



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

# ВЕСТНИК

3(27)  
2015

июль-сентябрь

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. Зверева*

Подписано в печать 30.09.15.

Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Усл. п. л. 10,9.

Тираж 500 экз. Заказ №

Дата выхода в свет: 09.10.15.

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 C. 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. Сюньёв**, 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

3(27)  
2015

july-september

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@volgategh.net

Editor *T. A. Rybalka*

Cover design *L. G. Malankina*

Computer assisted make up

*A. A. Kisilitsyn*

Translation

*M. A. Zvereva*

Passed for printing 30.09.15.

format 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. No. of press sheets 10,9

Printing run 500 copies. Order No

Release date: 09.11.15.

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 Rus-  
sian Academy of Sciences (Moscow)

**Cecil C. Konijnendijk**, Doctor in Science in forest policy and econom-  
ics 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. Syuney**, 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

© Vestnik of Volga Tech, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

**С. А. Денисов, Т. А. Конюхова, Т. С. Рачкова.** Управление лесовосстановлением на гарях  
**Ю. П. Демаков, В. Г. Краснов, С. В. Кириллов, М. И. Смышляева, А. В. Антропова.** Информативность морфометрических параметров деревьев, желудей и листьев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в географических культурах  
**Е. М. Романов, С. М. Лазарева, С. Н. Бродников.** Семеношение сосны сибирской в Марийском Заволжье  
**Л. В. Черных.** Алгоритм энтропийно-информационного анализа количественных и качественных характеристик подроста на пробных площадях

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ  
ЛЕСНОГО ДЕЛА

**С. В. Посыпанов.** Исследование усилий в таковой оснастке плавающей двухъярусной пакетной сплоченной единицы  
**С. А. Угрюмов, А. А. Федотов, С. А. Рыжов.** Исследование влияния температуры прессования на свойства древесно-стружечных плит, изготовленных с применением фурафурацетонического мономера

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО  
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ.  
БИОТЕХНОЛОГИИ

**И. В. Лянгузова, В. В. Горшков, И. Ю. Бакал, М. С. Бондаренко.** Воздействие почвенного загрязнения тяжелыми металлами на лишайниковый покров сосняка лишайниково-зеленомошного в условиях полевого эксперимента

## ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

**С. А. Угрюмов.** Итоги III-й Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса» и очередной сессии РКСД  
**Д. И. Мухортков.** Российско-германский симпозиум по вопросам лесной генетики, лесовосстановления, лесоводства и изменения климата  
*Информация для авторов*

## CONTENTS

## FORESTRY

**S. A. Denisov, T. A. Konukhova, T. S. Rachkova.** Forest restoration management at the fire sites  
**Yu. P. Demakov, V. G. Krasnov, S. V. Kirillov, M. I. Smyshlyaeva, A. V. Antropova.** Information content of morphometric parameters of trees, acorns and leaves of English oak (*Quercus robur* L.) in provenance trial plantations  
**E. M. Romanov, S. M. Lazareva, S. N. Brodnikov.** Siberian stone pine seeding in Mari Transvolga region  
**L. V. Chernykh.** Algorithm of entropic-information analysis of qualitative and quantitative characteristics of young trees in the sample areas

FORESTRY TECHNOLOGIES  
AND MACHINES

**S. V. Posypanov.** Study of the forces in the rigging of a floaty bilevel rafting unit  
**S. A. Ugryumov, A. A. Fedotov, S. A. Ryzhov.** Influence of the temperature of pressing on the properties of particle boards made with furan resin binders

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL  
NATURE MANAGMENT.  
BIOTECHNOLOGIES

**I. V. Lyanguzova, V. V. Gorshkov, I. Yu. Bakal, M. S. Bondarenko.** Influence of soil pollution (heavy metals) on the lichen pine forest soil cover in conditions of field experiment

## DATES. EVENTS. COMMENTS

**S. A. Ugryumov.** Results of III international research and technical conference «Current problems and perspectives for development of forest-industrial complex» and regular session of regional coordination council on present problems in wood technology  
**D. I. Mukhortov.** Russian-german symposium on forest genetics, reforestation, forestry and climate change  
*Information for the authors*

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630\*231(470.343)

### УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕМ НА ГАРЯХ

**С. А. Денисов, Т. А. Конюхова, Т. С. Рачкова**

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

*Рассматриваются вопросы управления процессом лесовосстановления сосны на гарях в лесном среднем Заволжье. Для естественных молодняков, формирующихся на гарях в условиях свежих боров, в первое десятилетие характерна высокая степень участия в составе лиственных пород, резко снижающих вероятность пожаров в течение десятилетий, что позволяет сосне сохранить свою популяцию. Количества подроста сосны в этих условиях достаточно для естественного формирования сосновых древостоев к возрасту спелости при минимальном лесоводственном вмешательстве. Необходима организация мониторинга лесовосстановления с помощью современных малых беспилотных средств дистанционного зондирования, сокращения доли искусственного восстановления и изменения технологий посадки сосны на гарях там, где они необходимы из-за отсутствия подроста главной породы.*

**Ключевые слова:** сосна; лесные гары; методы лесовосстановления; естественное возобновление леса; лесные культуры; технологии разработки горельников; рубки ухода за лесом.

**Введение.** Естественнo-исторические условия песчаной низменности левобережья Волги (среднее лесное Заволжье), простирающейся между городами Нижний Новгород и Казань, обуславливают формирование здесь протяжённого массива сосновых лесов. Этот ландшафт диктует высокую пожарную опасность и предопределяет возникающие в связи с этим проблемы предупреждения и тушения пожаров, лесовосстановления на крупных гарях. За последние 200 лет пожары, отмеченные в документах и публикациях, были в рассматриваемом регионе в 1815, 1823, 1848–1851, 1891, 1921, 1937, 1972, 2010 гг. Катастрофические лесные пожары 1921, 1972 и 2010 гг., происходившие

на территории современных Нижегородской области и Республики Марий Эл [1–4], наносили большой прямой и косвенный ущерб. Вероятность возникновения таких лесных пожаров, в связи с потеплением климата, будет только возрастать. Уже сейчас можно говорить о наметившемся тренде к сокращению периода между возникновением крупных пожаров. В связи с этим обозначенные проблемы становятся, как никогда, актуальными.

Стратегия искусственного лесовосстановления в Поволжье, в том числе в Нижегородской области и Республике Марий Эл, после пожаров 1972 года, а затем и на протяжении последних десяти-

© Денисов С. А., Конюхова Т. А., Рачкова Т. С., 2015.

**Для цитирования:** Денисов С. А., Конюхова Т. А., Рачкова Т. С. Управление лесовосстановлением на гарях // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 3 (27). – С. 5-17.

летий, была направлена на значительную долю искусственного восстановления в основном сосны. Во втором тысячелетии соотношение искусственного и естественного восстановления сосны остаётся равным 50/50. Это направление реализуется в форме создания, как правило, чистых культур сосны, в надежде, что в междурядьях появятся лиственные породы за счёт естественного их возобновления\*. Однако берёзу и осину продолжают удалять из состава сосновых культур в процессе дальнейших лесоводственных уходов, опасаясь реализации конкурентных преимуществ лиственных пород. Это опасение вполне справедливо для культур сосны в условиях суборей и сураменей, где пожарная опасность менее напряжённая, чем в сухих и свежих борах.

Такая стратегия лесовосстановления привела к возрастанию природной пожарной опасности в лесах, осложнению пожарной обстановки в них и усилению негативного эффекта от поражения огнём. Достаточно отметить, что в общей площади лесного фонда Нижегородской области и Республики Марий Эл сосняки занимают около 40 %.

Проблема вновь остро проявилась летом 2010 года, когда пожары нанесли ощутимый ущерб лесному хозяйству региона. Весьма значительные средства были вложены в незамедлительное и масштабное восстановление лесов, в совершенствование материально-технической базы лесопожарных центров и пожарно-химических станций, проекты противопожарного устройства лесов. Однако фи-

нансирование этих мероприятий из бюджета страны не может постоянно увеличиваться вслед за возрастающими рисками крупных лесных пожаров. Подходы к охране лесов от пожаров и восстановлению леса на горях должны быть пересмотрены на основе современных достижений экологии, лесной пирологии, технологий рубок и воспроизводства лесов.

**Цель работы** – оценить возможность управления лесовосстановлением сосны на горях и снижения пожарной опасности в сосняках лесного среднего Заволжья на основании обзора существующих публикаций и выполненных исследований.

**Материалы и методика** – анализ публикаций и официальных документов, полевые материалы, собранные на территории Нижегородской области и Республики Марий Эл на горях 1972 и 2010 гг. Методика сбора полевого материала базировалась на разработках ВНИИЛМ\*\* с корректировкой на условия крупных горярей и конкретные задачи исследования.

**Результаты и их обсуждение.** Сосняки в Среднем Поволжье широко распространены на древнеаллювиальных песках Волги и её крупных притоков, занимая в лесном фонде субъектов Приволжского федерального округа от 31 до 43 %. Распределение сосняков по типам лесорастительных условий в Нижегородской области и Республике Марий Эл показывает, что около 65 % сосняков сосредоточены в условиях сухих и свежих боров. Эти сосняки являются самыми горимыми и, как правило, наиболее устойчивыми к смене пород. Крупные лесные пожары здесь возникают периодически, через 40–50 лет. Так, в Республике Марий Эл и Нижегородской области, в левобережье Волги (лесное среднее Заволжье) наиболее известны и подробно описаны в литературе крупные пожары 1921, 1972 и 2010 гг.

---

\* Основные положения организации и ведения лесного хозяйства Нижегородской области. В 2-х книгах: Кн. 1 (Пояснительная записка). – Нижний Новгород: ФГПУ «Поволжский леспроект», 2003. – 408 с.; Кн. 2 (Приложение) – Н.Новгород: ФГПУ «Поволжский леспроект», 2003. – 245 с.

