти видов растений (ели, можжевельника, кладонии, берёзы и липы), относящиеся к третьему кластеру, интенсивнее других связывают в почве кальций, железо и марганец, высвобождая ионы калия, меди и никеля.

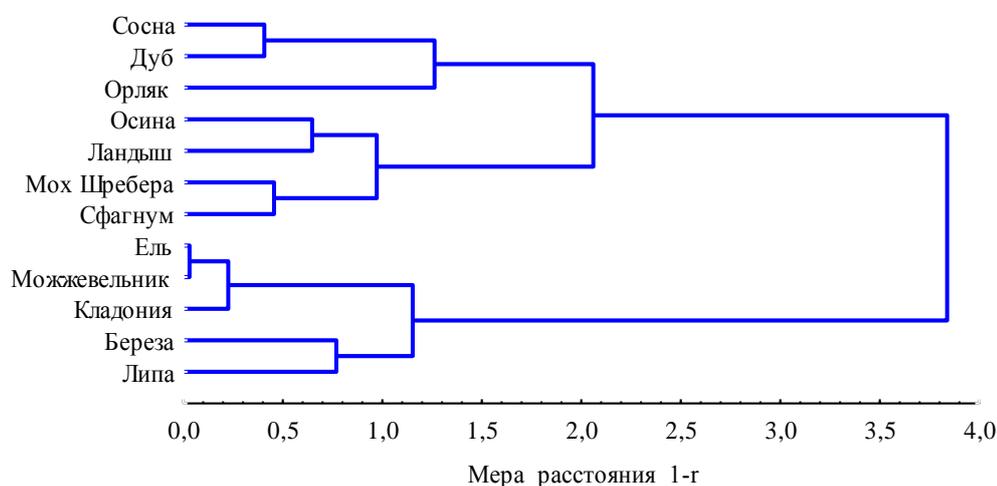


Рис. 4. Дендрограмма сходства баланса содержания химических элементов в вытяжках почвы, обработанной экстрактами растений, построенная по матрице коэффициентов корреляции

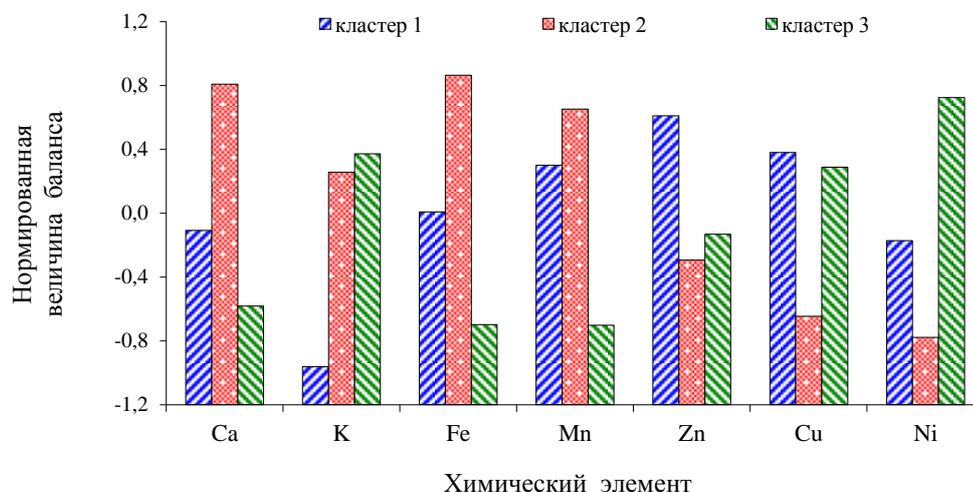


Рис. 5. Нормированная по стандартному отклонению величина баланса содержания химических элементов в водных вытяжках различных растений, относящихся к разным кластерам

Таблица 6

Параметры уравнений регрессии, отображающих зависимость содержания подвижных ионов металлов в вытяжках почвы от величины рН экстрактов растений и концентрации в них тех же элементов

| Параметр уравнения | Значения параметров уравнения $Y = a + b \cdot X + c \cdot Z$ для различных элементов* | | | | | | |
|--------------------|--|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Ca ²⁺ | K ⁺ | Fe ³⁺ | Mn ²⁺ | Zn ²⁺ | Cu ²⁺ | Ni ²⁺ |
| a | -1178,1 | -687,8 | 370,0 | 114,3 | 31,6 | 0,80 | -1,13 |
| b | 246,2 | 147,8 | -51,6 | -13,1 | -4,02 | -0,08 | 0,19 |
| c | 0,357 | 0,056 | 10,78 | 0,607 | 0,008 | 0,000 | 0,397 |
| R ² | 0,545 | 0,217 | 0,525 | 0,529 | 0,101 | 0,029 | 0,417 |
| F _{факт.} | 3,97 | 0,92 | 3,67 | 3,73 | 0,37 | 0,10 | 2,37 |

Примечание: Y – содержание подвижных ионов металлов в вытяжках почвы, мг/л; X – значение рН экстрактов растений; Z – содержание подвижных ионов металлов в экстрактах растений, мг/л; R² – коэффициент детерминации уравнения; F_{факт.} – фактическое значение критерия Фишера (F_{0,05} = 2,15)

Изменение содержания подвижных ионов металлов в вытяжках почвы происходило не в результате различия концентрации их в экстрактах-реагентах, а под действием присутствующих в них органических кислот и ферментов, веществ, сугубо специфичных для каждого вида растения [3, 6, 8, 10]. Слабое влияние концентрации подвижных форм химических элементов в экстрактах растений или полное его отсутствие на их содержание в водных вытяжках почвы подтвердил проведённый нами регрессионный анализ (табл. 6). Содержание кальция, железа и марганца в вытяжках почвы, как показали расчёты, определяет в основном величина рН экстракта растений. Причём связь её с содержанием кальция прямая, а с железом и марганцем – обратная. Содержание остальных элементов в вытяжках почвы практически не зависит от величины рН экстракта растений.

Влияние экстрактов различных растений на биологические объекты, как показали результаты лабораторного опыта, было сугубо специфическим (табл. 7). На развитие водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer. сильное токсическое воздействие оказали экстракты из листьев осины, дуба и ландыша, среднее – можжевельника, мха Шребера, сфагнома и кладонии лесной, слабое – липы и берёзы. Вытяжка из хвои сосны на развитие хлореллы токсического

действия не оказала. На дафний токсическое действие не оказали вытяжки из сфагнома, сосны и мха Шребера. Вытяжки остальных видов растений для них были токсичны. Вытяжки всех растений, как показал билюминесцентный анализ, оказали токсичное действие на развитие бактерий.

Экстракты всех растений привели к снижению энергии прорастания семян редиса. Крайне негативное воздействие оказала вытяжка из сфагнома. Остальные растения располагаются по мере убывания степени негативного воздействия их водных вытяжек на всхожесть семян редиса в следующем порядке: осина > сосна > берёза > ландыш > мох Шребера > дуб > липа > можжевельник. Воздействие вытяжки кладонии лесной было наименьшим. На размер гипокотилия (проростка) редиса вытяжки всех растений оказали стимулирующее воздействие по сравнению с контролем, в качестве которого служила дистиллированная вода. Наиболее сильный стимулирующий эффект оказали вытяжки ландыша, кладонии, липы и дуба, а наименьший – осины и сфагнома. На изменение длины корня проростков редиса отрицательно воздействовали вытяжки берёзы, осины и сосны. При воздействии вытяжек остальных растений длина корня проростков увеличилась по сравнению с контролем. Особенно высокое стимулирующее воздействие оказали вытяжки липы и кладонии.

Таблица 7

Результаты опыта по воздействию водных вытяжек различных растений на тест-организмы

| Растение | Значение параметров тест-организмов | | | | |
|-----------------|-------------------------------------|---------------|------------------|-------------|-------------|
| | Хлорелла, ТКР* | Дафнии, БКР** | Семена редиса*** | | |
| | | | Число всходов, % | Длина, мм | |
| | | | | гипокотилля | корня |
| Сосна | 1,47 | 1,00 | 70,0 | 8,4 ± 0,28 | 20,5 ± 1,57 |
| Можжевельник | 9,33 | 2,95 | 88,3 | 8,2 ± 0,25 | 26,6 ± 1,28 |
| Берёза | 4,37 | > 3 | 70,0 | 8,7 ± 1,06 | 17,8 ± 2,35 |
| Осина | 18,2 | > 3 | 61,7 | 7,8 ± 0,81 | 18,5 ± 0,54 |
| Липа | 6,46 | > 3 | 80,0 | 10,2 ± 0,42 | 28,8 ± 2,52 |
| Дуб | 16,9 | > 3 | 76,7 | 10,1 ± 1,72 | 25,4 ± 3,73 |
| Ландыш | 16,2 | > 3 | 71,7 | 10,6 ± 0,22 | 25,6 ± 3,89 |
| Мох Шребера | 8,91 | 1,00 | 75,0 | 8,6 ± 0,69 | 25,8 ± 2,23 |
| Сфагнум | 8,51 | 1,00 | 6,7 | 7,2 ± 0,75 | 25,8 ± 1,75 |
| Кладония | 7,07 | > 3 | 91,7 | 10,4 ± 0,17 | 27,8 ± 0,23 |
| Контроль (вода) | - | 0,00 | 96,7 | 6,9 ± 0,31 | 23,3 ± 1,30 |

*ТКР – токсическая кратность разбавления экстракта, **БКР – безопасная кратность разбавления экстракта; *** – продолжительность опыта с редисом составляла 72 часа

Таблица 8

Матрица коэффициентов корреляции между различными параметрами тест-организмов

| Параметр тест-организма | Значение коэффициента корреляции между параметрами тест-организмов | | | |
|-------------------------|--|--------|-------------------|-------------|
| | Хлорелла, ТКР | Редис | | |
| | | Всходы | Длина гипокотилля | Длина корня |
| Хлорелла, ТКР | 1,00 | | | |
| Всходы редиса, % | -0,03 | 1,00 | | |
| Длина гипокотилля, мм | 0,10 | -0,26 | 1,00 | |
| Длина корня, мм | 0,03 | 0,16 | 0,64 | 1,00 |

Расчёты показали, что содержание химических элементов в экстрактах растений не оказывало достоверного влияния на значения параметров тест-организмов. Это является, на наш взгляд, подтверждением наличия в экстрактах-реагентах существенно специфичных для каждого вида растения биологически активных веществ, по-разному воздействующих на их состояние. О специфичности воздействия экстрактов растений на параметры тест-организмов свидетельствует также отсутствие корреляционной связи их друг с другом (табл. 8). Умеренная коррелятивная связь отмечается только между длиной гипокотилля проростков редиса и длиной их корня. На выявление биологически активных веществ, присутствующих в экстрактах растений, и механизм их воздействия на различные объекты будут направлены в дальнейшем наши усилия.

Заключение. Анализ литературы показал, что прижизненные выделения растений (экзометаболиты) и вещества, вымываемые из их опада, являются довольно мощным экологическим фактором, оказывающим влияние не только на формирование видовой структуры фитоценозов, но и на их состояние, продуктивность, устойчивость функционирования и непрерывность круговорота веществ. Этот вопрос, несмотря на большое число публикаций, изучен, однако, недостаточно глубоко и всесторонне. Особенно слабо изучено влияние экзометаболитов растений на почву, что связано со сложностью этого компонента экосистем, реакция которого на внешнее воздействие зависит от многих факторов, вычленив которые в природных условиях часто невозможно. Оценку влияния экзометаболитов растений на свойства почвы целесообразно, в

связи с этим, проводить в лабораторных условиях, а уж затем переходить к проверке результатов полевыми опытами.