Лесной план Нижегородской области в 3-х книгах (действует с 01.01.2009 г. по 31.12.2018 г.). Утв.: Губернатор Нижегородской области. <http://deples.government-nnov.ru/?id=12990> (дата обращения 17.07.2015).

---

\*\* Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов. – М.: Наука, 1966. – 64 с.

Условия для возникновения таких пожаров формируются по двум причинам. Первая причина – природные условия: засухи, вероятность которых здесь составляет 10–12 %, или один раз в 10–12 лет [5], и наличие крупных массивов сосновых лесов на песчаных почвах, подстилаемых древнеаллювиальными песками. Всё это периодически создаёт напряжённую лесопожарную обстановку с высокой вероятностью возникновения крупных природных лесных пожаров. Вторая причина – антропогенные факторы. Возникающие пожары связаны с развитой транспортной сетью, доступностью лесов, недостаточным уровнем выполнения правил пожарной безопасности в лесах населением, посещающим леса. Оперативное тушение возникающих пожаров позволяет временно избежать крупных пожаров и способствует накоплению лесных горючих материалов в насаждениях. Это в свою очередь ещё более обостряет лесопожарную обстановку и постепенно приводит её к критической напряжённости, которая разряжается крупными пожарами с тяжёлыми последствиями. Выход из такой ситуации далеко не очевиден и требует системного решения.

Пожары 1921 года возникали по разным причинам. Число возникших в 1921 году пожаров в архивных документах в целом по тогда Марийской Автономной Области обнаружить не удалось. По Сидельниковской даче Сидельниковского лесничества лесничий Веселовский указывал, что первый в лесничестве пожар возник в кв. 91 от молнии. Независимо от того, в другой части дачи возник тогда же пожар у дороги, а затем ещё два пожара. Вскоре все четыре пожара соединились вместе. Гроза была наиболее активна в июле и сопровождалась сильными ветрами. Пострадало от пожаров 30 лесничеств.

Площадь крупных лесных пожаров 1921 года только в Марийской области

составила 210 тыс. дес., или 230 тыс. га<sup>\*</sup> Обследованием гарей в 1920–30-х гг. занимались экспедиции под руководством Л. И. Яшнова и А. А. Юницкого. В результате естественных процессов возобновления леса на местах пожаров 1921 года образовались сосновые и берёзовые леса. Берёзовые леса заняли площади погибших ельников, а сосняки были восстановлены либо естественным путём (основные площади гарей), либо искусственно. Основной проблемой послепожарного лесовосстановления на песчаных почвах в условиях свежих и сухих боров 1921 года явился майский хрущ, в очагах которого проводилось искусственное лесовосстановление с применением ядохимикатов, постоянным дополнением лесных культур. Отдельные очаги майского хруща просуществовали до 1960-х гг. [6].

Пожары 1972 года, спустя 50 лет, охватили почти 1/5 лесного фонда республики (180 тысяч гектаров). «Во многих местах пожары 1972 г. уничтожили меры предшествующего послепожарного (1921 г.) лесовосстановления» [4, с. 19]. К этому времени уже были отработаны и успешно применялись механизированные технологии создания лесных культур сосны. Они массово использовались на больших площадях после разработки горельников. Было создано 67 тыс. га лесных культур [6]. Остальные площади гарей были восстановлены за счёт естественного возобновления, условия для которого сложились достаточно благоприятные [7]. К 2010 году значительная часть сосняков была представлена молодняками – в Республике Марий Эл – 44 %, в Нижегородской области – 54 %.

Крупные пожары 2010 года в Республике Марий Эл прошли на площади

---

<sup>\*</sup> В материалах Государственного архива Республики Марий Эл хранятся «Протоколы заседания комиссий по вопросу ликвидации гарей», в которых указано, что площадь, на которой возможна эксплуатация древесины, примерно 100,2 тыс. дес. со сплошным повреждением и 220 тыс. дес. с частичным// ГА РМЭ. Ф. 306. Оп. 1. Д. 201.

76,5 тыс. га [8]. В Нижегородской области, по данным департамента лесного хозяйства, пожары охватили 168,8 тыс. га и привели к усыханию лесов на площади в 146,9 тыс. га\*.

Архивные картографические материалы по Республике Марий Эл позволили выяснить, что площади пожаров 1921, 1972 и 2010 гг. частично, и в некоторых случаях на значительных площадях перекрывались. Пожары 1972 года проходили по площадям, где были пожары 1921 года. Последние крупные пожары, охватившие сосновые леса на площади в 2,5 раза меньшую, чем в 1972 году, тем не менее, частично прошли по лесам, сформировавшимся на гарях 1972 года (рис. 1) [9]. Таким образом, сосновые леса на гарях 1921 года, едва достигнув возраста 45–50 лет, горели в 1972 году. Спустя 38 лет, в 2010 году, история повторилась.

В результате складывается парадоксальная ситуация, когда в лесном фонде путём значительных усилий лесоводов

создаются условия, повышающие пожарную опасность в лесах. Буквально выпестованные сосновые леса на крупных гарях прошлых десятилетий превращаются в своеобразную дань огненному Молоху. Противопожарные мероприятия, требующиеся для снижения остроты пожарной ситуации в лесах, в связи с изменением климата, становятся всё более дорогими. Всё это подводит к выводу, что вложение значительных средств на искусственное восстановление сосны и противопожарные мероприятия на местах крупных пожаров себя не оправдывает. Чтобы лесное хозяйство региона не «наступило на старые грабли» в третий раз через 40–50 лет, необходимо пересмотреть существующие технологии лесовосстановления и нормативы противопожарных мероприятий на крупных гарях, исходя из анализа закономерностей лесных сукцессий и лесопирологических особенностей сосняков лесного среднего Заволжья.

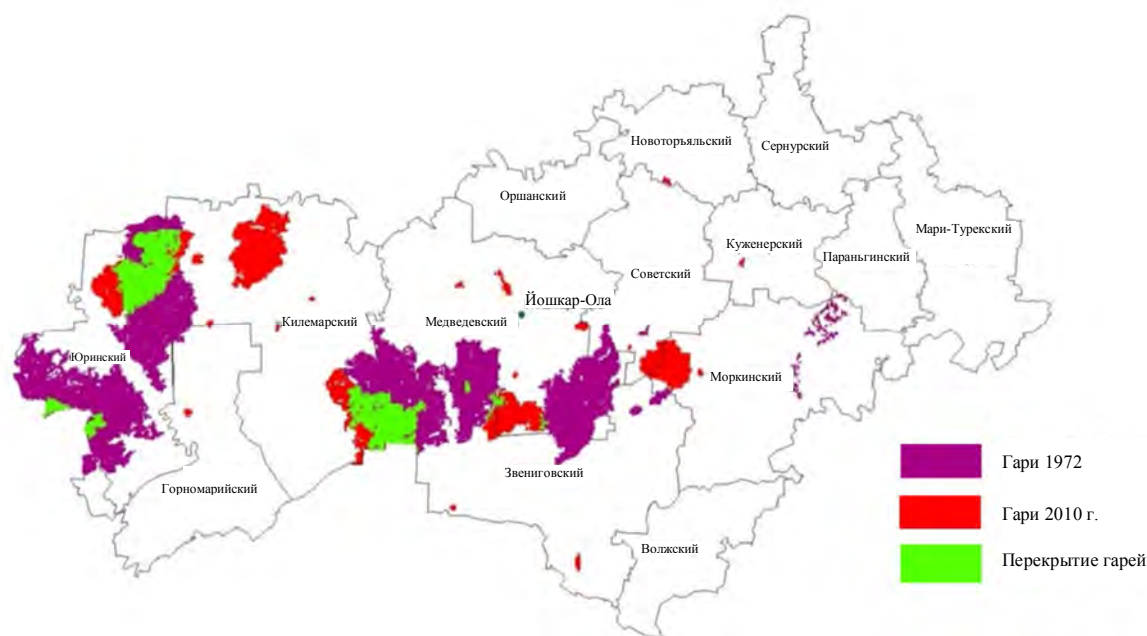


Рис. 1. Совмещённая тематическая карта площадей лесных гарей 1972 и 2010 годов на территорию Республики Марий Эл (по Воробьеву О.Н. и др. [9])

\* <http://deples.government-nnov.ru/?id=12296> (дата обращения 20.08.2015).

С точки зрения экологии, лесной пожар – экологический фактор. Исследования, проводимые с 1950-х годов экологами, показали, что отношение лесоводов к пожарам пора пересматривать. Лесной пожар, как указывает Ю. Одум, «...не малозначущий или аномальный, а важный фактор, который издавна является, можно сказать, частью «климата» в большинстве наземных местообитаний. Соответственно биотические сообщества компенсируют этот фактор и адаптируются к нему, так же как к температуре или воде. Как и в большинстве случаев, человек сильно изменил влияние этого фактора, либо усилив его, либо ослабив. Нежелание признать тот факт, что экосистемы способны «адаптироваться к пожару», часто приводило к неправильному использованию природных ресурсов. При правильном использовании огонь может быть очень ценным экологическим инструментом. Пожар является крайне важным лимитирующим фактором хотя бы потому, что человек способен его контролировать в значительно большей степени, чем многие другие лимитирующие факторы» [10 с. 173]. С этой точки зрения работа исследователей по регулированию лесных горючих материалов в сосновых лесах на песчаных отложениях может быть весьма полезной для нашего региона. Ю. Одум прямо отмечает, что «решение вопроса о том, целесообразно ли в дальнейшем использовать пожар как фактор управления средой, целиком зависит от того, какой тип сообщества на этом участке желателен с точки зрения землепользования в данном районе» [10, с. 173]. В Республике Марий Эл и Нижегородской области сосновым лесам на древнеаллювиальных песках нет альтернативы. Эта формация господствует здесь и вопрос о снижении опасности (предотвращении) возникновения крупных лесных пожаров может решаться только регулированием состава древостоев посредством участия в нём лиственных древесных и кустарниковых пород и противопожарным обустройством сосняков.