Концентрация подвижных ионов металлов в экстрактах всех растений сугубо специфична, что связано, вероятно, как с составом их клеточного сока, так и проницаемостью кутикулы листьев. Лидером по содержанию всех элементов, кроме кальция и железа, является экстракт из листьев осины. Концентрация же кальция и железа наиболее высока в экстрактах из листьев липы. Меньше всего этих элементов содержится в вытяжках из листьев ландыша, а марганца – из стеблей сфагнома.

Результаты лабораторных опытов свидетельствуют о разном и довольно значительном влиянии водных экстрактов лесных растений на содержание подвижных форм металлов в почве и состояние тест-организмов. Экстракты сосны, дуба и орляка обладают самой высокой способностью к связыванию в почве подвижных форм калия, способствуя, по сравнению с

экстрактами других растений, увеличению содержания ионов цинка и меди. Экстракты осины, ландыша, мха Шребера и сфагнома повышают содержание в почве подвижных ионов кальция, железа и марганца, снижая, при этом, концентрацию ионов цинка, меди и никеля, а экстракты ели, можжевельника, кладонии, берёзы и липы интенсивнее других связывают в почве кальций, железо и марганец, высвобождая ионы калия, меди и никеля.

Водные экстракты всех изученных нами видов растений оказывают токсичное действие на развитие бактерий, экстракты из листьев осины, дуба и ландыша – на развитие хлореллы, а сфагнома, сосны и мха Шребера – на дафний. Экстракты всех растений, особенно сфагнома и осины, приводят к снижению всхожести семян редиса, оказывая стимулирующее воздействие на размер его проростков. Наиболее сильное стимулирующее воздействие оказывают экстракты ландыша, кладонии, липы и дуба.

Список литературы

1. Гродзинский, А. М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ / А.М. Гродзинский. – Киев: Наукова думка, 1965. – 200 с.
2. Колесниченко, М. В. Биохимические взаимодействия древесных растений / М.В. Колесниченко. – М.: Лесная промышленность, 1968. – 152 с.
3. Иванов, В. П. Растительные выделения и их значение в жизни фитоценозов / В.П. Иванов. – М.: Наука, 1973. – 296 с.
4. Нетребенко, В. Г. Влияние кустарников на биологическую активность степных почв в лесных полосах / В.Г. Нетребко // Лесохозяйственная информация: реферативный выпуск. – М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1974. – Вып. 2. – С. 10-12.
5. Чернобай, Ю. Н. Аллелопатические свойства подстилок в лесных биоценозах Карпат (Черногора) / Ю.Н. Чернобай // Проблемы аллелопатии: тез. докл. 5-го Всесоюз. совещ. – Киев, 1976. – С. 99-100.
6. Райс, Э. Аллелопатия / Э. Райс. – М.: Мир, 1978. – 389 с.
7. Золотухин, А. И. Фитоценотическая роль выделений кустарников в сообществах лесных полос лесостепи / А.И. Золотухин: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Киев, 1981. – 18 с.
8. Гродзинский, А. М. Экспериментальная аллелопатия / А.М. Гродзинский, Э.А. Головкин, С.А. Горобец и др. – Киев: Наукова думка, 1987. – 236 с.
9. Матвеев, Н. М. Аллелопатический режим и интенсивность биологического круговорота веществ в лесных биоценозах степной зоны / Н.М. Матвеев // Вопросы лесной биогеоценологии, экологии и охраны природы в степной зоне: межвуз. сб. статей. – Куйбышев, 1990. – С. 61-75.
10. Матвеев, Н. М. Аллелопатия как фактор экологической среды / Н.М. Матвеев. – Самара, 1994. – 206 с.
11. Овчаренко, А. А. Роль биологически активных выделений древесных растений в формировании экологической среды фитоценозов Среднего Прихоперья / А.А. Овчаренко, А.М. Кузьмичев // Вестник Тамбовского государственного университета. Сер.: Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18, № 3. – С. 822-825.
12. Баранецкий, Г. Г. Аллелопатические свойства дуба черешчатого и ведение лесного хозяйства в дубравах / Г.Г. Баранецкий // Научные основы ведения лесного хозяйства в дубравах: Тез. Всесоюз. конф. Секции 1-2. – Воронеж: ВЛТИ, 1991. – С. 23-24.
13. Гринюк, Ю. Г. К вопросу о причинах смены пород в грабово-дубовых лесах Украины / Ю.Г. Гринюк // Научные основы ведения лесного хозяйства в дубравах: Тез. Всесоюз. конф. Секции 1-2. – Воронеж: ВЛТИ, 1991. – С. 68-70.
14. Попов, В. К. Аллелопатические свойства летучих и водорастворимых веществ березы и осины / В.К. Попов, Н.М. Попова // Лесная геоботаника и биология древесных растений. – Тула: ТГУ, 1979. – С. 95-98.

15. Попов, В.К. Влияние экзометаболитов на ростовые процессы сосны обыкновенной / В.К. Попов, Н.М. Попова // Сосновые леса России в системе многоцелевого лесопользования: Тез. Всероссийской конф. – Воронеж: ВЛТИ, 1993. – Кн. 1. – С. 76-77.
16. Марьин, Г.С. Основы общей и аграрной экологии / Г.С. Марьин, О.Г. Марьина-Чермных, С.Г. Манишкин. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2010. – 364 с.
17. Савич, В.И. Влияние водных вытяжек и гуматов из сорных растений на развитие проростков / В.И. Савич, С.Л. Белоухов, Д.Н. Никиточкин, В.В. Верхотуров // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – № 2 (18). – С. 167-172.
18. Лазаускас, П. О взаимодействии культурных растений и сорняков в посевах / П. Лазаускас, З. Балуневицита // Физиолого-биохимические основы взаимодействия растений в фитоценозах. – Киев: Наукова думка, 1973. – Вып. 4. – С. 30-34.
19. Дзюбенко, Н.Н. О взаимодействии культурной и сорной растительности в агрофитоценозах / Н.Н. Дзюбенко, Л.И. Крупа // Физиолого-биохимические основы взаимодействия растений в фитоценозах. – Киев: Наукова думка, 1973. – Вып. 4. – С. 34-38.
20. Занина, М.А. Взаимоотношения культурных и сорных растений / М.А. Занина // Структура, состояние и охрана экосистем Прихоперья. – Балашов: Изд-во «Николаев», 2006. – С. 25-26.
21. Склярлова, Т.А. Влияние выделений древесных растений лесных полос на сельскохозяйственные культуры // Структура, состояние и охрана экосистем Прихоперья. – Балашов: Изд-во «Николаев», 2006. – С. 65-67.
22. Тиньков, А.А. Сравнительный анализ влияния растений семейства Подорожниковые на рост *E. Coli in vitro* / А.А. Тиньков, Е.Р. Гатиатулина, О.Н. Немерешина и др. // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН (электронный журнал). – 2014. – № 2. – С. 1-16. <http://cyberleninka.ru/journal/n/byulleten-orenburgskogo-nauchnogo-tsentra-uro-ran>.
23. Свиридова, И.К. Результаты изучения вымывания азота и зольных элементов дождевыми осадками из крон древесных пород / И.К. Свиридова // Доклады АН СССР. – 1960. – Т. 133, № 3. – С. 706-708.
24. Масилюнас, Л.И. Некоторые данные о химическом составе атмосферных осадков и вымывании химических веществ из крон деревьев / Л.И. Масилюнас, Г.Б. Паулюквичюс // Труды АН Литовской ССР. Серия Биология. – 1963. – Т. 1. – С. 45-51.
25. Колодяжная, А.А. Режим химического состава атмосферных осадков и их метаморфизация в зоне аэрации / А.А. Колодяжная. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963. – 164 с.
26. Мина, В.Н. Выщелачивание некоторых веществ атмосферными осадками из древесных растений и его значение в биологическом круговороте / В.Н. Мина // Почвоведение. – 1965. – № 6. – С. 7-17.
27. Attiwil, P. M. The chemical composition of rainwater of relation to cycling of nutrients in nature Eucaliptus forest / P. M. Attiwil // Plant and Soil. – 1966. – Vol. 24, N 3. – Pp. 6-10.
28. Carlisle, A. The nutrient content of tree stem flow and ground flours litter and lea chutes in a Sessile oak (*Quercus petraea*) woodlound / A. Carlisle, A.H.F. Brown, E.J. White // J. of Ecology. – 1967. – Vol. 55, N 3. – Pp. 615-627.
29. Tukey, H. B. J. Leaching of substances from plants / H.B.J. Tukey // Ann. Rev. of plant physiology. – 1970. – Vol. 21. – Pp. 305-324.
30. Gersper, P. Some effect of stem flow from forest canopy trees on chemical properties of soils / P. Gersper, H. Holowaychuk // Ecology. – 1971. – Vol. 52, N 4. – Pp. 230-239.
31. Соколов, А.А. Химический состав атмосферных осадков, прошедших сквозь полог елового и березового древостоя / А.А. Соколов // Лесоведение. – 1972. – № 3. – С. 103-106.
32. Сысыев, В.В. О механизме изменения химического состава атмосферных вод под пологом леса / В.В. Сысыев // Вестник МГУ. Сер. География. – 1975. – № 5. – С. 107-110.
33. Likens, G. E. Biogeochemistry of a forested ecosystem / G.E. Likens, F.H. Borman, R.S. Pierce, et al. – New-York: Springer, 1977. – 148 p.
34. Miller, H. G. Collection and retention of atmospheric pollutants by vegetation / H.G. Miller, J.D. Miller // Intern. Conf. of Ecological Impact of Acid Precipitation. – Oslo, AAS, 1980. – Pp. 33-40.
35. Fuhrer, J. Interactions between acidic deposition and forest ecosystem processes / J. Fuhrer, C. Fuhrer-fries // European J. of forest pathology. – 1982. – Vol. 12, N 6-7. – Pp. 377-391.
36. Lindberg, E. S. Water and acid soluble trace metals in atmospheric particles / E. S. Lindberg, R. C. Harris // Geophysic Res. – 1983. – Vol. 88, N 9. – Pp. 1177-1191.
37. Richter, D. D. Atmosphere sulfur deposition, neutralization and ion leaching in two deciduous forest ecosystems / D. D. Richter, D. W. Johnson, D. E. Todot // Environ. Quail. – 1983. – Vol. 12. – Pp. 112-123.
38. Ulrich, B. Effect of air pollution on forest ecosystems and water – The principles demonstrated at a case study in Central Europe / B. Ulrich // Atmospheric Environ. – 1984. – Vol. 18. – Pp. 72-84.
39. Карпачевский, Л.О. Воздействие полога ельника сложного на химический состав осадков / Л.О. Карпачевский, Т.А. Зубкова, Т. Пройслер и др. // Лесоведение. – 1998. – № 1. – С. 50-59.
40. Пристова, Т.А. Влияние древесного полога лиственно-хвойного насаждения на химический состав осадков / Т.А. Пристова // Лесоведение. – 2005. – № 5. – С. 49-55.
41. Арчегова, И.Б. Влияние древесных растений на химический состав атмосферных осадков в процессе восстановления среднетаежных лесов / И.Б. Арчегова, Е.Г. Кузнецова // Лесоведение. – 2011. – № 3. – С. 34-43.
42. Робакидзе, Е.А. Химический состав жидких атмосферных осадков в старовозрастных ельни-

ках средней тайги / Е.А. Робакидзе, Н.В. Гормонова, К.С. Бобкова // Геохимия. – 2013. – № 1. – С. 72.

43. Демаков, Ю.П. Влияние азрального поступления веществ на их круговорот в лесных экосистемах / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1. – С. 66-86.

44. Баранецкий, Г.Г. Экзометаболиты древесных растений в регуляции водного режима почвы / Г.Г. Баранецкий // Ведение хозяйства в водоохранных лесах. – Йошкар-Ола: МПИ, 1990. – С. 110-111.

45. Базюк, О.Ф. Роль биологических особенностей древесных пород в формировании водного режима / О.Ф. Базюк, Ю.Г. Гринюк // Ведение хозяйства в водоохранных лесах. – Йошкар-Ола: МПИ, 1990. – С. 112-113.