Искусственное и естественное восстановление леса на гарях в регионе наиболее подробно проанализировано в работе К. К. Калинина [11] и отдельных публикациях на эту тему [6, 7, 12–14]. Однако следует обратить внимание на то, что в условиях сухих боров наши исследования температурного режима поверхности песчаных почв показали, что в полуденные часы температура поверхности почвы достигает 60 и более градусов, что может снизить приживаемость лесных культур. Избежать вредных влияний высоких температур поверхности почвы может густая хвоя у основания стволика сосны или мульчирование приствольного круга, ориентация рядов с востока на запад.

Необходимость искусственного лесовосстановления на гарях при отсутствии естественного возобновления главной породы обсуждения не требует. Эта мера вынужденная и затраты в этом случае оправданы. Другой вопрос – какова будет производительность древостоев на гарях и насколько целесообразно создание здесь культур сосны? Вопрос о продуктивности древостоев сосны естественного и искусственного происхождения обсуждается многие годы и к единому мнению исследователи не пришли до сих пор [14–16 и др.]. Это означает только одно: различия к возрасту рубки становятся незначительными и колеблются либо в пользу лесных культур, либо в пользу лесов естественного происхождения. Даже преимущество посаженных лесов над лесами естественного происхождения в 5 % не является столь существенным, чтобы вкладывать большие деньги в простое восстановление лесов на гарях [16].

Ликвидация последствий крупных лесных пожаров растягивается на многие годы и включает в себя ряд дорогостоящих работ, главная из которых – подготовка площадей горельников для искусственного лесовосстановления. Для снижения затрат на лесовосстановление важно верное принятие решений, поэтому

технологии обследования насаждений, пройденных пожарами, технологии содействия естественному возобновлению леса и технологии рубок товарных древостоев, расчистка нетоварных древостоев и создания здесь лесных культур приобретают не только лесоводственный, но и экономический смысл.

Принимая во внимание широкие возможности естественного восстановления сосны, как пирогенной древесной породы [17], при разработке программ лесовосстановления следует учитывать связанные с этим многочисленные лесоводственные эффекты: смена пород, заболачивание, изменение травянистой растительности и др.

В 2010 году преобладающими видами лесных пожаров являлись низовые. В отличие от верховых, они, как правило, оставляют значительные шансы на сохранность в кронах шишек с жизнеспособными семенами, что наблюдалось в 1972 году [7].

По нашим исследованиям в Куярском лесничестве в свежих борах, на разработанных в октябре 2010 года гарях в кронах погибших семеносящих сосен имелось достаточно много жизнеспособных семян, всхожесть которых достигала 80 % [18]. Семена, извлечённые из шишек, собранных с земли, имели энергию прорастания семян  $19,8 \pm 1,8$  %, а из шишек, собранных с порубочных остатков, –  $55,8 \pm 2,3$  %. Количество семян в шишках составило в пересчёте на гектар более 500 тыс. шт., что соответствует среднему урожаю семян в сосняках и достаточно для успешного возобновления сосны на гари (табл. 1).

Исследование заселённости гарей семенным материалом древесных пород в октябре 2010 года было проведено на пяти трансектах с отбором 270 проб верхнего горизонта почвы. Все пробы почвы в лабораторных условиях в течение трёх недель регулярно увлажнялись, вёлся учёт появляющихся всходов (табл. 2, рис. 2).

Таблица 1

**Количество семян сосны в шишках, собранных на площадях разработанных горельников в Куярском лесничестве (в пересчёте на гектар)**

| № учетной площадки | Кол-во шишек, тыс. шт.*га <sup>-1</sup> | Кол-во раскрывшихся шишек, тыс. шт.*га <sup>-1</sup> | Среднее кол-во семян в раскрывшейся шишке, шт. | Количество семян, тыс. шт/га |
|--------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------|
| 1                  | 231                                     | 114                                                  | 2,11                                           | 240                          |
| 2                  | 112                                     | 88                                                   | 7,84                                           | 6909                         |
| 3                  | 129                                     | 119                                                  | 9,97                                           | 1190                         |
| 4                  | 25                                      | 25                                                   | 7,2                                            | 180                          |
| 5                  | 11                                      | 10                                                   | 5,8                                            | 60                           |
| 6                  | 34                                      | 30                                                   | 4,33                                           | 130                          |
| 7                  | 234                                     | 226                                                  | 6,82                                           | 1540                         |
| 8                  | 52                                      | 52                                                   | 6,81                                           | 350                          |
| 9                  | 202                                     | 197                                                  | 4,7                                            | 920                          |
| 10                 | 39                                      | 36                                                   | 7,31                                           | 260                          |
| 11                 | 73                                      | 67                                                   | 1,85                                           | 120                          |
| Среднее            | $103,8 \pm 25,4$                        | $87,6 \pm 21,4$                                      | $5,9 \pm 0,74$                                 | 516,8                        |

Таблица 2

**Количество всходов берёзы и их встречаемость в образцах почвы на гари в октябре 2010 года**

| № трансекты | Кол-во проб, шт. | Кол-во всходов берёзы, млн. шт.*га <sup>-1</sup> и ошибка среднего | Встречаемость всходов |
|-------------|------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1           | 55               | $1,9 \pm 0,3$                                                      | 1                     |
| 2           | 50               | $34,6 \pm 4,4$                                                     | 1                     |
| 3           | 55               | $52,1 \pm 5,8$                                                     | 1                     |
| 4           | 55               | $2,4 \pm 0,5$                                                      | 1                     |
| 5           | 55               | $0,6 \pm 0,1$                                                      | 0,72                  |



Рис. 2. Всходы берёзы в образце почвы

Таблица 3

Естественное возобновление через год после пожара (ТЛУ А<sub>2</sub>)

| № трансекты                           | Состав древостоя | Интенсивность низового пожара | Порода | Количество всходов, тыс.шт. *га <sup>-1</sup> | Состав подроста |
|---------------------------------------|------------------|-------------------------------|--------|-----------------------------------------------|-----------------|
| 1 (древостой вырублен осенью 2010 г.) | 9С1Б             | сильная                       | С      | <b>0</b>                                      | 9Ос1Б           |
|                                       |                  |                               | Б      | 30                                            |                 |
|                                       |                  |                               | Ос     | 700                                           |                 |
| 2 (не вырубленный древостой)          | 9С1Б             | сильная                       | С      | <b>225</b>                                    | 5С4Ос1Б         |
|                                       |                  |                               | Б      | 35                                            |                 |
|                                       |                  |                               | Ос     | 175                                           |                 |
| 3 (не вырубленный древостой)          | 9С1Б             | сильная                       | С      | <b>370</b>                                    | 5С4Ос1Б         |
|                                       |                  |                               | Б      | 100                                           |                 |
|                                       |                  |                               | Ос     | 350                                           |                 |
| 4 (не вырубленный древостой)          | 9С1Б             | сильная                       | С      | <b>100</b>                                    | 6С4Ос+Б         |
|                                       |                  |                               | Б      | 8                                             |                 |
|                                       |                  |                               | Ос     | 70                                            |                 |
| 5 (не вырубленный древостой)          | 9С1Б             | сильная                       | С      | <b>1,8</b>                                    | 9Б1С+Ос         |
|                                       |                  |                               | Б      | 18                                            |                 |
|                                       |                  |                               | Ос     | 0,9                                           |                 |

Учёты, проведённые осенью 2011 года, спустя год после пожара, показали высокую вероятность успешного восстановления сосны (табл. 3).

Горельники, разработанные до мая следующего года после пожаров, практически не восстанавливаются сосной, поскольку семенной материал вывозится с кронами или уничтожается в процессе очистки вырубок. На это указывали лесоводы, исследовавшие лесовозобновление на гарях после пожаров 1921 и 1972 гг. [7, 19].

Заготовка ликвидной древесины, как правило, производится в ускоренном режиме, без соблюдения каких бы то ни было технологий. При этом не обращается внимание на наличие шишек с жизнеспособными семенами, не принимается никаких мер по использованию семян сосны для её восстановления. Это следует считать лесоводственно-технологической ошибкой для свежих боров, последствия которой оборачиваются значительными затратами на последующее искусственное

возобновление леса на гарях, где могло преобладать естественное возобновление сосны. При заготовке товарной древесины сразу после низовых пожаров средней интенсивности следует оставлять кроны с шишками на месте. При рубках горелых древостоев на следующий год после пожара необходимо сохранять появляющиеся всходы, используя технологии с сохранением подростка. Для увеличения количества подростка на гарях, где остались живые куртины и отдельные деревья сосны, следует оценить возможную степень усыхания древостоя, после чего решать вопрос об оставлении деревьев на корню на 3–4 года в качестве семенников.

Обследование лесовозобновления на гарях также проведено в разных типах леса Кузнецкого и Куярского лесничеств с закладкой 12 пробных площадей (табл. 4). Количество двухлетней сосны на площадях гарей в условиях суборей колеблется в значительных пределах – от 8,1 до 35,4 тыс.шт.\*га<sup>-1</sup>. Но при этом количество лиственных пород в десятки и местами в сотни раз превышает численность

сосны. Такое количество лиственных, на первый взгляд, обеспечит им преимущество и в дальнейшем может вытеснить сосну из состава древостоев. При равномерном размещении подростка сосны ранними рубками ухода можно откорректировать состав формирующихся молодняков, обеспечив сосне конкурентоспособность на первом этапе формирования молодняков – этапе «чащи».

Из всего отмеченного следует, что ход начального этапа восстановления сосняков на гарях 2010 года повторяет историю восстановления сосняков на гарях 1921 и 1972 гг. В дальнейшем с очень высокой вероятностью можно прогнозировать, что на гарях 2010 года в условиях свежих боров при одновременном поселении сосны и берёзы в равном соотношении (5С5Б) в условиях А<sub>2</sub> к возрасту древостоя 35–40 лет берёза, обогатив почву опадом, уступит первенство сосне [20]. В суборях интенсивный рост берёзы быстро приводит здесь к угнетению сосны, что требует ухода за составом уже на 5–7 год после пожара [13].