46. Карасева, М.А. Применение фитомелиорантов при выращивании искусственных насаждений хвойных пород / М.А. Карасева, К.Т. Лежнин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2012. – 160 с.

47. Карпачевский, Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе / Л.О. Карпачевский. – М.: МГУ, 1977. – 312 с.

48. Горшенин, К.П. Влияние лесных посадок на физико-морфологическое строение чернозема / К.П. Горшенин // Почвоведение. – 1924. – № 3-4. – С. 41-47.

49. Ткаченко, М.Е. Влияние отдельных пород деревьев на почву / М.Е. Ткаченко // Почвоведение. – 1939. – № 10. – С. 3-17.

50. Погребняк, П.С. Обмен зольных веществ между древесной растительностью и почвой / П.С. Погребняк // Доклады АН УССР. – 1948. – № 3. – С. 3-13.

51. Зонн, С.В. Влияние леса на почвы / С.В. Зонн. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 160 с.

52. Роде, А.А. К вопросу о роли леса в почвообразовании / А.А. Роде // Почвоведение. – 1954. – № 5. – С. 50-63.

53. Вайчис, М.В. К вопросу о влиянии листовенницы европейской на изменение дерново-подзолистых почв / М.В. Вайчис // Почвоведение. – 1958. – № 5. – С. 12-22.

54. Похитон, П.П. Влияние различных древесных пород на почву / П.П. Похитон // Почвоведение. – 1958. – № 6. – С. 49-55.

55. Смирнов, В.Н. Сравнительная характеристика дерново-подзолистых суглинистых почв хвойно-лиственных и широколиственных лесов Среднего Поволжья // Почвоведение. – 1963. – № 5. – С. 64-75.

56. Миронов, Н.А. Зависимость между свойствами почв и составом смешанных насаждений / Н.А. Миронов // Научные доклады высшей школы: Биологические науки. – 1964. – № 1. – С. 199-203.

57. Миронов, Н.А. Изменение лесорастительных свойств дерново-подзолистых почв в за-

висимости от состава и смены древесных пород в лесах Татарии / Н.А. Миронов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Казань: КГУ, 1966. – 18 с.

58. Растворова, О.Г. Влияние состава лесных насаждений на свойства серых лесных почв / О.Г. Растворова // Химия, генезис и картография почв. – М.: Наука, 1968. – С. 112-115.

59. Смольянинов, И.И. Биологический круговорот веществ и повышение продуктивности лесов / И.И. Смольянинов. – М.: Лесная промышленность, 1969. – 192 с.

60. Газизуллин, А.Х. Почвообразование, почвы и лес / А.Х. Газизуллин. – Казань: РИЦ «Школа», 2005. – 540 с.

61. Моделирование развития искусственных лесных биогеоценозов / Л.С. Шугалей, М.Г. Семечкина, Г.И. Яшихин, В.К. Дмитриенко. – Новосибирск: Наука, 1984. – 152 с.

62. Кретинин, В.М. Изменение свойств почв в приствольной зоне деревьев в позахитных лесных полосах / В.М. Кретинин // Почвоведение. – 1993. – № 3. – С. 94-99.

63. Лаврова, О.П. Об особенностях аллелопатического режима в фитогенном поле дуба / О.П. Лаврова, Н.М. Матвеев // Вопросы экологии и охраны природы в лесостепной и степной зонах: Междунар. межвед. сб. науч. тр. – Самара: Самарский университет, 1996. – Вып. 2. – С. 115-124.

64. Методы биогеохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 450 с.

65. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля, марганца, кобальта, хрома методом атомно-абсорбционной спектроскопии. – М.: ФГУ ФЦАО, 2007. – 20 с.

66. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 (ПНД Ф Т 16.1:2:3:3.7-04). Методика определения токсичности проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer). – Красноярск: Изд-во Красноярского государственного университета, 2007. – 36 с.

67. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04 (ПНД Ф Т 16.1:2:3:3.8-04). Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм» на приборе «Биотокс-10». – М.: Изд-во ООО НЦ «Экологическая перспектива», 2007. – 16 с.

68. ПНД Ф Т 14.1:2:4.12-06 (ПНД Ф Т 16.1:2:3:3.9-06). Методика определения токсичности водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов, питьевой, сточной и природной воды по смертности тест-объекта *Daphnia magna* Straus. – Красноярск: Изд-во Красноярского госуниверситета, 2006. – 46 с.

Статья поступила в редакцию 09.02.15.

Информация об авторах

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры экологии, почвоведения и природопользования, Поволжский государственный технологический университет, главный научный сотрудник государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Область научных интересов – биогеоценология, математическое моделирование лесных экосистем. Автор 280 публикаций, в том числе 10 монографий и учебных пособий.

ИСАЕВ Александр Викторович – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, государственный природный заповедник «Большая Кокшага». Область научных интересов – биогеоценология, лесное почвоведение. Автор 37 публикаций, в том числе одной монографии.

ТАЛАНЦЕВ Владимир Иванович – инженер кафедры химии, аспирант, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – химия органических соединений, физическая химия. Автор 13 публикаций.

МАЛЮТА Ольга Васильевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, почвоведения и природопользования, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – биоиндикация и биотестирование. Автор 83 публикаций.

UDC 630*181:579.61

CHEMICAL AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF WOODY PLANTS WATER EXTRACTS

Yu. P. Demakov^{1,2}, A. V. Isaev², V. I. Talantsev¹, O. V. Maluta¹

¹Volga State University of Technology,

3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation

E-mail: DemakovYP@volgatech.net; TalantsevVI@volgatech.net; MalutaOV@volgatech.net

²State nature reserve «Bolshaya Kokshaga»,

26, Voinov-Internatsionalistov St., Yoshkar-Ola, 424038, Russian Federation

E-mail: avsacha@yandex.ru

Key words: forest plants; water extracts; composition of elements; soil; moving forms of metals; test-organisms.

ABSTRACT

A detailed analysis of some books and journals on assessment of the role of secretion (exometabolites) of plants in formation of species composition and maintenance of sustainability of forest ecosystems and farming ecosystems functioning was carried out. Assessment results of the content in water extracts of 12 species of forest plants of active forms of some metals and a laboratory experience of their influence on chemical composition of alluvial-meadow light clay muck soil, as well as condition of test-organisms were offered. It was shown that there was more potassium, manganese, zink, cuprum, and active form of nickel in the aspen leaf extract, and there was more calcium and ferrum in the linden leaf extract. Lily of the valley leaf extracts contain the least concentration of calcium and ferrum, sphagnum stems – manganese. It was determined that extracts of pine, oak and bracken were of the best ability to binding of active forms of potassium, contributing to increase of the content of zink and cuprum ions (in comparison with the extracts of other plants) in the soil. Extracts of aspen, lily of the valley, Pleurozium schreberi, and sphagnum increase the content of active forms of potassium, ferrum, and manganese in the soil; at that, they decrease concentration of the ions of zink, cuprum, and nikel; extracts of spruce, juniper, cladonia, birch and linden are more active in binding of calcium, ferrum, and manganese, releasing the ions of potassium, cuprum and nikel. Water extracts of all the considered species show toxic effect on bacteria development (leaves extracts of aspen, oak and lily of the valley – on chlorella development; sphagnum, pine and Pleurozium schreberi – on daphnia). Extracts of all the species, sphagnum and aspen in particular, cause decrease of radish seeds viability; at the same time, they show a stimulating effect on the size of the sprouts of the plant. Extracts of lily of the valley, cladonia, linden, and oak show the strongest stimulating effect. It was concluded that exometabolites of plants were a strong ecological factor, influencing both the formation of species structure of phytocenoses as well as their condition, productivity, sustainability of functioning, and continuity of circulation of elements.

REFERENCES

- Grodzinskiy A. M. *Allelopatiya v zhizni rasteniy i ikh soobshchestv* [Allelopathy in the Life of Plants and Plant Societies]. Kyiv: Naukova dumka, 1965. 200 p.
- Kolesnichenko M. V. *Biokhimicheskie vzaimovlianiya drevesnykh rasteniy* [Biokhemical Interaction of Woody Plants]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1968. 152 p.
- Ivanov V. P. *Rastitelnye vydeleniya i ikh znachenie v zhizni fitotsenozov* [Plant Excretion and Their Significance in the Life of Phytocenosis]. Moscow: Nauka, 1973. 296 p.
- Netrebenko V. G. *Vliyanie kustarnikov na biologicheskuyu aktivnost stepnykh pochv v lesnykh polosakh* [Bushes Influence on the Bioactivity of Steppe Soils in Forest Strips]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya: referativnyy vypusk* [Forestry Information]. Moscow: TSBNTI Gosleskhoza SSSR, 1974. Issue 2. Pp. 10-12.
- Chernobay Yu. N. *Allelopaticheskie svoystva podstilok v lesnykh biogeotsenozakh Karpat (Chernogora)* [Allelopathic Properties of Litter in Forest Biogeocenoses of the Carpathians (Chernogora)]. *Problemy allelopatii: tez. dokl. 5-go Vsesouz. Soveshch* [Problems of Allelopathy: reports of V All-Union Meeting]. Kyiv, 1976. Pp. 99-100.
- Rays E. *Allelopatiya* [Allelopathy]. Moscow: Mir, 1978. 389 p.
- Zolotukhin A. I. *Fitotsenoticheskaya rol vydeleniy kustarnikov v soobshchestvakh lesnykh polos lesostepi : avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Phytocoenotic Role of Bushes Secretion in the Forest Strips Societies in the Forest Steppe: autoref. for a Candidate Degree thesis (Biology)]. Kyiv, 1981. 18 p.
- Grodzinskiy A. M., Golovko E.A., Gorobets S.A., et al. *Eksperimentalnaya allelopatiya* [Experimental Allelopathy]. Kyiv: Naukova dumka, 1987. 236 p.
- Matveev N. M. *Allelopaticheskiy rezhim i intensivnost biologicheskogo krugovorota veshchestv v lesnykh biotsenozakh stepnoy zony* [Allelopathic Regime and Intensity of Biocycle of Matters in Forest Communities of the Steppe Zone]. *Voprosy lesnoy biogeotsenologii, ekologii i okhrany prirody v stepnoy zone: mezhvuz. sb. statey* [Issues of Forest Biogeocenology, Ecology and Nature Protection in the Steppe Zone: collected papers of several universities]. Kuibyshev, 1990. Pp. 61-75.
- Matveev N. M. *Allelopatiya kak faktor ekologicheskoy sredy* [Allelopathy as a Factor of Environment]. Samara, 1994. 206 p.
- Ovcharko A. A., Kuzmichev A.M. *Rol biologicheskikh aktivnykh vydeleniy drevesnykh rasteniy v formirovaniy ekologicheskoy sredy fitotsenozov Srednego Prikhoperya* [The Role of Bioactive Secretions of Woody Plants in Formation of Ecological Environment of the Phytocenoses of Middle Prikhopere]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennyye i tekhnicheskie nauki* [Vestnik of Tambov State University. Ser.: Natural and Technical Sciences]. 2013. Vol. 18, № 3. Pp. 822-825.
- Baranetskiy G. G. *Allelopaticheskie svoystva duba chereschatogo i vedenie lesnogo khozyaystva v dubravakh* [Allelopathic Properties of English Oak and Forest Management in Oak Groves]. *Nauchnye osnovy vedeniya lesnogo khozyaystva v dubravakh: tez. Vsesouz. konf. Sektsii 1-2*. [Scientific Basis for Forest Management in Oak Groves: Reports of All-Union Conference. Sections 1-2]. Voronezh: VLTI, 1991. Pp. 23-24.
- Grinyuk Yu. G. *K voprosu o prichinakh smeny porod v grabovo-dubovykh lesakh Ukrainy* [To the Problem of Species Succession in Hornbeech and Oak Groves of the Ukraine]. *Nauchnye osnovy vedeniya lesnogo khozyaystva v dubravakh: Tez. Vsesouz. konf. Sektsii 1-2* [Scientific Basis for Forest Management in Oak Groves: Reports of All-Union Conference. Sections 1-2]. Voronezh: VLTI, 1991. Pp. 68-70.
- Popov V. K., Popova N.M. *Allelopaticheskie svoystva letuchikh i vodorastvorimyykh veshchestv berezy i osiny* [Allelopathic Properties of Volatiles and Water-Soluble Materials of Birch and Aspen]. *Lesnaya geobotanika i biologiya drevesnykh rasteniy* [Forest Geobotany and Biology of Woody Plants]. Tula: TGU, 1979. Pp. 95-98.
- Popov V. K., Popova N.M. *Vliyanie ekzometabolitov na rostovye protsessy sosny obyknovennoy* [Exometabolites Influence on the Growth Processes of Scots Pine]. *Sosnovye lesa Rossii v sisteme mnogotselovogo lesopolzovaniya: tez. Vserossiyskoy konf.* [Russian Pine Forests in the System of Multipurpose Forest Use: reports of Russian conference]. Voronezh: VLTI, 1993. Book 1. Pp. 76-77.
- Marin G. S., Marina-Chermnykh O.G., Manishkin S.G. *Osnovy obshchey i agrarnoy ekologii* [Fundamentals of General and Agrarian Ecology]. Yoshkar-Ola: MarSU, 2010. 364 p.
- Savich V.I., Belopukhov S.L., Nikitochkin D.N., Verkhoturov V.V. *Vliyanie vodnykh vytyazhek i gumatov iz sornykh rasteniy na razvitie prorostkov* [Influence of Water Extracts and Humates of Weed Plants on Sprouts Growth]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. [Systems. Methods. Technologies]. 2013. № 2 (18). Pp. 167-172.
- Lazauskas P., Balunevichite Z. *O vzaimodeystvii kulturnykh rasteniy i sornyakov v posevakh* [On Interaction of Cultivated Crops and Weed Plants in Plantings]. *Fiziologo-biokhimicheskie osnovy vzaimodeystviya rasteniy v fitotsenozakh* [Physiological and Biochemical Bases of Plants Interaction in Plant Communities]. Issue. 4. Kyiv: Naukova dumka, 1973. Pp. 30-34.