Таблица 4

Характеристика лесовозобновления на гарях 2010 года по учёту в 2013 году

| Категория участка | Тип леса | ТЛУ            | Пожар низовой | Количество подростка по породам тыс.шт.*га <sup>-1</sup> |        |        | Состав возобновления  | Встречаемость сосны, % |
|-------------------|----------|----------------|---------------|----------------------------------------------------------|--------|--------|-----------------------|------------------------|
|                   |          |                |               | сосна                                                    | берёза | осина  |                       |                        |
| вырубка 2011г.    | С.зм     | А <sub>2</sub> | средний       | 0                                                        | 0      | 16,3   | 10 Ос                 | 0                      |
| вырубка 2011г.    | С.клп    | В <sub>2</sub> | интенсивный   | 2                                                        | 2,3    | 232,3  | 9,5Ос 0,3Ив 0,1С 0,1Б | 36                     |
| вырубка 2011г.    | С.клп    | В <sub>2</sub> | интенсивный   | 2,4                                                      | 2,9    | 24,5   | 8,20с 1Б 0,8С +Ив     | 56                     |
| вырубка 2011г.    | Б.трб    | В <sub>4</sub> | интенсивный   | 0                                                        | 41,3   | 55,2   | 4,60с 3,5Б 1,9Ив      | 0                      |
| насаждение        | С.мбр    | В <sub>2</sub> | средний       | 13,7                                                     | 1,3    | 49,1   | 7,60с 2,1С 0,2Б       | 88                     |
| насаждение        | С.мбр    | В <sub>2</sub> | средний       | 35,4                                                     | 430,8  | 87,3   | 7,8Б 1,60с 0,6С       | 100                    |
| насаждение        | С.мбр    | В <sub>2</sub> | средний       | 8,1                                                      | 2111,9 | 2068,8 | 5,0Б 4,90с 0,1С       | 100                    |
| насаждение        | С.мбр    | В <sub>2</sub> | средний       | 30,0                                                     | 81,0   | 48,0   | 5,1Б3,0Ос 1,9С        | 100                    |
| насаждение        | С.мбр    | В <sub>2</sub> | средний       | 16,5                                                     | 0      | 37,3   | 6,90с 3Д(с)           | 100                    |
| насаждение        | С.мчер   | В <sub>3</sub> | средний       | 21,4                                                     | 12,7   | 0      | 6,2С3,8Б              | 100                    |
| насаждение        | С.дм     | А <sub>4</sub> | средний       | 21,8                                                     | 210    | 19,3   | 8,4Б 0,9С 0,80с       | 100                    |
| насаждение        | С.оссф   | В <sub>5</sub> | средний       | 14,8                                                     | 41,8   | 1,5    | 7,2Б 2,5С 0,30с       | 100                    |

## Выводы

1. Управление лесовосстановлением на горях должно базироваться на хорошем знании закономерностей естественного возобновления в разных типах лесорастительных условий, но в первую очередь, брусничных и лишайниковых, которые чаще всего подвержены пожарам.

2. При отсутствии антропогенного вмешательства пожарная опасность на горях в сосняках брусничных связана с развитием сукцессионных процессов. Для естественных молодняков, возникающих в этих условиях, в первое десятилетие характерна высокая степень участия в составе лиственных пород, резко снижающих вероятность быстрого распространения огня. Это явление можно рассматривать как природный механизм, позволяющий сосновым лесам существовать в течение 40–50 лет без интенсивных пожаров. К этому времени в составе древостоев происходит увеличение доли сосны за счёт реализации экологических и биологических свойств пород, первоначально участвующих в возобновлении. Древостой входит в стадию средневозрастных и приспевающих древостоев, для которых характерно усиление прироста по диаметру и одновременно утолщение коры, что снижает вероятность сильного повреждения камбия и гибели дерева от низовых пожаров. На этом возрастном этапе начинается активное семеношение, которое гарантирует существование популяции сосны в случае гибели древостоя при пожарах.

3. Создание лесных культур сосны целесообразно в условиях сухого бора, где формирование нового поколения леса

сильно растянуто. В связи с изменением климата, частота засушливых лет увеличивается, что приводит к созданию неблагоприятных условий для искусственного лесовосстановления как в сухих, так и в свежих борах, выражающееся в крайне высоких температурах на поверхности песчаных почв. Это явление требует изменения технологии создания лесных культур, учитывающего необходимость приствольного мульчирования и направления рядов строго с востока на запад для притенения дна плужной борозды элементами нанорельефа. Кроме того, можно создавать культуры без обработки почвы, обеспечивая снижение температуры поверхности почвы естественной травянистой растительностью.

4. Лесовосстановление на горях в свежих борах должно быть отдано природным естественным процессам с умеренным вмешательством человека в ход формирования лесов. На первом этапе, до 40 лет, значительная примесь берёзы оправдана. В последующие 40 лет долю берёзы в составе необходимо снижать до 1–2 единиц. В любом случае, лесоводственные уходы могут скорректировать ход формирования древостоев сосны с пониженной пожарной опасностью.

5. Мониторинг лесовозобновления на горях можно осуществлять используя современные технические средства – квадрокоптеры, как средства для дистанционного зондирования гарей, оснащённые GPS-модулями, имеющими возможность получать цифровые HD-изображения для последующего их анализа и оценки изменений в ходе естественного возобновления леса.

## Список литературы

1. Денисов, А.К. Состояние горельников и их классификация в Марийской АССР / А.К. Денисов // Проблемы ликвидации последствий лесных пожаров 1972 г. в Марийской АССР. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1976. – С. 34-42.

2. Куприянов, Н.В. Леса и лесное хозяйство Нижегородской области / Н.В. Куприянов,

С.С. Веретенников, В.В. Шишов. – Нижний Новгород: Волго-Вятское кн. изд-во, 1994. – 349 с.

3. Денисов, А.К. Лесные пожары в Марийской АССР и Горьковском Заволжье / А. К. Денисов // Горение и пожары в лесу. Тез. докладов и сообщений 1-го Всесоюзного науч.-техн. совещания 22-24

ноября 1978 г. – Красноярск: Институт леса и древесины СО АН СССР, 1978. – Часть 1. – С. 38-40

4. Денисов, А.К. Лесные пожары в лесном среднем Заволжье в 1921 и 1972 гг. и их уроки / А.К. Денисов // Горение и пожары в лесу. Тез. докладов и сообщений 1-го Всесоюзного науч.-техн. совещания 22-24 ноября 1978 г. – Красноярск: Институт леса и древесины СО АН СССР, 1979. – Часть 3. – С. 16-26

5. Колобов, Н.В. Климат Среднего Поволжья / Н.В. Колобов. – Казань: КГУ, 1968. – 252 с.

6. Турецких, И.А. Лесовосстановление гарей 1972 года в Республике Марий Эл / И.А. Турецких, К.К. Калинин // Лесное хозяйство. – 1998. – № 5. – С. 23-24.

7. Чистяков, А.Р. Естественное возобновление в разных типах гарей / А.Р. Чистяков, В.А. Крейер // Проблемы ликвидации последствий лесных пожаров 1972 г. в Марийской АССР. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1976. – С. 68-75.

8. Турецких, И. А. Лесные регионы России. Республика Марий Эл / И.А. Турецких // Деревообрабатывающая промышленность. – 2012. – № 3. – С. 5-8. <http://dop1952.ru/files/journals/3-2012.pdf>. (дата обращения 25.07.2015).

9. Воробьев, О. Н. Дистанционный мониторинг гарей в Марийском Заволжье / О. Н. Воробьев, Э. А. Курбанов, А. В. Губаев и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – № 1 (15). – С. 12-22.

10. Одум, Ю. Основы экологии / Ю. Одум. – М.: Мир, 1975. – 740 с.

11. Калинин, К.К. Крупные лесные пожары в лесном среднем Заволжье и система лесохозяйственных мероприятий по ликвидации их последствий / К.К. Калинин. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012. – 364 с.

12. Денисов, С. А. Проблемы воспроизводства сосновых лесов Среднего Поволжья / С. А. Денисов, К. К. Калинин, В. П. Бессчетнов, Н. В. Демичева и др. // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – № 1 (14). – С. 12-23.

13. Денисов, С.А. Регулирование роли березы в естественном возобновлении гарей / С.А. Денисов // Лесное хозяйство. – 1979. – № 7. – С. 19-21.

14. Романов, Е. М. Искусственное лесовосстановление в Среднем Поволжье: состояние и задачи по совершенствованию / Е. М. Романов, Т. В. Нуреева, Н. В. Еремин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 3(19). – С. 5-19.

15. Луганский, Н.А. Сравнительная производительность искусственных и естественных древостоев / Н.А. Луганский, О.В. Шыпицина // Лесной вестник. – 2008. – № 3. – С. 50-54.

16. Олійник, І. Я. Продуктивність соснових древостоев естественного і искусственного походження в умовах малого полісся / І. Я. Олійник, Л.Д. Загвойска, В.М. Курыляк, Ю.В. Ведюк // Наукові праці Лісівничої академії наук України. – 2014. – № 12. – С. 159-165.

17. Санников, С.Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной / С.Н. Санников. – М.: Наука, 1992. – 264 с.

18. Денисов, С. А. Прогнозирование лесовозобновления на свежих сосновых горельниках / С. А. Денисов, В. В. Самоделкина // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: материалы международного научно-практического семинара [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2011. С. 181-183. – URL: <http://csfm.marstu.net/files/publications/Forest%20ecosystems%20under%20climate%20change.pdf> ISBN 978-5-8158-0935-2

19. Яшинов, Л.И. Обзор исследований лесовозобновления на гарях Маробласти, проведенных кафедрой общего лесоводства Казанского института сельского хозяйства и лесоводства / Л.И. Яшинов // Известия Казанского института сельского хозяйства и лесоводства за 1930 год. – Казань: б. г. – С. 18-26.