19. Dzubenko N. N., Krupa L. I. O vzaimodeystvii kulturnoy i sornoy rastitelnosti v agrofytotsenozakh [On Interaction of Cultivated Plants and Weedy Crops in Agrophytocenosis]. *Fiziologo-biokhimicheskie osnovy vzaimodeystviya rasteniy v fitotsenozakh* [Physiological and Biochemical Bases of Plants Interaction in Plant Communities]. Issue 4. Kyiv: Naukova dumka, 1973. Pp. 34-38.
20. Zanina M. A. Vzaimootnosheniya kulturnykh i sornykh rasteniy [Interaction of Crop and Weed Plants]. *Struktura, sostoyanie i okhrana ekosistem Prikhoperya* [Structure, Condition and Protection of Ecosystems in Prikhopere]. Balashov: Izdatelstvo "Nikolaev", 2006. Pp. 25-26.
21. Sklyarova T. A. Vliyanie vydeleniy drevesnykh rasteniy lesnykh polos na selskokhozyaystvennyye kultury [Influence of the Trees' Extracts of Forest Strips on Agricultural Plants]. *Struktura, sostoyanie i okhrana ekosistem Prikhoperya* [Structure, Condition and Protection of Prikhopere Ecosystems]. Balashov: Izdatelstvo "Nikolaev", 2006. Pp. 65-67.
22. Tinkov A. A., Gatiatullina E. R., Nemereshina O. N., et al. Sravnitelnyy analiz vliyaniya rasteniy semeystva Podorozhnikovye na rost *E. Coli in vitro* [Comparative Analysis of Influence of Plantain Family Plants on *E. Coli in vitro* Growth]. *Bulleten Orenburgskogo nauchnogo centra UrO RAN (elektronnyy zhurnal)* [Bulletin of Orenburg Research Centre, RAS (e-magazine)]. 2014. № 2. Pp. 1-16. URL : <http://cyberleninka.ru/journal/n/byulleten-orenburgskogo-nauchnogo-tsentra-uro-ran>
23. Sviridova I. K. Rezultaty izucheniya vymyvaniya azota i zolnykh elementov dozhdevymi osadkami iz kron drevesnykh porod [Results of Study of Nitrogen and Ash Constituents Washing out by Rain Falls out from the Crowns of Trees]. *Doklady AN SSSR* [Reports of AN SSSR]. 1960. Vol. 133, № 3. Pp. 706-708.
24. Masilunas L. I., Paulukyavichus G. B. Nekotorye dannye o khimicheskom sostave atmosferykh osadkov i vymyvanii khimicheskikh veshchestv iz kron derevev [Some Data on Chemical Composition of Rain Falls and Washing out of Chemical Elements out from the Crowns of Trees]. *Trudy AN Litovskoy SSR. Seriya Biologiya* [Protocols of AN Lithuania SSR. Series Biology]. 1963. Vol. 1. Pp. 45-51.
25. Kolodyazhnaya A. A. *Rezhim khimicheskogo sostava atmosferykh osadkov i ikh metamorfizatsiya v zone aeratsii* [Chemistry Mode of Rain Falls and Their Metamorphization in the Airing Zone]. Moscow-Leningrad: Izdatelstvo AN SSSR, 1963. 164 p.
26. Mina V. N. Vyshchelachivanie nekotorykh veshchestv atmosferymi osadkami iz drevesnykh rasteniy i ego znachenie v biologicheskom krugovorote [Washing out of Some Matters by the Atmosphere Precipitation out from Woody Plants and Its Significance in Biocycle]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1965. № 6. Pp. 7-17.
27. Attiwil P. M. The chemical composition of rainwater of relation to cycling of nutrients in nature Eucaliptus forest. *Plant and Soil*. 1966. Vol. 24, N 3. Pp. 6-10.
28. Carlisle A., Brown A. H. F., White E. J. The nutrient content of tree stem flow and ground flours litter and lea chutes in a Sessile oak (*Quercus petraea*) woodland. *J. of Ecology*. 1967. Vol. 55. N 3. Pp. 615-627.
29. Tuke H. B. J. Leaching of substances from plants. *Ann. Rev. of plant physiology*. 1970. Vol. 21. Pp. 305-324.
30. Gersper P., Holowaychuk H. Some effect of stem flow from forest canopy trees on chemical properties of soils. *Ecology*. 1971. Vol. 52. N 4. Pp. 230-239.
31. Sokolov A. A. Khimicheskii sostav atmosferykh osadkov, proshedshikh skvoz polog elovogo i berezovogo drevostoya [Chemical Composition of Atmosphere Precipitation, Coming through the Canopy of Spruce and Birch Stands]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1972. № 3. Pp. 103-106.
32. Sysuev V. V. O mekhanizme izmeneniya khimicheskogo sostava atmosferykh vod pod pologom lesa [On the Mechanism of Change of Chemical Composition of Atmospheric Water under the Forest Canopy]. *Vestnik MGU. Ser. Geografiya* [Vestnik of MSU. Ser. Geography]. 1975. № 5. Pp. 107-110.
33. Likens G. E., Borman G. E., Pierce R. S., et al. Biogeochemistry of a forested ecosystem. New-York: Springer, 1977. 148 p.
34. Miller H. G., Miller J. D. Collection and retention of atmospheric pollutants by vegetation. Intern. Conf. of Ecological Impact of Acid Precipitation. Oslo, AAS, 1980. Pp. 33-40.
35. Fuhrer J., Fuhrer-fries C. Interactions between acidic deposition and forest ecosystem processes. *European J. of forest pathology*. 1982. Vol. 12, N 6-7. Pp. 377-391.
36. Lindberg E. S., Harris R. C. Water and acid soluble trace metals in atmospheric particles. *Geophysic Res*. 1983. Vol. 88. N 9. Pp. 1177-1191.
37. Richter D. D., Johnson D. W., Todot D. E. Atmosphere sulfur deposition, neutralization and ion leaching in two deciduous forest ecosystems. *Environ. Quail*. 1983. Vol. 12. Pp. 112-123.
38. Ulrich B. Effect of air pollution on forest ecosystems and water – The principles demonstrated at a case study in Central Europe. *Atmospheric Environ*. 1984. Vol. 18. Pp. 72-84.
39. Karpachevskiy L. O., Zubkova T. A., Proisler T., et al. Vozdeystvie pologa elnika slozhnogo na khimicheskii sostav osadkov [Influence of Spruce Canopy on the Chemical Composition of Precipitation]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1998. № 1. Pp. 50-59.
40. Pristova T. A. Vliyanie drevesnogo pologa listvenno-khvoynogo nasazhdeniya na khimicheskii sostav osadkov [Influence of Canopy of Deciduous and Coniferous Stand on the Chemical Composition of Precipitation]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2005. № 5. Pp. 49-55.