20. Денисов, А.К. Формирование смешанных древостоев на свежих гарях / А.К. Денисов, А.А. Александров // Лесное хозяйство. – 1954. – № 10. – С. 26-31.

Статья поступила в редакцию 21.08.15.

### Информация об авторах

**ДЕНИСОВ Сергей Александрович** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – лесоведение, лесоводство, лесные пожары и борьба с ними. Автор 170 публикаций.

**КОНЮХОВА Татьяна Анатольевна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – лесоведение, лесоводство, лесные пожары и борьба с ними. Автор 38 публикаций.

**РАЧКОВА Татьяна Сергеевна** – аспирант кафедры лесоводства и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – лесоведение, лесоводство, лесные пожары и борьба с ними. Автор 10 публикаций.

---

UDC 630x231(470.343)

### FOREST RESTORATION MANAGEMENT AT THE FIRE SITES

**S. A. Denisov, T. A. Konukhova, T. S. Rachkova**

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

**Keywords:** pine; fire sites; methods of forest restoration; natural forest regeneration; forest plantation; technologies for clearing of standing snags; cleaning cutting.

### ABSTRACT

**Introduction.** Sandy lowland on the left bank of the Volga river between Nizhny Novgorod and Kazan determines formation of vast pine forests that are open to large fires from time to time. A strategy for forest restoration of the area includes establishment of pure pine plantation that leads to fire risk increase and repetition of large forest fires. Some change of the existing approaches to forest restoration is required. **The goal of the research is to** estimate the possibility for forest restoration management at the fire sites and decrease fire risk in pine forests of the considered region based on the carried out research and review of some publications. **Results and discussion.** A new strategy for forest restoration management at the fire sites shall be based on the account of the peculiarities of natural regeneration in different forest growth conditions (dry and fresh sandy soil in particular). In the first decade after the fire, natural young growth mainly include broadleaved species that significantly decreases fire risk. This phenomenon shall be considered to be a natural mechanism, creating the conditions for pine forests to grow during the first 40 - 50 years without intensive fires. By that time a share of pine in stand composition is increased due to successful implementation of ecological and biological peculiarities of the broadleaved species taken part in the first stage of forest restoration. Pine plantations establishment is advisable when coniferous forest is grown in dry growth conditions where formation of new generation of forest takes a long period of time. **Conclusions.** Forest restoration at the large fire sites (fresh sandy soils) shall take place naturally but monitoring management with moderate human interference in the course of forest formation is still important. At the first stage (up to 40-50 years), a large share of birch in stand composition is explained by possible fire risk decrease. The share of birch in stand composition shall be decreased (up to 10–20%) by means of cleaning cuttings in the next 40 years. Forest restoration monitoring at the large fire sites shall be carried out with the use of modern techniques for remote sensing.

### REFERENCES

1. Denisov A.K. Sostoyanie gorelnikov i ikh klassifikatsiya v Mariyskoy ASSR [Fires Sites Condition and Their Classification in Mari ASSR]. *Problemy likvidatsii posledstviy lesnykh pozharov 1972 g. v Mariyskoy ASSR* [Problems of Elimination of Consequences of Forest Fires – 1972 in Mari ASSR]. Yoshkar-Ola: MarPI, 1976. Pp. 34-42.
2. Kupriyanov N.V., Veretennikov S.S., Shishov V.V. *Lesa i lesnoe khozyaystvo Nizhegorodskoy oblasti* [Forests and Forestry in Nizhny Nov-

gorod Oblast]. Nizhny Novgorod: Volgo-Vyatskoe knizhnoe izdatelstvo, 1994. 349 p.

3. Denisov A.K. Lesnye pozhary v Mariyskoy ASSR i Gorkovskom Zavolzhe [Forest Fires in Mari ASSR and Trans-Volga Region (in Gorkovskaya oblast)]. *Gorenie i pozhary v lesu. Tez. dokladov i soobshcheniy 1-go Vsesoyuznogo nauch.-tekhn. soveshchaniya 22-24 noyabrya 1978 g.* [Combustion and Fires in Forests. Abstracts of I All-Union Research and Technical Conference (November 22-24 1978)]. Krasnoyarsk: Institute of Forest and Timber of the Academy of Science of the USSR, 1978. Part 1. Pp. 38-40.

4. Denisov A.K. Lesnye pozhary v lesnom srednem Zavolzhe v 1921 i 1972 gg. i ikh uroki [Forest Fires in the Mid-Trans-Volga Region in 1921 and 1972, and the Learnt Lessons]. *Gorenie i pozhary v lesu. Tez. dokladov i soobshcheniy 1-go Vsesoyuznogo nauch.-tekhn. soveshchaniya 22-24 noyabrya 1978 g.* [Combustion and Fires in Forests. Abstracts of I All-Union Research and Technical Conference (November 22-24 1978)]. Krasnoyarsk: Institute of Forest and Timber of the Academy of Science of the USSR, 1979. Part 3. Pp. 16-26

5. Kolobov N.V. *Klimat Srednego Povolzhya* [Climate in the Middle Volga Region]. Kazan: Kazan State University, 1968. 252 p.

6. Turetskikh I. A., Kalinin K.K. Lesovosstanovlenie garey 1972 goda v Respublike Mariy El [Forest Restoration at the Fire Sites - 1972 (Mari El Republic)]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1998. № 5. Pp. 23-24.

7. Chistyakov A.R., Kreyer V.A. Estestvennoe vozobnovlenie v raznykh tipakh garey [Natural Forest Regeneration at the Different Types of Fire Sites]. *Problemy likvidatsii posledstviy lesnykh pozharov 1972 g. v Mariyskoy ASSR* [Problems of Elimination of Consequences of Forest Fires – 1972 in Mari ASSR]. Yoshkar-Ola: MarPI, 1976. Pp. 68–75.

8. Turetskikh I. A. Lesnye regiony Rossii. Respublika Mariy El [Russian Forest Regions. Mari El Republic]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost* [Woodworking Industry]. 2012. № 3. Pp. 5-8. URL: <http://dop1952.ru/files/journals/3-2012.pdf>. (Reference date: 25.07.2015).

9. Vorobyev O. N., Kurbanov E.A., Gubaev A.V. et al. Distantionnyy monitoring garey v Mariyskom Zavolzhe [Fire Sites Remote Sensing in Mari Trans-Volga Region]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2012. № 1 (15). Pp. 12-22.

10. Odum Yu. *Osnovy ekologii* [Fundamentals of Ecology]. Moscow: Mir, 1975. 740 p.

11. Kalinin K.K. *Krupnye lesnye pozhary v lesnom srednem Zavolzhe i sistema lesokhozyaystvennykh meropriyatiy po likvidatsii ikh posledstviy* [Large

Forest Fires in the Mid-Trans-Volga Region and the System of Forestry Measures to Eliminate the Consequences]. Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2012. 364 p.

12. Denisov S. A., Kalinin K.K., Besschetnov V.P., Demicheva N.V. et al. Problemy vosproizvodstva sosnovykh lesov Srednego Povolzhya [Problems of Pine Forests Restoration in the Middle Volga Region]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2012. № 1 (14). Pp. 12-23.

13. Denisov S. A. Regulirovanie roli berezy v estestvennom vozobnovlenii garey [The Role of Birch in Natural Forest Regeneration]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1979. № 7. Pp. 19-21.

14. Romanov E. M., Nureeva T.V., Eremin N.V. Iskustvennoe lesovosstanovlenie v Srednem Povolzh'e: sostoyanie i zadachi po sovershenstvovaniyu [Artificial Forest Restoration in the Middle Volga Region: Present-Day Condition and Problems to Be Solved]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2013. № 3 (19). Pp. 5-19.

15. Luganskiy N.A., Shypitsina O.V. Sravnitel'naya proizvoditelnost iskustvennykh i estestvennykh drevostoev [Comparative Productivity of Artificial and Natural Stands]. *Lesnoy Vestnik* [Forest Vestnik]. 2008. № 3. Pp. 50-54.

16. Oliinyk I. Ya., Zagvoiska L.D., Kurylyak V.M., Vedyuk Yu.V. Proizvoditelnost sosnovykh drevostoev estestvennogo i iskustvennogo proiskhozhdeniya v usloviyakh malogo polesya [Productivity of Natural and Artificial Pine Stands When Low Forest Area]. *Nauchnye trudy Lesnoy akademii nauk Ukrainy* [Scientific Papers of Forest Academy of the Ukraine]. № 12, 2014. Pp. 159-165 (in Ukrain).

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

18. Denisov S. A., Samodelkina V.V. Prognozirovanie lesovozobnovleniya na svezhikh sosnovykh gorelnikakh [Forecasting of Forest Regeneration in the Fresh Pine Fire Sites]. *Lesnye ekosistemy v usloviyakh izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost i distantionnyy monitoring: materialy mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminara* [Forest Ecosystems in Climate Change Conditions: Biological Productivity and Remote Sensing: proceedings of International research and practical seminar]. Yoshkar-Ola: Mari State Technical University, 2011. Pp. 181-183. URL: <http://csfm.marstu.net/files/publications/Forest%20ecosystems%20under%20climate%20change.pdf> ISBN 978-5-8158-0935-2

19. Yashnov L.I. Obzor issledovaniy lesovozobnovleniya na garyakh Maroblasti, provedennykh kafedroy obshchego lesovodstva Kazanskogo instituta selskogo khozyaystva i lesovodstva [Review of Forest Regeneration Research at the Fire Sites of Mari El Republic Carried out by the Chair of General Forestry of Kazan Institute of Agriculture and Forestry]. *Izvestiya Kazanskogo instituta selskogo*

*khozyaystva i lesovodstva za 1930 god*. [News of Kazan Institute of Agriculture and Forestry for 1930]. Kazan. Pp.18-26.