41. Arhegova I. B., Kuznetsova E.G. Vliyanie drevesnykh rasteniy na khimicheskiy sostav atmosferykh osadkov v protsesse vosstanovleniya srednetazhnykh lesov [Influence of Woody Plants on the Chemical Composition of Precipitation while Mid-Taiga Forests Restoration]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2011. № 3. Pp. 34-43.
42. Robakidze E. A., Gormonova N.V., Bobkova K.S. Khimicheskiy sostav zhidkikh atmosferykh osadkov v starovozrastnykh elnikakh sredney taygi [Chemical Composition of Rains in the Old Spruce Forests in Mid-Taiga]. *Geokhimiya* [Geochemistry]. 2013. № 1. P. 72.
43. Demakov Yu.P., Isaev A.V. Vliyanie aeralnogo postupleniya veshchestv na ikh krugovorot v lesnykh ekosistemakh [Influence of the Aerial Entrance of Matters on Their Circulation in Forest Ecosystems]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2015. № 1. Pp. 66-86.
44. Baranetskiy G. G. Ekzometabolity drevesnykh rasteniy v regulyatsii vodnogo rezhima pochvy [Exometabolites of Woody Plants in Soil Water Regime Regulation]. *Vedenie khozyaystva v vodookhrannykh lesakh* [Management of Riparian Forests]. Yoshkar-Ola: MPI, 1990. Pp. 110-111.
45. Bazyuk O.F., Grinyuk Yu.G. Rol biologicheskikh osobennostey drevesnykh porod v formirovaniy vodnogo rezhima [The Role of Biological Peculiarities of Woody Species in Water Regime Formation]. *Vedenie khozyaystva v vodookhrannykh lesakh* [Management of Riparian Forests]. Yoshkar-Ola: MPI, 1990. Pp. 112-113.
46. Karaseva M. A., Lezhnin K.T. *Primenenie fitomeliorantov pri vyrashchivaniy iskusstvennykh nasazhdeniy khvoynnykh porod* [Phytoameliorants Application in Cultivation of Plantations (Coniferous Species)]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2012. 160 p.
47. Karpachevskiy L. O. *Pestrota pochvennogo pokrova v lesnom biogeotsenozе* [Soil Cover Diversity in Forest Biogeocenose]. Moscow: MGU, 1977. 312 p.
48. Gorshenin K. P. Vliyanie lesnykh posadok na fiziko-morfologicheskoe stroenie chernozema [Influence of Plantations on Physical and Morphological Structure of Black Earth]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1924. № 3-4. Pp. 41-47.
49. Tkachenko M. E. Vliyanie otdelnykh porod derevev na pochvu [Influence of Some Tree Species on the Soil]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1939. № 10. Pp. 3-17.
50. Pogrebnyak P. S. Obmen zolnykh veshchestv mezhdru drevesnoy rastitelnostu i pochvoy [Ash Constituents Exchange between the Trees and the Soil]. *Doklady AN USSR* [Reports of AN URSR]. 1948. № 3. Pp. 3-13.
51. Zonn S. V. *Vliyanie lesa na pochvy* [Forest Influence on Soils]. Moscow: Izdatelstvo AN SSSR, 1954. 160 p.
52. Rode A. A. K voprosu o roli lesa v pochvoobrazovanii [To the Problem of Forest Role in Soil Formation]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1954. № 5. Pp. 50-63.
53. Vaichis M. V. K voprosu o vliyanii listvennitsy evropeyskoy na izmenenie dernovo-podzolistykh pochv [To the Problem of European Larch Influence on the Sod-Podzol Soil Changes]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1958. № 5. Pp. 12-22.
54. Pokhiton P. P. Vliyanie razlichnykh drevesnykh porod na pochvu [Influence of Different Woody Species on the Soil]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1958. № 6. Pp. 49-55.
55. Smirnov V. N. Sravnitel'naya kharakteristika dernovo-podzolistykh suglinistykh pochv khvoynolistvennykh i shirokolistvennykh lesov Srednego Povolzhya [Comparative Characteristics of Sod-Podzol Sandy Loam Soil in Coniferous and Deciduous Forests and Broad-Leaved Forests of the Middle Volga Region]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1963. № 5. Pp. 64-75.
56. Mironov N. A. Zavisimost mezhdru svoystvami pochv i sostavom smeshannykh nasazhdeniy [Dependence between Soil Properties and Mixed Stands Composition]. *Nauchnye doklady vysshey shkoly: Biologicheskie nauki*. [Papers of Higher School: Biology]. 1964. № 1. Pp. 199-203.
57. Mironov N. A. *Izmenenie lesorastitelnykh svoystv dernovo-podzolistykh pochv v zavisimosti ot sostava i smeny drevesnykh porod v lesakh Tatarii: avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Changes of Sod-Podzol Soil Characteristics Depending on the Composition and Succession of Tree Species in Tatar Forests: autoref. for a Candidate Degree (Biology)]. Kazan: KGU, 1966. 18 p.
58. Rastvorova O. G. Vliyanie sostava lesnykh nasazhdeniy na svoystva serykh lesnykh pochv [Plantations Composition Influence on the Properties of Gray Forest Soil]. *Khimiya, genesis i kartografiya pochv* [Chemistry, Genesis and Mapping of Soils]. Moscow: Nauka, 1968. Pp. 112-115.
59. Smolyaninov I. I. *Biologicheskiy krugovorot veshchestv i povyshenie produktivnosti lesov* [Biocycle of Matters and Forests Productivity Improvement]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1969. 192 p.
60. Gazizullin A. Kh. *Pochvoobrazovanie, pochvy i les* [Soil Formation, Soils and Forest]. Kazan: RITS «Skola», 2005. 540 p.
61. Shugaley L.S., Semechkina M.G., Yashikhin G.I., Dmitrienko V.K. *Modelirovanie razvitiya iskusstvennykh lesnykh biogeotsenozov* [Simulation of Planted Forest Biogeocenoses Development]. Novosibirsk: Nauka, 1984. 152 p.
62. Kretinin V.M. *Izmenenie svoystv pochv v pristvolnoy zone derevev v polezashchitnykh lesnykh*

polosakh [Soil Properties Change Close to the Stems in Forest Shelter Belts]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1993. № 3. Pp. 94-99.

63. Lavrova O. P., Matveev N.M. Ob osobennostyakh allelopaticeskogo rezhima v fitogenom pole duba [On Peculiarities of Allelopathic Regime in Phytogeneous Field of Oak]. *Voprosy ekologii i okhrany prirody v lesostepnoy i stepnoy zonakh: Mezhdunar. mezhved. sb. nauch. tr.* [Issues of Ecology and Nature Protection in Forest-Steppe and Steppe Zones: collected papers]. Samara: Samarskiy universitet, 1996. Issue 2. Pp. 115-124.

64. *Metody biogeokhimicheskogo issledovaniya rasteniy. Pod red. A.I. Ermakova* [Methods for Biochemical Researches of Plants: under the editorship of A.I. Ermakov]. Leningrad: Agropromizdat, 1987. 450 p.

65. Metodika vypolneniya izmereniy valovogo soderzhaniya medi, kadmiya, tsinka, svintsa, nikelya, margantsa, kobalta, khroma metodom atomno-absorbtsionnoy spektroskopii [A Methods to Measure the Total Content of Cuprum, Cadmium, Zink, Plumbum, Nikel, Manganese, Cobalt, Chrome by Means of Atomic Absorption Spectroscopy]. Moscow: FGU FTSAO, 2007. 20 p.

66. PND F T 14.1:2:3:4.10-04 (PND F T 16.1:2:3:3.7-04). Metodika opredeleniya toksichnosti prob poverhnostnykh presnykh, gruntovykh, pitevykh, stochnykh vod, vodnykh vytyazhek iz pochv, osadkov stochnykh vod i otkhodov po izmeneniyu opticheskoy plotnosti kultury vodorosli khlorella (*Chlorella vulgaris* Beijer).

[PND F T 14.1:2:3:4.10-04 (PND F T 16.1:2:3:3.7-04). A Methods of Toxicity Assessment for Surface, Fresh, Ground, Drinking, Waste Waters, Soil-Water Extracts, Waste Water Mud and Wastes in the Changes of Optical Density of *Chlorella vulgaris* Beijer).]. Krasnoyarsk: Izdatelstvo Krasnoyarskogo gosudarstvennogo universiteta, 2007. 36 p.

67. PND F T 14.1:2:3:4.11-04 (PND F T 16.1:2:3:3.8-04). Metodika opredeleniya toksichnosti vody i vodnykh vytyazhek iz pochv, osadkov stochnykh vod i otkhodov po izmeneniyu intensivnosti bakterialnoy bioluminestsentsii test-sistemoy «Ekolum» na pribore «Biotoks-10». [PND F T 14.1:2:3:4.11-04 (PND F T 16.1:2:3:3.8-04). A Methods of Toxicity Assessment for Water and Soil-Water Extracts, Waste Water Mud and Wastes in the Change of Intensity of Bacterial Bioluminescence by Test-System «Ekolum» using «Biotoks-10»]. Moscow: Izdatelstvo OOO NTS "Ekologicheskaya perspektiva", 2007. 16 p.

68. PND F T 14.1:2:4.12-06 (PND F T 16.1:2:3:3.9-06). Metodika opredeleniya toksichnosti vodnykh vytyazhek iz pochv, osadkov stochnykh vod i otkhodov, pitevoy, stochnoy i prirodnoy vody po smertnosti test-obekta *Daphnia magna* Straus. [PND F T 14.1:2:4.12-06 (PND F T 16.1:2:3:3.9-06). A Methods of Toxicity Assessment for Soil-Water Extracts, Waste Water Mud and Wastes of Drinking Water, Wastewater and Natural Water by Test-object *Daphnia magna* Straus Mortality.]. Krasnoyarsk: Izdatelstvo Krasnoyarskogo universiteta, 2006. 46 p.

The article was received 09.02.15.

Citation for an article: Demakov Yu. P., Isaev A. V., Talantsev V. I., Maluta O. V. Chemical and biological activity of woody plants water extracts. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2015. No 2 (26). Pp. 57-76.

Information about the authors

DEMAKOV Yuriy Petrovich – Doctor of Biological Sciences, Professor at the Chair of Ecology, Pedology and Nature Management at the Volga State University of Technology, Chief Researcher at the State Natural Reserve «Bolshaya Kokshaga». The author of 280 publications, including 10 monographs and study guides.

ISAEV Alexander Viktorovich – Candidate of Agricultural Sciences, Deputy Director for Research Activity, State Natural Reserve «Bolshaya Kokshaga». The author of 37 publications including one monograph.

TALANTSEV Vladimir Ivanovich – Engineer at the Chair of Chemistry, Postgraduate student at the Volga State University of Technology. Research interests – chemistry of organic compounds, physical chemistry. The author of 13 publications.

MALUTA Olga Vasilyevna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Chair of Ecology, Pedology and Nature Management at the Volga State University of Technology. Research interests – bioindication and biotesting. The author of 83 publications.

УДК 575 : 630.17

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОРОСТКОВ БЕРЁЗЫ ПОВИСЛОЙ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Т. В. Баранова

Воронежский государственный университет,
Российская Федерация, 394036, Воронеж, Университетская пл., 1
E-mail: tanyavostric@rambler.ru

*Приведены результаты изучения цитогенетических реакций проростков берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.), полученных из семян, собранных в районах г. Воронежа и на пригородной территории с разным уровнем антропогенного загрязнения. Установлено, что при слабой степени загрязнения среды митотический индекс (МИ) составляет 9 %, а доля цитогенетических нарушений (ЦН) – 4,2 %. В районах с сильной степенью загрязнения МИ колеблется от 8,6 до 10,5 %, а доля ЦН – от 8,9 до 9,3%. Семенное потомство из относительно экологически чистого района отличается от контроля по цитогенетическим характеристикам: более низкому митотическому индексу и статистически большему числу нарушений деления.*

Ключевые слова: загрязнение среды; берёза повислая; проростки; патологии митоза; цитогенетические нарушения.

Введение. В связи с усилением загрязнения окружающей среды продуктами антропогенной деятельности на локальном и глобальном уровнях остро встаёт вопрос о его влиянии на биоту, в том числе на древесные растения, которые в урбоэкосистемах являются мощными фитофильтрами, очищая городской воздух от различных токсических веществ. В таком аспекте актуальной является задача изучения цитогенетических показателей семенного потомства растений, которые отражают состояние их генетического аппарата и могут быть использованы в экологическом мониторинге [1–8], а также в решении задач сохранения биоразнообразия, лесоразведения и лесовосстановления.

Цель работы состояла в изучении цитогенетических реакций семенного потомства берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.), которая широко используется для озеленения многих городов России, собранного в районах с разным уровнем

антропогенного загрязнения, и оценке возможности использования цитогенетических показателей в экологическом мониторинге городских территорий.

Материал и методы. Сбор семян берёзы повислой производили с фенотипически нормальных четырёх-пяти деревьев 25–30-летнего возраста, не имевших видимых следов повреждения вредителями и болезнями, как в антропогенно загрязнённом Левобережном районе г. Воронежа (вблизи ОАО «Воронежсинтезкаучук» и на ул. Ленинградской в 1 км от него), так и в относительно экологически чистом Центральном (на ул. Платонова), а также в дачном посёлке Репное, находящемся в 10 км от города. В качестве контроля использовали семенное потомство пяти деревьев, произраставших на территории Усманского бора (район биостанции ВГУ «Веневитиново»), где, по данным исследователей [9, 10], уровень загрязнения поллютантами не превышает ПДК.

© Баранова Т. В., 2015.

Для цитирования: Баранова Т. В. Цитогенетические изменения проростков берёзы повислой при загрязнении городской среды // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 2 (26). – С. 77-82.

Материалом для цитологического изучения служили корневые меристемы проростков семян, которые по сравнению с вегетативными органами взрослых деревьев более чутко реагируют на изменение концентрации химических элементов в почве и как следствие этого несут геномные мутации и хромосомные aberrации. Фиксацию, окрашивание корешков пророщенных семян и приготовление постоянно-давленных микропрепаратов проводили по ранее разработанной методике [1–6]. В каждом варианте опыта было проанализировано семь микропрепаратов, на которых учитывали общее количество клеток, число делящихся клеток, находящихся в той или иной стадии митоза, количество клеток с цитогенетическими нарушениями (ЦН), к числу которых относили патологии митоза и клетки с остаточными ядрышками (ОЯ). В пик митотической активности определяли митотический индекс (МИ, %) и долю ЦН от общего числа делящихся клеток, а также оценивали характер распределения числа клеток по фазам митоза. При подсчёте МИ и анализе данных большое значение имеет количество клеток на стадии профазы, поскольку ряд неблагоприятных факторов среды способствует задержке

клеток в профазе, не допуская их перехода к последующим стадиям. Поэтому при анализе МИ учитывали изменение его значений с учётом и без учёта профазы.