20. Denisov A.K., Aleksandrov A.A. Formirovanie smeshannykh drevostoev na svezhikh garyakh [Mixed Stands Formation at the Fresh Fire Sites]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1954. № 10. Pp. 26-31.

The article was received 21.08.15.

**Citation for an article:** Denisov S. A., Konukhova T. A., Rachkova T. S. Forest restoration management at the fire sites. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2015. No 3 (27). Pp. 5-17.

#### Information about the authors

*DENISOV Sergey Aleksandrovich* – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head at the Chair of Forestry and Forestry Management, Volga State University of Technology. Research interests – silviculture, forestry, forest fires and fire control. The author of more than 170 publications.

*KONUKHOVA Tatiana Anatolyevna* – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Forestry and Forestry Management, Volga State University of Technology. Research interests – silviculture, forestry, forest fires and fire control. The author of 38 publications.

*RACHKOVA Tatiana Sergeyevna* – Postgraduate student at the Chair of Forestry and Forestry Management, Volga State University of Technology. Research interests – silviculture, forestry, forest fires and fire control. The author of 10 publications.

УДК 635.055 (470.343)

## ИНФОРМАТИВНОСТЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕРЕВЬЕВ, ЖЕЛУДЕЙ И ЛИСТЬЕВ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО (*QUERCUS ROBUR* L.) В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ

Ю. П. Демаков, В. Г. Краснов, С. В. Кириллов, М. И. Смышляева, А. В. Антропова

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

*Оценена изменчивость и информативная значимость морфологических параметров деревьев, желудей и листьев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в 38-летних географических культурах, созданных в Республике Марий Эл из 22 его климатипов. Проведена кластеризация климатипов и морфометрических параметров. Показано, что наиболее значительно изменяются у климатипов балл плодоношения и высота до начала кроны. Слабее же всего варьируют высота и диаметр деревьев, а также размеры желудей и листьев. Роль исходных географических условий климатипов в изменении значений морфометрических параметров их деревьев, желудей и листьев, которые слабо коррелируют между собой, в созданных культурах практически не проявилась. Основным источником вариации значений параметров являются случайные факторы-шумы. Сделан вывод о том, что при отборе лучших климатипов дуба для создания лесосеменных плантаций нужно учитывать не только габитус деревьев, но также обилие плодоношения и массу желудей.*

**Ключевые слова:** географические культуры; климатипы; состояние; морфометрические параметры деревьев, желудей и листьев; изменчивость; информативность.

**Введение.** Информация – это снятая неопределённость об изучаемом объекте или явлении, представляющая собой совокупность сведений, описанных либо качественно, либо количественно [1, 2]. Без понятия об информации невозможно обойтись при изучении структуры и закономерностей функционирования сложных биологических систем [3]. Понятие информации неотделимо, по мнению исследователей [4], от понятия разнообразия: чем разнообразнее, изменчивее объект, тем больше он содержит информации. Поскольку информация является отражением разнообразия, то мерой её количества может являться величина дисперсии или коэффициент вариации исследуемого статистического ряда.

Одним из наиболее важных прагматических свойств информации является её ценность, неразрывно связанная с поняти-

ем цели и полностью определяемая ею [1–3]. Информация неотделима от познающего субъекта, который использует полученные сведения для обеспечения некоторых целенаправленных действий. Потребителю информации часто нужна не полная характеристика всех свойств и качеств объекта или явления, т. е. полное снятие неопределённости о них, а только какая-то часть, необходимая для решения конкретной текущей задачи. Степень ценности полученных сведений об объекте, необходимых для реализации поставленной цели, определяет их информативность. Выбор цели является необходимым условием, т. к. процесс приёма и обработки информации сопряжён с определёнными затратами ресурсов времени и энергии. Он позволяет исследователю минимизировать усилия по сбору информации об объекте, которые зависят от степени его

© Демаков Ю. П., Краснов В. Г., Кириллов С. В., Смышляева М. И., Антропова А. В., 2015.

**Для цитирования:** Демаков Ю. П., Краснов В. Г., Кириллов С. В., Смышляева М. И., Антропова А. В. Информативность морфометрических параметров деревьев, желудей и листьев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в географических культурах // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 3 (27). – С. 18–33.

изменчивости, ресурсов времени на принятие решения и степени ответственности последнего.

Недостаток информации об объекте увеличивает риск принятия неправильных решений, которым свойственен высокий уровень неопределённости. Избыток же информации вреден для её потребителя, поскольку замедляет процесс принятия решения, которое в условиях ограниченного ресурса времени может быть принято слишком поздно и, несмотря на правильность и обоснованность, оказаться уже ненужным.

Дуб черешчатый, или летний (*Quercus robur* L.), является одной из наиболее долговечных и хозяйственно ценных древесных пород [5, 6]. В соответствующих лесорастительных условиях он образует смешанные по составу и сложные по структуре высокопродуктивные насаждения, успешно выполняющие многие средообразующие и средоохранные функции [7–13], однако на долю дубрав, являющихся высшей стадией развития лесных экосистем [14], в лесном фонде страны приходится менее 1 % покрытой лесом площади [15], что связано с высокой требовательностью этой древесной породы к богатству и влажности почвы, а также её низкой зимостойкостью.

В качестве мероприятий по повышению биологической устойчивости и продуктивности дубрав рядом учёных было рекомендовано проводить отбор ценных форм дуба, создавать лесосеменную базу на селекционно-генетической основе и совершенствовать систему лесосеменного районирования [9, 12, 16, 17]. Так, к примеру, в пределах ареала дуба черешчатого установлена высокая внутривидовая изменчивость по многим фенотипическим признакам (срокам распускания и опадения листьев, форме коры, листьев и желудей), оказывающая существенное влияние на энергию роста деревьев, форму их стволов, строение корневой системы, способность к образованию летних побегов и

другие свойства [18–23]. В решении данной проблемы большая роль отводится сети географических культур, создаваемых для отбора наиболее перспективных климатипов дуба. Их оценкой занимались многие исследователи [24–34], которые, однако, практически не рассматривали вопрос об информативной значимости морфологических параметров деревьев, желудей и листьев дуба.

**Цель работы** – оценка информативности комплекса морфологических параметров деревьев, желудей и листьев в географических культурах дуба черешчатого для выбора наиболее хозяйственно ценных его климатипов.

**Объект и методика исследования.** Объектом исследования явились географические культуры дуба черешчатого, созданные в 1976 году под руководством профессора А.С. Яковлева в Сотнурском участковом лесничестве Республики Марий Эл на общей площади 9,9 га в типе лесорастительных условий D<sub>2</sub>, тип леса до рубки – дубняк кленово-липовый. Географические координаты участка – 56°00,596' с.ш., 48°31,539' в.д. Подробное описание объекта и предварительных результатов исследований на нём приведено в ряде предыдущих работ [22, 25, 32–34].

Полевые исследования по теме статьи были выполнены в октябре 2014 года. На всех секциях опытного объекта в случайном порядке было отобрано по 10 модельных деревьев, у которых проведено измерение таксационных параметров (высоты, диаметра, высоты до начала кроны), санитарного состояния по общепринятой методике\*, балла плодоношения по Е.П. Проказину [17], параметров желудей и листьев. Для изучения состояния семенного потомства географических культур дуба черешчатого, а в дальнейшем и роста

---

\* Санитарные правила в лесах Российской Федерации (Утверждены приказом МПР РФ от 5 апреля 2006 г. № 72, зарегистрированы в Минюсте РФ 16.03.06 г., регистрационный № 7592). – М.: МПР РФ, 2006. – 40 с.

их семян, в лабораторных условиях 14 октября 2014 года был проведён посев отсортированных по размеру желудей в контейнеры Ардатов-40, имеющие 40 ячеек объёмом 76 см<sup>3</sup>: по каждому климатипу было высеяно 40 мелких (массой менее 3 г) и 40 крупных (более 3 г) желудей. Сеянцы выращивали при температуре +20°C и 12-часовом световом режиме (освещённость составляла в среднем 2 клк). Математическую обработку материала провели на ПК с использованием стандартных методов математической статистики и пакетов прикладных программ.

**Результаты исследования и их интерпретация.** Исследования показали, что все параметры состояния ценопопуляций дуба в географических культурах чётко разделяются на три группы по величине их коэффициента вариации, а значит и информативности (табл. 1). Наиболее значительно изменяются у них балл плодоношения ( $V = 74,5\%$ ) и высота от земли до начала кроны ( $V = 59,2\%$ ). Слабее всего варьируют высота и диаметр деревьев, а также размеры желудей и листьев ( $V = 6,7\text{--}15,0\%$ ). Коэффициент вариации остальных параметров изменяется в пределах от 21 до 39 %.