Обработку полученного цифрового материала проводили на ПК с использованием статистических пакетов Excel и Statistica. При сравнении выборок по МИ и доле клеток на разных стадиях митоза использовали параметрический t-критерий Стьюдента, а при сравнении уровня ЦН – непараметрические критерии Уилкоксона (U-критерий) и Ван-дер-Вардена (X-критерий). Для оценки степени сходства биотопов между собой использовали коэффициент Жаккара [11] и кластерный анализ [12].

Результаты и обсуждение. Исследования показали, что загрязнение окружающей среды привело к существенным изменениям значений всех цитогенетических показателей проростков берёзы повислой, которые оказались наиболее высокими у деревьев, растущих на ул. Ленинградская (табл. 1). Это связано, возможно, с высокой концентрацией в почвах этого района г. Воронежа загрязняющих веществ, выбрасываемых не только предприятием «Воронежсинтезкаучук», но ещё и автотранспортом.

Таблица 1

Сравнительная характеристика цитогенетических показателей проростков берёзы повислой в районах с различным уровнем загрязнения среды

| Район сбора образцов | Доля ЦН, % | Доля профаз, % | Митотический индекс, % | |
|------------------------------|-------------|----------------|-------------------------|--------------------------|
| | | | с учётом стадии профазы | без учёта стадии профазы |
| 1. Веневитиново (контроль) | 1,1 ± 1,1 | 28,6 ± 4,7 | 7,7 ± 0,4 | 5,5 ± 0,5 |
| 2. пос. Репное | 3,6 ± 0,8* | 25,5 ± 1,5 | 5,8 ± 0,4** | 4,3 ± 0,3 |
| 3. ул. Платонова | 4,2 ± 0,4** | 37,2 ± 1,8** | 9,0 ± 0,2** | 5,6 ± 0,2 |
| 4. ул. Ленинградская | 9,3 ± 1,7** | 48,0 ± 6,3* | 10,5 ± 0,9* | 6,3 ± 0,9* |
| 5. ОАО «Воронежсинтезкаучук» | 8,9 ± 0,5** | 30,2 ± 1,8 | 8,6 ± 0,2* | 6,0 ± 0,2 |

Различия с контролем достоверны: * p < 0,05, ** p < 0,01.

Больше всего загрязнение среды оказало влияние на долю ЦН, которая увеличилась вблизи предприятия в 8–8,5 раза по сравнению с контрольным участком. Спектр ЦН всех проростков берёзы представлен отставанием хромосом в анафазе и метакинезе, фрагментацией, агглютинацией хроматина, мостами в анафазе и наличием остаточного ядрышка. Значительное увеличение последнего из ЦН наблюдалось у проростков семян, собранных на ул. Ленинградской и в районе ОАО «Воронежсинтезкаучук». В этих точках были также отмечены клетки с вакуолизированной цитоплазмой, что свидетельствует о деградиционных процессах в клетке. Значения остальных цитогенетических показателей возросли по сравнению с минимальными, которые отмечены у потомства берёзы из пос. Репное, всего в 1,5–1,9 раза. У проростков из семян, со-

бранных возле пос. Репное, в спектре ЦН доминирует (69,2 %) наличие остаточного ядрышка при делении. У семенного же потомства, собранного на ул. Платонова, количество клеток с остаточными ядрышками было значительно меньше (21,5 %), а большую часть ЦН составляли патологии митоза.

Значения всех изученных нами цитогенетических показателей довольно тесно коррелируют между собой (табл. 2). Особенно тесная связь между долей профазы и МИ с учётом стадии профазы, а также МИ, оценёнными с учётом и без учёта стадии профазы, которая не является линейной, а аппроксимируется полиномом (рис. 1). Слабее всех коррелирует с остальными цитогенетическими показателями доля ЦН, которая несёт качественно иную информацию о происходящих изменениях.

Таблица 2

Матрица коэффициентов корреляции между цитогенетическими показателями проростков берёзы

| Цитогенетический показатель | Значение коэффициента корреляции между показателями | | | |
|--------------------------------|---|------|------|------|
| | № 1 | № 2 | № 3 | № 4 |
| 1. Доля ЦН | 1,00 | | | |
| 2. Доля профаз | 0,60 | 1,00 | | |
| 3. МИ с учётом стадии профазы | 0,64 | 0,91 | 1,00 | |
| 4. МИ без учёта стадии профазы | 0,64 | 0,72 | 0,94 | 1,00 |

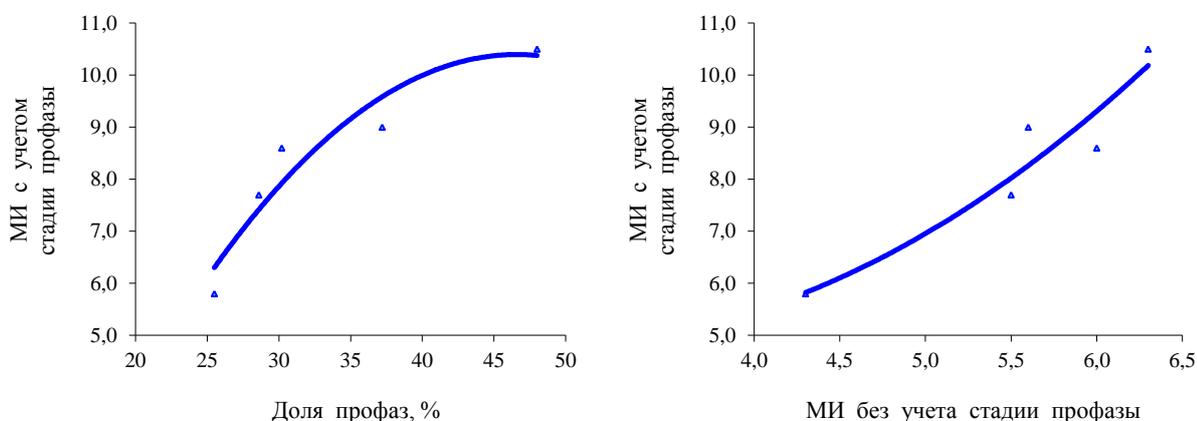


Рис. 1. Характер взаимосвязей между различными цитогенетическими показателями у проростков берёзы повислой

Таблица 3

Матрица коэффициентов сходства различных по загрязнению районов, вычисленных по комплексу нормированных значений цитогенетических показателей проростков берёзы

| Район сбора образцов | Значение коэффициента сходства Жаккара между районами | | | | |
|------------------------------|---|------|------|------|------|
| | № 1 | № 2 | № 3 | № 4 | № 5 |
| 1. Вeneвeтитиново (контроль) | 1,00 | | | | |
| 2. пос. Репное | 0,71 | 1,00 | | | |
| 3. ул. Платонова | 0,61 | 0,73 | 1,00 | | |
| 4. ул. Ленинградская | 0,44 | 0,52 | 0,72 | 1,00 | |
| 5. ОАО «Воронежсинтезкаучук» | 0,44 | 0,52 | 0,67 | 0,84 | 1,00 |

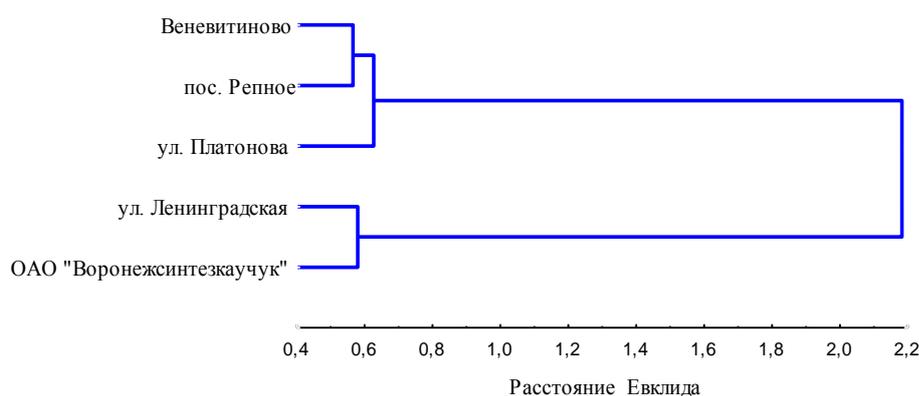


Рис. 2. Дендрограмма сходства различных по загрязнению районов г. Воронежа, построенная способом Варда по матрице нормированных цитогенетических показателей

Расчёты показали, что потомство берёзы из всех пяти исследованных нами районов существенно различается между собой по комплексу цитогенетических показателей (табл. 3). Особенно сильно отличается от контрольного участка потомство с наиболее загрязнённых территорий, образующее чётко обособленный кластер (рис. 2). Экологическую обстановку в районе пос. Репное можно оценить как относительно безопасную, где уровень ЦН, а следовательно, и уровень загрязнения немногим выше, чем на контрольном участке. В Центральном районе г. Воронежа на ул. Платонова отмечается невысокий уровень ЦН, свидетельствующий о слабой степени загрязнения среды. Наиболее велики ЦН в Левобережном районе г. Воронежа, где среда сильно загрязнена продуктами антропогенной деятельности.

Выводы

1. Загрязнение окружающей среды приводит к существенным изменениям

значений всех цитогенетических показателей у проростков берёзы повислой, особенно на долю цитогенетических нарушений.

2. Значения всех цитогенетических показателей довольно тесно коррелируют между собой. Особенно тесная связь между долей профаз и митотическим индексом, которая является нелинейной. Слабее всех коррелирует с остальными цитогенетическими показателями доля цитогенетических нарушений, которая несёт качественно иную информацию о происходящих изменениях семенного потомства берёзы повислой.

3. Цитогенетические показатели проростков берёзы повислой, особенно доля цитогенетических нарушений, могут быть с успехом использованы как для оценки её семенного потомства, так и в экологическом мониторинге совместно с другими показателями для оценки воздействия загрязнения окружающей среды на биоту.

Список литературы

1. *Vostrikova, T. V.* The Cytology of Mitosis in Weeping Birch (*Betula pendula* Roth) / T.V. Vostrikova // *Cytology*. – 1999. – Vol. 41, № 12. – P. 1058.
2. *Вострикова, Т. В.* Мониторинговые исследования естественных и измененных эколого-геологических систем / Т.В. Вострикова // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. – 2003. – № 2. – С. 241-243.
3. *Вострикова, Т. В.* Изучение суточной митотической активности у березы повислой / Т.В. Вострикова, А.К. Буторина // *Цитология*. – 2004. – Т. 46, № 6. – С. 520-524.
4. *Vostrikova, T. V.* Cytogenetic Responses of Birch to Stress Factors / T.V. Vostrikova, A.K. Butorina // *Biology Bulletin*. – 2006. – Vol. 33, № 2. – Pp. 185-190.
5. *Vostrikova, T. V.* Instability of Cytogenetic Parameters and Genome Instability in *Betula pendula* Roth. / T.V. Vostrikova // *Russian Journal of Ecology*. – 2007. – Vol. 38, № 2. – Pp. 80-84.
6. *Вострикова, Т. В.* Эколого-физиологическая реакция семенного потомства древесных растений на стресс / Т.В. Вострикова // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*. – 2010. – № 1. – С. 87-91.
7. *Kalaev, V. N.* The Influence of Air pollution on Cytogenetic Characteristics of Birch Seed Progeny / V.N. Kalaev, S.S. Karpova // *Forest Genetics*. – 2003. – Vol. 10, № 1. – Pp. 11-18.
8. *Kalaev, V. N.* Cytogenetic Characteristics of Weeping Birch (*Betula pendula* Roth) Seed Progeny in Different Ecological Conditions / V.N. Kalaev, S.S. Karpova, V.G. Artyukhov // *Bioremediation, biodiversity & bioavailability*. – 2010. – Vol. 4, № 1. – Pp. 77-83.
9. *Джувеликян, Х.А.* Экологическое состояние лесного массива пригородной зоны г. Воронежа / Х.А. Джувеликян, В.В. Говоров, Л.А. Маслова // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. – 2008. – № 2. – С. 95-103.
10. Доклад о состоянии окружающей среды и природоохранной деятельности городского округа г. Воронежа в 2009 году. – Воронеж: ВГУ, 2010. – 78 с.
11. *Миркин, Б. М.* Толковый словарь современной фитоценологии / Б.М. Миркин, Г.С. Розенберг. – М.: Наука, 1983. – 134 с.
12. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж. О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.