Таблица 1

**Средние значения и пределы изменчивости морфометрических параметров состояния ценопопуляций у различных по происхождению климатипов дуба**

| Параметр                                  | Значения статистических показателей* |       |       |       |         |
|-------------------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|---------|
|                                           | $M_x$                                | $min$ | $max$ | $S_x$ | $V, \%$ |
| 1. Полнота древостоя                      | 0,53                                 | 0,2   | 0,8   | 0,21  | 39,1    |
| 2. Категория санитарного состояния        | 1,70                                 | 1,0   | 2,4   | 0,43  | 25,1    |
| 3. Диаметр деревьев, см                   | 19,1                                 | 14,3  | 25,1  | 2,86  | 15,0    |
| 4. Высота деревьев, м                     | 7,2                                  | 5,8   | 10,1  | 1,06  | 14,8    |
| 5. Отношение Н/D <sup>2</sup>             | 206,3                                | 122,2 | 342,3 | 60,1  | 29,1    |
| 6. Высота до начала кроны, м              | 2,7                                  | 0,2   | 5,5   | 1,61  | 59,2    |
| 7. Протяженность кроны, м                 | 4,4                                  | 2,3   | 6,7   | 1,23  | 27,6    |
| 8. Относительный размер кроны, %          | 63,4                                 | 31,3  | 96,7  | 20,0  | 31,5    |
| 9. Балл плодоношения                      | 1,40                                 | 0,0   | 3,5   | 1,04  | 74,5    |
| 10. Длина желудя, мм                      | 22,6                                 | 19,8  | 25,7  | 1,50  | 6,7     |
| 11. Диаметр желудя, мм                    | 13,5                                 | 10,3  | 15,6  | 1,48  | 11,0    |
| 12. Форма желудя, L/D                     | 1,69                                 | 1,37  | 2,05  | 0,17  | 9,8     |
| 13. Масса желудя, г                       | 2,69                                 | 1,69  | 3,42  | 0,56  | 21,0    |
| 14. Доля здоровых желудей, %              | 61,6                                 | 25,3  | 88,9  | 16,4  | 26,6    |
| 15. Длина листа, см                       | 10,9                                 | 8,2   | 14,1  | 1,47  | 13,5    |
| 16. Ширина листа, см                      | 5,8                                  | 4,1   | 7,3   | 0,83  | 14,2    |
| 17. Отношение длины листа к ширине        | 1,89                                 | 1,61  | 2,24  | 0,14  | 7,4     |
| 18. Число лопастей на листьях, шт.        | 5,6                                  | 5     | 7     | 0,5   | 9,7     |
| 19. Глубина выемок у листьев, %           | 43,0                                 | 30,2  | 59,7  | 6,2   | 14,4    |
| 20. Длина черешка листа, мм               | 5,7                                  | 3,2   | 9,2   | 1,49  | 27,2    |
| 21. Отношение длины листа к длине черешка | 20,6                                 | 9,3   | 38,0  | 6,0   | 29,4    |

**Примечание:**  $M_x$  – среднее значение признака,  $min$ ,  $max$  – минимальное и максимальное значение признака,  $S_x$  – среднее квадратическое (стандартное) отклонение признака,  $V$  – коэффициент вариации признака.

Все параметры состояния ценопопуляций по степени сходства характера распределения значений в различных климатипах дуба объединяются между собой в четыре кластера (рис. 1). Наименее связан со всеми параметрами балл плодоношения деревьев, представляющий собой отдельный кластер. Второй кластер составляют полнота древостоя, категория его санитарного состояния, отношение средней высоты деревьев к квадрату их диаметра, характеризующее степень напряжения их роста [3], и высота до начала кроны. Третий кластер является самым представительным по числу входящих в него параметров, характеризующих как размеры деревьев, так и желудей и листьев. В четвёртый кластер вошли параметры, характеризующие размер кроны деревьев (абсолютный и относительный) и отношение длины листьев к длине их черешков.

Одним из важнейших параметров состояния ценопопуляций дуба в географических культурах, определяющих успешность существования климатипа в новых для него условиях, его продуктивность, т. е. хозяйственную ценность, и перспек-

тивность использования в испытуемом регионе, является полнота древостоя, которая, в свою очередь, оказывает большое влияние на другие его параметры и во многом определяет их величину. Полнота древостоя зависит не только от адаптационных способностей климатипов дуба, но и от качества семенного материала, проверка которого, к сожалению, не была проведена, а также от воздействия многих местных негативных факторов, оказывающих влияние на сохранность культур, варьирующую на опытном участке от 0,6 до 12,0 % [32, 34]. Самую низкую сохранность имеют волгоградский и дагестанский климатипы. У местных же климатипов она изменяется от 2,1 до 8,4 %. Лучшими по сохранности являются климатипы из Свердловской области (9,6 %) и Республики Татарстан (12,0 %). На сохранность культур и полноту древостоя на объекте исследования большое влияние оказали кабаны, деятельность которых по отношению к конкретному климатипу является ненаправленной, т. е. случайной, и никак не регулируется.

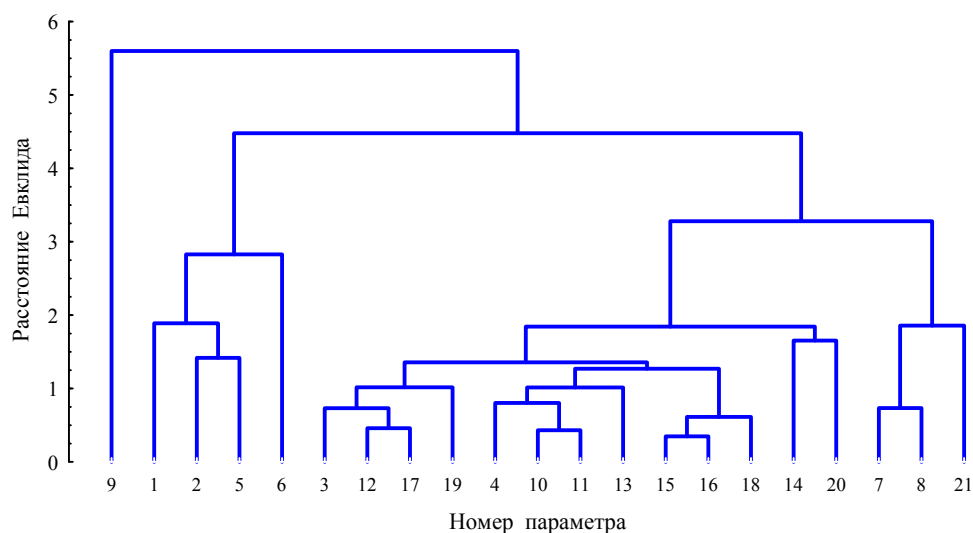


Рис. 1. Дендрограмма сходства морфометрических параметров климатипов дуба, выполненная способом Варда по матрице нормированных данных (обозначения параметров приведены в табл. 1)

Не менее важным параметром состояния ценопопуляций дуба является средняя высота деревьев. Влияние климатипа на неё статистически доказано, однако оно составляет всего 35,2 % (табл. 2). Расчёты показали, что этот признак является самостоятельным, так как он практически не связан с морфометрическими параметрами желудей и листьев дуба, каждый из которых также является независимым от других (табл. 3). Не оказывает достоверного влияния на среднюю высоту деревьев, как показал множественный регрессионный анализ, и комплекс морфометрических параметров желудей и листьев дуба, которые, таким образом, непригодны для отбора хозяйственно ценных форм этой древесной породы.

Другим хозяйственно важным параметром состояния ценопопуляций является средний диаметр деревьев, влияние климатипа на который также достоверно, но ещё менее значимо. Этот параметр тоже является самостоятельным, так как он практически не связан с другими пара-

метрами состояния ценопопуляций. Даже совместное влияние высоты деревьев ( $H$ , м) и полноты древостоя ( $P$ ), аппроксимируемое уравнением  $D = 10,48 \cdot (H - 1,3)^{0,437} \cdot \exp(-0,315 \cdot P)$ , объясняет всего 23,1 % его вариации. Не оказывает достоверного влияния на него и комплекс морфометрических параметров желудей и листьев дуба. Наиболее велико влияние климатипов дуба на высоту расположения начала кроны деревьев ( $H_{нк}$ ). Этот признак ценопопуляций тоже является самостоятельным, поскольку даже совместное влияние общей высоты деревьев и полноты древостоя, описываемое уравнением  $H_{нк} = 7,42 \cdot 10^{-2} \cdot H^{1,595} \cdot \exp(0,814 \cdot P)$ , объясняет только 41,8 % его вариации. Степень успешности роста деревьев разных климатипов в новой для них среде в определённой мере характеризует отношение средней их высоты к квадрату диаметра [3], информативная значимость которого по сравнению с определяющими его параметрами значительно возрастает.

Таблица 2

#### Результаты дисперсионного анализа влияния климатипов дуба на морфометрию деревьев

| Дисперсия               | Сумма квадратов | Число степеней свободы | Средний квадрат | Значение критерия Фишера* | Доля влияния, % |
|-------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
| <i>Высота деревьев</i>  |                 |                        |                 |                           |                 |
| Общая                   | 583,51          | 189                    | -               |                           | 100,0           |
| Между климатипами       | 205,24          | 18                     | 11,40           | 5,15                      | 35,2            |
| Внутри климатипов       | 378,27          | 171                    | 2,21            |                           | 64,8            |
| <i>Диаметр деревьев</i> |                 |                        |                 |                           |                 |
| Общая                   | 6503,03         | 189                    | -               |                           | 100,0           |
| Между климатипами       | 1522,99         | 18                     | 84,61           | 2,91                      | 23,4            |
| Внутри климатипов       | 4980,04         | 171                    | 29,12           |                           | 76,6            |
| <i>Высота до кроны</i>  |                 |                        |                 |                           |                 |
| Общая                   | 732,96          | 189                    | -               |                           | 100,0           |
| Между климатипами       | 422,13          | 18                     | 23,45           | 12,90                     | 57,6            |
| Внутри климатипов       | 310,83          | 171                    | 1,82            |                           | 42,4            |

**Примечание:** критическое значение Фишера при  $P = 0,05$  равно 1,66.

Таблица 3

**Матрица коэффициентов корреляции морфометрических параметров деревьев, желудей и листьев у различных по происхождению климатипов дуба черешчатого в географических культурах**

| Параметр                              | Значение коэффициента корреляции между параметрами |       |       |       |      |       |       |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
|                                       | 1                                                  | 2     | 3     | 4     | 5    | 6     | 7     |
| 1. Высота деревьев                    | 1,00                                               |       |       |       |      |       |       |
| 2. Длина желудя                       | 0,14                                               | 1,00  |       |       |      |       |       |
| 3. Масса желудя                       | 0,04                                               | 0,70  | 1,00  |       |      |       |       |
| 4. Форма желудя (отношение $L/D$ )    | -0,19                                              | 0,02  | -0,36 | 1,00  |      |       |       |
| 5. Длина листа ( $L$ листа)           | 0,14                                               | 0,08  | 0,03  | -0,25 | 1,00 |       |       |
| 6. Отношение длины листа к его ширине | 0,15                                               | -0,13 | -0,24 | 0,34  | 0,19 | 1,00  |       |
| 7. Длина черешка листа ( $L$ черешка) | 0,35                                               | 0,01  | -0,33 | 0,17  | 0,14 | -0,08 | 1,00  |
| 8. Отношение $L$ листа / $L$ черешка  | -0,34                                              | 0,00  | 0,25  | -0,15 | 0,27 | 0,38  | -0,85 |