Статья поступила в редакцию 12.02.15.

Информация об авторе

БАРАНОВА Татьяна Валентиновна – кандидат биологических наук, научный сотрудник Ботанического сада, Воронежский государственный университет. Область научных интересов – экология, цитология, ботаника, интродукция. Автор 100 публикаций.

UDC 575 : 630.17

CYTOGENETIC CHANGES OF BETULA PENDULA SPROUTS WHEN ENVIRONMENT POLLUTION

T. V. Baranova

Voronezh State University,
1, Universitetskaya Sq., Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: tanyavostric@rambler.ru

Keywords: environment pollution; European white birch (*Betula pendula*); sprouts; mitosis pathology; cytogenetic distortions.

ABSTRACT

The results of study of European white birch (*Betula pendula* Roth.) sprouts cytogenetic responses are given. The sprouts were obtained from the seeds, taken in Voronezh and its suburb (different level of man-made pollution). It was shown that environment pollution provoked significant changes of all the cytogenetic characteristics of European white birch (*Betula pendula* Roth.) sprouts. It particularly concerns cytogenetic distortions. It was determined that in case of low environment pollution, mitotic index was 9 %, and the share of cytogenetic distortions was 4,2 %. In the area of high environment pollution, mitotic index is 8,6 - 10,5 %, and the share of cytogenetic distortions is 8,9 - 9,3%. Figures of all the cytogenetic distortions are closely correlated with each other. There is particularly strong correlation between the share of prophase and the mitotic index, which is nonlinear. Cytogenetic distortions, which include another information about European white birch seed generation changes, are the least correlated with cytogenetic characteristics. Cytogenetic characteristics of European white birch (*Betula pendula*) sprouts (share of cytogenetic distortions in particular), may be successfully used in assessing seed generation, together with other characteristics to estimate environment pollution influence on the biota.

REFERENCES

1. Vostrikova T. V. The Cytology of Mitosis in Weeping Birch (*Betula pendula* Roth). *Cytology*. 1999. Vol. 41, № 12. P. 1058.
2. Vostrikova T. V. Monitoringovyе issledovaniya estestvennykh i izmenennykh ekologo-geologicheskikh sistem [Monitoring Researches of Natural and Changed Ecologo-Geological Systems]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya*. [Vestnik of Voronezh State University. Series: Geology]. 2003. № 2. Pp. 241-243.
3. Vostrikova T. V., Butorina A.K. Izuchenie sutochnoy mitoticheskoy aktivnosti u berezy povisloy [Study of Daily Mitotic Activity of European White Birch]. *Tsitologiya* [Cytology]. 2004. Vol. 46, № 6. Pp. 520-524.
4. Vostrikova T. V., Butorina A.K. Cytogenetic Responses of Birch to Stress Factors. *Biology Bulletin*. 2006. Vol. 33. № 2. Pp. 185-190.
5. Vostrikova T. V. Instability of Cytogenetic Parameters and Genome Instability in *Betula pendula* Roth. *Russian Journal of Ecology*. 2007. Vol. 38, № 2. Pp. 80-84.
6. Vostrikova T. V. Ekologo-fiziologicheskaya reaktsiya semennogo potomstva drevesnykh rasteniy na stress [Ecological and physiological Response of Seed Posterity of Woody Plants on Stress]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. [Vestnik of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology]. 2010. № 1. Pp. 87-91.
7. Kalaev V. N., Karpova S.S. The Influence of Air pollution on Cytogenetic Characteristics of Birch Seed Progeny. *Forest Genetics*. 2003. Vol. 10. № 1. Pp. 11-18.
8. Kalaev V. N., Karpova S.S., Artyukhov V.G. Cytogenetic Characteristics of Weeping Birch (*Betula pendula* Roth) Seed Progeny in Different Ecological Conditions. *Bioremediation, biodiversity & bioavailability*. 2010. Vol. 4. № 1. Pp. 77-83.
9. Dzuvelikyan Kh.A., Govorov V.V., Maslova L.A. Ekologicheskoe sostoyanie lesnogo massiva prigorodnoy zony g. Voronezha. [Forests Ecology in the Suburb of Voronezh]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*. [Vestnik of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy]. 2008. № 2. Pp. 95-103.
10. Doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy i prirodookhrannoy deyatel'nosti gorodskogo okruga g. Voronezha v 2009 godu [Report on Environment and Environmental Activity in Voronezh in 2009]. Voronezh: VSU, 2010. 78 p.
11. Mirkin B. M., Rosenberg G.S. Tolkovyy slovar sovremennoy fitotsenologii [Dictionary on Modern Phytosociology]. Moscow: Nauka, 1983. 134 p.
12. Kim G.O., Muller Ch.U., Klekka U.R., et al. *Faktornyy, diskriminantnyy i klasternyy analiz* [Factor, Discriminative and Cluster Analysis.]. Moscow: Finansy i statistika, 1989. 215 p.

The article was received 12.02.15.

Citation for an article: Baranova T. V. Cytogenetic changes of *betula pendula* sprouts when environment pollution. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2015. No 2 (26). Pp. 77-82.

Information about the author

BARANOVA Tatiana Valentinovna – Candidate of Biological Sciences, Research at the Botanical Garden, Voronezh State University. Research interests – ecology, cytology, botany, introduction. The author of 100 publications.

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

ЖИЗНЬ, ОТДАННАЯ ВОССТАНОВЛЕНИЮ ЛЕСОВ



29 марта 2015 года ушёл из жизни лесовод, учёный, до последних дней своих преданный лесу человек, кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии ПГТУ Николай Васильевич Еремин.

Его жизненный путь был всегда связан с лесом. Николай Васильевич Еремин родился 27 ноября 1928 года в д. Костино Ермишинского района Рязанской области в бедной крестьянской семье. В годы Великой Отечественной войны, после гибели отца в декабре 1942 года в боях под Сталинградом, оставшись старшим из 4-х детей, познал нелёгкий крестьянский труд. Выжить в те нелёгкие голодные годы помог их семье лес, который кормил, обогревал и спасал от невзгод, как не раз рассказывал сам Николай Васильевич. Он вырос в лесу и, наверно, поэтому любил, понимал и ценил лес, который навсегда стал частью его жизни.

Поступив в 1947 году на лесохозяйственный факультет Поволжского лесотехнического института (ПЛТИ), Н. В. Еремин активно занимался научно-исследовательской работой под руководством доцента Г. К. Незабудкина.

Его трудовая биография началась в 1952 году на Алтае, где он начал работать в должности лесничего, а уже в 1956 году был назначен директором Боровского механизированного лесхоза в особо ценном лесном массиве ленточных боров, расположенном в Алейской степи Алтайского края. Последние годы работы на Алтае совпали с периодом выполнения государственной программы освоения целинных земель, и все работники лесхоза, наряду с профессиональной деятельностью, участвовали в строительстве жилого фонда целинникам, подготовке техники и выполнении посевных работ, уборке урожая.

С августа 1957 по февраль 1960 года Н. В. Еремин продолжает производственную деятельность в Марийской АССР в должности старшего лесничего Муш-Маринского мехлесхоза (пос. Красногорский), а с февраля 1960 по декабрь 1963 года – старшего инженера отдела лесного хозяйства Упрлеспрома Марийского совнархоза. Это были очень трудные, но интересные годы в жизни Николая Васильевича. В Гослесфонде республики возросли объёмы работ с применением средств механизации по лесовосстановлению, лесозащите, в том числе проведены истребительные меры борьбы против майского хруща с использованием авиации в Кокшайском, Муш-Маринском, Юринском, Козиковском и других лесхозах. В орга-

низации данных мероприятий Н. В. Еремин принимал непосредственное участие.

С декабря 1963 по декабрь 1966 года Николай Васильевич – аспирант, с декабря 1966 года – ассистент, с октября 1968 года – старший преподаватель кафедры лесных культур ПЛТИ им. М. Горького. С его участием в 1965–1966 гг. по результатам выполнения хоздоговорной научно-исследовательской темы изданы практические рекомендации «Типы лесных культур на землях Гослесфонда Министерства лесного хозяйства Марийской АССР», которые и в настоящее время используются на производстве и в учебном процессе. Именно в соответствии с типами лесных культур, разработанными научными сотрудниками вуза Г. К. Незабудкиным и Н. В. Ереминым, лесокультурные работы на горельниках в основном проводились по частичной, а в очагах майского хруща – по сплошной подготовке почвы [1].

Н. В. Еремин защитил кандидатскую диссертацию на учёном совете Уральского лесотехнического института, 12 апреля 1972 года ему присуждена учёная степень кандидата сельскохозяйственных наук, в 1976 году – учёное звание доцента.

В 1972–1973 гг. Н. В. Еремин был заместителем декана лесохозяйственного факультета. С 1973 по 1982 гг. он заведовал кафедрой лесных культур и механизации лесохозяйственных работ, а в 1975–1977 гг. работал в должности декана лесохозяйственного факультета. Длительное время принимал активное участие в работе научно-методической комиссии Минвуза СССР, будучи членом комиссии по специальности «Лесное хозяйство». С 1993 года и до последних дней своей жизни Николай Васильевич работал профессором кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных наук МарГТУ (позднее ПГТУ), отдавая все свои знания и многолетний опыт подготовке молодых научных кадров лесной отрасли.

Учебные занятия Н. В. Еремин проводил на высоком научно-техническом

уровне, насыщая их данными собственных исследований, знакомил студентов с новейшими достижениями науки и техники, тесно увязывая теорию с производственной деятельностью и современными проблемами в отрасли лесного хозяйства России. Руководил дипломным проектированием студентов – будущих инженеров лесного комплекса. Многие его ученики успешно работают на предприятиях, в управлениях и министерствах лесного хозяйства, некоторые из них стали видными общественными деятелями и крупными учёными.

Особо значимы его заслуги в совершенствовании учебного процесса, учебно-методического обеспечения, в создании учебно-научной, материально-технической базы кафедры, в том числе опытно-производственных участков лесных культур, а также павильона лесохозяйственных машин. Им написано 10 учебных пособий (шесть из них с грифом УМО).

Главное направление научной деятельности Н. В. Еремина связано с изучением состояния лесовосстановления и, в частности, влияния агротехнических приёмов, видов посадочного материала на приживаемость, успешность роста и производительность лесных насаждений, с разработкой ресурсосберегающих механизированных технологий производства лесных культур ели и других пород в Среднем Поволжье. Свои научные исследования Николай Васильевич вёл в русле проблем в области лесного хозяйства, и в частности, по проблемам воспроизводства лесов.

Научные исследования Н. В. Еремина востребованы и внедряются в производство. Разработанные им практические рекомендации имеют целью увеличение объёма и улучшение качества лесных культур ели и других пород в Среднем Поволжье. По результатам многолетних исследований и производственной проверки Николай Васильевич получил авторское свидетельство на разработанный

им способ выращивания лесных насаждений на вырубках (1989).

В 1990 году Николай Васильевич, войдя в состав инициативной группы Учебно-методического объединения по совершенствованию подготовки инженерных кадров с учётом возрастающей интенсификации ведения лесного хозяйства за счёт применения средств механизации, участвовал в подготовке образовательных стандартов, обосновании вводимых в учебные планы специальности «Лесное хозяйство» новых дисциплин. С его участием в учебный процесс введена и освоена новая учебная дисциплина «Система машин в лесном хозяйстве». Он один из авторов базового учебника с грифом Министерства образования РФ «Система машин в лесном хозяйстве» (2004) и учебно-методических материалов по данному курсу.

В связи со структурными преобразованиями по ведению лесного хозяйства в соответствии с Лесными кодексами РФ (1997, 2006) Н. В. Еремин принимал участие в разработке концепции развития лесного комплекса Поволжья (2004) и Республики Марий Эл (2006), а также лесных планов Нижегородской области и Республики Марий Эл на 2008–2017 гг.

Николай Васильевич принимал активное участие в общественной жизни. С 1971 по 1975 гг. Николай Васильевич из-

бирался депутатом и председателем постоянной комиссии по охране природы Йошкар-Олинского городского совета.

За значительный вклад в приумножение лесных богатств России и Республики Марий Эл, производственную, научную и педагогическую деятельность Н. В. Еремин награждён медалями «За освоение целинных земель» (1957) и «Ветеран труда» (1985), Почетной грамотой Правительства Марийской АССР за борьбу с лесными пожарами (1972), грамотами Президиума Центрального совета Всероссийского общества охраны природы (1974), Министерства высшего и среднего специального образования СССР (1982), значком Министерства лесного хозяйства РСФСР «За сбережение и приумножение лесных богатств РСФСР» (1975), нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации» (1999). В 1978 году Николаю Васильевичу присвоено почётное звание «Заслуженный лесовод Марийской АССР» (1978) [2].

Николай Васильевич навсегда останется в наших сердцах, как неутомимый труженик, Педагог с большой буквы, воспитатель, защитник леса, его ценные советы и напутствия помогут найти правильные решения молодому поколению лесоводов, которым он отдал всю свою жизнь!

Е. М. Романов, Д. И. Мухортов, Т. В. Нуреева

Список литературы

1. Тресцов, Б. И. Марийский лес. Очерки по развитию лесного хозяйства и лесных отраслей Республики Марий Эл / Б. И. Тресцов. – Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 1997. – С. 219.
2. Еремин Николай Васильевич / сост. Г. П. Лаврова. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2009. – 36 с. – (Материалы к биобиблиографии ученых. Серия «Ученые МарГТУ», вып. 4).

LIFE TO FOREST RESTORATION

Nikolay Vasilyevich Eremin, Forester, Scientist, Professor of the Chair for Forest Plantations, Selection and Biotechnology, Candidate of Agricultural Sciences, died on March, 29 2015. He was devoted to forest till the end of his days.

E. M. Romanov, D. I. Mukhortov, T. V. Nureeva



EFI ASSOCIATED EVENT

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг
14–15 октября 2015 года

Йошкар-Ола

<http://www.volgatech.net/sciences/conference/>

Уважаемые коллеги, приглашаем Вас принять участие в работе международной научно-практической конференции по проблеме «Лес и изменение климата», которая состоится в Поволжском государственном технологическом университете.

Целью конференции является обсуждение вопросов влияния феномена глобального изменения климата на лесные экосистемы и лесное хозяйство, использования адаптационных технологий по смягчению последствий изменения климата на жизнь человека и применение спутниковых снимков среднего и высокого пространственного разрешения для оценки биологической продуктивности и мониторинга за состоянием лесной растительности.

Изменение климата является одной из важнейших международных проблем XXI века, которая выходит за рамки научной проблемы и представляет собой комплексную междисциплинарную проблему, охватывающую экологические, экономические и социальные аспекты устойчивого развития Российской Федерации. Последствия такого изменения на лесные экосистемы могут быть как позитивными, так и негативными, незначительными или катастрофическими, могут возникать внезапно или иметь место на протяжении длительного периода времени. Участники конференции ознакомятся с последними результатами научных исследований и практики по теме конференции, а также международных проектов и технологий в области лесных экосистем в условиях изменения климата.

Во время работы конференции будут обсуждены **следующие направления исследований:**

- Современные методы оценки биологической продуктивности лесных экосистем.
- Дистанционное зондирование Земли в решении задач лесной отрасли.
- Проекты по использованию современного программного обеспечения в дистанционном зондировании лесных насаждений.
- Картирование растительного покрова по спутниковым снимкам.
- Перспективные меры по снижению последствий и адаптации к меняющемуся климату.

В работе конференции примут участие студенты, учёные и преподаватели вузов Республики Марий Эл, Нижегородской области, Чувашии, Башкирии, Татарстана, Коми, Удмуртии, Екатеринбурга, Воронежа, Архангельска, Москвы и Санкт-Петербурга.

Из зарубежных докладчиков будут учёные из Финляндии, Италии, Греции, США и Китая. Большая часть докладов зарубежных участников планируется дистанционно на английском языке в зале видеоконференций международного центра «Устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов» ФГБОУ ВПО «ПГТУ». Такой вид конференций с зарубежными коллегами активно практикуется в Поволжском государственном технологическом университете с 2008 года.

Ведущими докладчиками конференции являются известные российские и зарубежные учёные, внёсшие большой вклад в развитие научных исследований по оценке биологической продуктивности лесных насаждений и дистанционному зондированию земли. Конференция будет проводиться при поддержке *Европейского института леса* (Финляндия), который активно занимается исследованиями в области влияния изменения климата на Европу. Учёные Европейского института леса также представят доклады по современным тенденциям в области исследований.

Лучшие научные работы и доклады будут отмечены дипломами. До встречи на конференции!

Рабочие языки конференции русский и английский.

Программный комитет конференции

Е. М. Романов, ректор Поволжского государственного технологического университета.

Э. А. Курбанов, профессор Поволжского государственного технологического университета.

С. А. Денисов, профессор Поволжского государственного технологического университета.

З. Я. Нагимов, профессор, декан Института леса и природопользования Уральского государственного лесотехнического университета.

С. А. Баргалева, профессор Института космических исследований.

А. С. Алексеев, профессор, первый проректор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета.

В. С. Шалаев, директор Института системных исследований леса Московского государственного университета леса.

А. К. Габделхаков, доцент Башкирского государственного аграрного университета.

М. Линднер, руководитель исследовательской программы Европейского института леса (Финляндия).

И. Гитас, профессор Университета Аристотеля (Греция).

Д. Петтенелла, профессор Университета Падуи (Италия).

В работе конференции могут принять участие учёные, преподаватели вузов, аспиранты, студенты, работники государственных служб и специалисты. Приветствуется участие молодых учёных. Организационный взнос с участников конференции не предусмотрен.

Э.А. Курбанов, профессор, руководитель
международного центра «Устойчивого управления
и дистанционного мониторинга лесов» ФГБОУ ВПО «ПГТУ»

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала «Вестник ПГТУ. Сер. «Лес. Экология. Природопользование» принимает к публикации статьи, соответствующие профилю издания по рубрикам:

«**Лесное хозяйство**» – 06.03.01 Лесные культуры, селекция, семеноводство; 06.03.02 Лесоведение и лесоводство, лесоустройство и лесная таксация; 06.03.03 Агролесомелиорация и защитное лесоразведение, озеленение населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними.

«**Технологии и машины лесного дела**» – 05.21.01 Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства; 05.21.05 Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки; 05.23.11 Проектирование и строительство дорог.

«**Проблемы экологии и рационального природопользования. Биотехнологии**» – 03.02.08 «Экология (технические науки: в транспорте, в энергетике, в строительстве и ЖКХ)»; 03.02.14 Биологические ресурсы (биологические и сельскохозяйственные науки); 03.01.06 Биотехнология (в том числе бионанотехнологии).

Статья должна содержать только оригинальный материал, отражающий результаты завершённых исследований авторов, объемом 6–15 страниц, включая рисунки.

К печати принимаются материалы, которые не опубликованы и не переданы в другие редакции. Рукописи проходят обязательное рецензирование. В «Вестнике...» печатаются только статьи, получившие положительные рецензии.

Требования к оригиналам предоставляемых работ

Структура научной статьи

1. Аннотация (3–4 предложения).
2. Ключевые слова или словосочетания (не более 10) отделяются друг от друга точкой с запятой.
3. Введение (оценка состояния вопроса, основанная на обзоре литературы с мотивацией актуальности; выявленное противоречие, позволяющее сформулировать проблемную ситуацию).
4. Цель работы, направленная на преодоление проблемной ситуации (1–2 предложения).
5. Решаемые задачи, направленные на достижение цели.
6. Математическое, аналитическое или иное моделирование.
7. Техника эксперимента и методика обработки или изложение иных полученных результатов.
8. Интерпретация результатов или их анализ.
9. Выводы, отражающие новизну полученных результатов, показывающих, что цель, поставленная в работе, достигнута.

Требования к оформлению статьи

Статья должна быть предоставлена в электронном виде и компьютерной распечатке (2 экз.) на бумаге формата А4. Шрифт Times New Roman, размер шрифта 12 пт, межстрочный интервал одинарный. Поля: внутри – 2 см, верхнее, нижнее, снаружи – 3 см (зеркальные поля), абзацный отступ первой строки на 0,75 см.

На первой странице статьи слева печатается УДК (размер шрифта 10 пт, прямой, светлый) без отступа. Название статьи печатается по центру (размер шрифта 14 пт, прямой, полужирный, прописной). Ниже, по центру – инициалы, фамилия автора (размер шрифта 12 пт, курсив, полужирный). После фамилий авторов указываются места работы: первая строка – название организации, вторая строка – почтовый адрес (размер шрифта 10 пт, прямой). После адресов указывается электронный адрес контактного автора.

Далее размещается аннотация (выравнивание по ширине, размер шрифта 10 пт, курсив, отступ слева и справа 1 см). Аналогично оформляются ключевые слова. Ключевые слова статьи предоставляются на **русском и английском языках**.

Также необходимо предоставить **авторское резюме** статьи на русском и английском языках (**не менее 250–300 слов**), отражающее существо работы, понятное без обращения к самой публикации; оно является основным источником информации в отечественных и зарубежных информационных системах и базах данных, индексирующих журнал.

Таблицы и рисунки должны быть вставлены в текст после абзацев, содержащих ссылку на них.

Размеры иллюстраций не должны превышать размеров текстового поля (не более 15 см).

Список литературы оформляется согласно порядку ссылок в тексте (где они указываются в квадратных скобках) в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 в двух вариантах:

1) на русском;

2) на языке оригинала латинскими буквами (References). Если русскоязычная статья была переведена на английский язык и опубликована в английской версии, то необходимо указывать ссылку из переводного источника. Библиографические описания российских публикаций составляются в следующей последовательности: авторы (транслитерация), перевод названия статьи (монографии) в транслитерированном варианте, перевод названия статьи (монографии) на английский язык в квадратных скобках, название источника (транслитерация, курсив), выходные данные с обозначениями на английском языке.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Статья должна быть подписана автором. После подписи автора и даты указываются его фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, должность, место работы с указанием почтового адреса учреждения (на русском и английском языках), область научных интересов, количество опубликованных работ, телефон, e-mail.

К статье прилагаются следующие **документы**: авторское заявление с указанием рубрики журнала; экспертное заключение о возможности опубликования; рекомендация научного руководителя (для аспирантов и соискателей).

Материалы, не соответствующие вышеуказанным требованиям, не рассматриваются.

Адрес для переписки: 424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина 3, ПГТУ, редакция журнала «Вестник ПГТУ», **e-mail:** vestnik@volgatech.net

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Подробнее – на сайте ПГТУ: <http://www.volgatech.net>

Подписка на журнал осуществляется по «Объединенному каталогу. Пресса России. Газеты и Журналы» (подписной индекс **42920**, тематический указатель: Научно-технические издания. Известия РАН. Известия вузов).