Хозяйственно важным параметром состояния ценопопуляций с позиции их использования для создания в новых климатических условиях лесосеменных плантаций является балл плодоношения деревьев. Он из-за молодого возраста деревьев в целом пока невысок и зависит в основном от степени развития кроны и очищаемости ствола от сучьев (табл. 4 и 5), не связанных, как это не парадоксально, с полнотой древостоя. Другие же параметры деревьев, желудей и листьев, связи между которыми в большинстве случаев очень слабые, су-

щественного влияния на него не оказывают как по отдельности, так и совместно при использовании множественных регрессионных уравнений. Дисперсионный анализ показал, что доля вклада происхождения климатипа на изменчивость балла плодоношения составляет 39,6 %, а диаметра деревьев – всего 5,9 % (табл. 6). Основным источником вариации данного параметра являются так называемые шумы, связанные, на наш взгляд, с физиологическими и фенотипическими особенностями деревьев каждого климатипа.

Таблица 4

**Связь балла плодоношения с параметрами состояния деревьев в разных климатипах**

| Параметр                             | Значение коэффициента корреляции между параметрами |       |       |       |       |       |      |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|                                      | 1                                                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7    |
| 1. Балл плодоношения                 | 1,00                                               |       |       |       |       |       |      |
| 2. Полнота древостоя                 | -0,28                                              | 1,00  |       |       |       |       |      |
| 3. Категория санитарного состояния   | -0,41                                              | 0,29  | 1,00  |       |       |       |      |
| 4. Средний диаметр деревьев          | 0,29                                               | -0,18 | -0,09 | 1,00  |       |       |      |
| 5. Средняя высота деревьев           | -0,46                                              | 0,48  | 0,46  | 0,30  | 1,00  |       |      |
| 6. Высота до начала кроны            | -0,69                                              | 0,49  | 0,29  | -0,23 | 0,65  | 1,00  |      |
| 7. Абсолютная протяженность кроны    | 0,52                                               | -0,23 | 0,01  | 0,56  | 0,01  | -0,75 | 1,00 |
| 8. Относительная протяженность кроны | 0,69                                               | -0,45 | -0,25 | 0,35  | -0,48 | -0,97 | 0,86 |

Таблица 5

**Связь балла плодоношения с морфологическими параметрами желудей и листьев дуба**

| Морфологический параметр    | Значение коэффициента корреляции между параметрами |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                             | 1                                                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
| 1. Балл плодоношения        | 1,00                                               |       |       |       |       |       |       |
| 2. Длина желудя             | 0,10                                               | 1,00  |       |       |       |       |       |
| 3. Коэффициент формы желудя | 0,49                                               | 0,02  | 1,00  |       |       |       |       |
| 4. Масса желудя             | 0,08                                               | 0,70  | -0,36 | 1,00  |       |       |       |
| 5. Длина листа              | -0,17                                              | 0,08  | -0,25 | 0,03  | 1,00  |       |       |
| 6. Коэффициент формы листа  | 0,22                                               | -0,13 | 0,34  | -0,24 | 0,19  | 1,00  |       |
| 7. Глубина выемок у листьев | 0,09                                               | 0,16  | 0,17  | 0,05  | -0,16 | -0,06 | 1,00  |
| 8. Длина черешка листа      | 0,02                                               | 0,01  | 0,17  | -0,33 | 0,14  | -0,08 | -0,28 |

Таблица 6

## Результаты дисперсионного анализа факторов, влияющих на плодоношение деревьев дуба

| Источник вариации        | Сумма квадратов | Число степеней свободы | Средний квадрат | Критерий Фишера    |                   | Доля влияния, % |
|--------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|--------------------|-------------------|-----------------|
|                          |                 |                        |                 | F <sub>факт.</sub> | F <sub>0,05</sub> |                 |
| Происхождение климатипов | 132,87          | 18                     | 7,382           | 6,52               | 1,67              | 39,6            |
| Диаметр дерева           | 19,66           | 9                      | 2,185           | 1,93               | 1,94              | 5,9             |
| Шумы (прочие факторы)    | 183,34          | 162                    | 1,132           | -                  | -                 | 54,6            |
| В целом                  | 335,87          | 189                    | -               | -                  | -                 | 100,0           |

Важным параметром, характеризующим качество семенного материала, является лабораторная всхожесть желудей. Исследования показали, что её величина практически не зависит от таксационных параметров древостоя, балла урожайности и формы желудей, варьируя у климатипов в отсортированной фракции мелких семян (до 3 г) от 40,0 до 97,5 %, а во фракции крупных – от 77,5 до 100 %. Всхожесть более 97 % имели крупные желуди марийского (Пригородное лесничество), новгородского, тульского, татарского и сумского климатипов. Наиболее же низка всхожесть (менее 85 %) у белгородского, гомельского, екатеринбургского и марийского (Руткинское лесничество) климатипов. Массу желудя ( $M$ , г), как показано исследователями [23], определяют два его параметра: длина ( $L$ , см) и квадрат диаметра в наиболее широкой его части ( $d^2$ , см<sup>2</sup>), что наилучшим образом описывает уравнение  $M = a \cdot L \cdot d^2$ , в котором параметр  $a$  характеризует удельную плотность желудей в выборке, т. е. их полнотелость. Величина параметра  $a$ , варьирующая у ценопопуляций от 0,491 до 0,787 ( $M_{cp.} = 0,617$ ;  $V = 14,8\%$ ), не несёт какой-либо полезной информации, так как не оказывает влияния на всхожесть желудей и не связана с таксационными параметрами древостоя.

Значения морфометрических параметров желудей и листьев дуба, которым некоторые исследователи [19–21] уделяют довольно большое внимание и часто рекомендуют использовать их для отбора ценных в хозяйственном отношении фе-

нотипов, абсолютно не коррелируют как между собой, так и с таксационными параметрами древостоя. Этот комплекс параметров, особенно связанных с формой листьев дуба, которые сильно изменяются под воздействием многих факторов среды, не несёт никакой полезной в практическом отношении информации.

Многие климатипы дуба в созданных культурах хотя и различаются между собой по значениям оцененных нами параметров, однако эти различия совершенно не связаны с местом их происхождения, т. е. роль географической среды здесь фактически не проявляется. Так, к примеру, в группу наиболее обильного плодоношения вошли климатипы дагестанского, марийского, новгородского, волгоградского и могилёвского происхождения, относящиеся к разным физико-географическим и лесорастительным районам. Наиболее же слабое плодоношение имеют климатипы оренбургского, татарского, башкирского, брянского, свердловского, воронежского, витебского, гомельского и белгородского происхождения. Такой же бессистемный разброс климатипов отмечается и по всем остальным параметрам (табл. 7, 8).

Кластерный анализ показал, что все климатипы объединяются друг с другом по комплексу характеризующих их параметров в три чётко выраженные группы, которые абсолютно не связаны между собой географически (рис. 2). Так, в первый кластер вошли климатипы дагестанского, марийского (Козьмодемьянское лесничество), новгородского, воронежского и сумского происхождения, во второй,

Таблица 7

## Распределение климатипов дуба по классифицируемым параметрам и месту их происхождения

| Параметр          | Место происхождения климатипов, входящих в различные группы*                                                                                                |                                                                                                                                                                                  |                                                                                                         |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | Низшая группа                                                                                                                                               | Средняя группа                                                                                                                                                                   | Высшая группа                                                                                           |
| Балл плодоношения | <b>Менее 1,2 балла:</b> Татарстан, Оренбург, Брянск, Екатеринбург, Воронеж (D <sub>1</sub> ), Гомель, Белгород, Башкортостан, Витебск                       | <b>1,3–2,4 балла:</b> Сумы, Тула, Курск, Воронеж (D <sub>2</sub> ), Марий Эл (Руткинское, Мушмаринское и Пригородное лесничества)                                                | <b>Более 2,5 балла:</b> Волгоград, Новгород, Могилев, Дагестан, Марий Эл (Козьмодемьянск)               |
| Диаметр деревьев  | <b>Менее 18 см:</b> Белгород, Оренбург, Витебск, Могилев, Татарстан, Свердловск, Марий Эл (Мушмаринское лесничество)                                        | <b>18,1–21,7 см:</b> Воронеж, Сумы, Брянск, Башкирия, Тула, Дагестан, Новгород, Марий Эл (Козьмодемьянское и Пригородное лесничества)                                            | <b>Более 21,7 см:</b> Курск, Волгоград, Белгород, Марий Эл (Руткинское лесничество)                     |
| Высота деревьев   | <b>Менее 7,2 м:</b> Воронеж, Сумы, Дагестан, Новгород, Оренбург, Витебск, Могилев, Гомель, Белгород, Марий Эл (Козьмодемьянское и Мушмаринское лесничества) | <b>7,2–8,6 см:</b> Курск, Волгоград, Свердловск, Воронеж, Брянск, Башкирия, Татарстан, Марий Эл (Руткинское и Пригородное лесничества)                                           | <b>Более 8,6 см:</b> Тула                                                                               |
| Размер кроны      | <b>Менее 53 %:</b> Витебск, Брянск, Свердловск, Башкортостан, Татарстан, Воронеж, Оренбург                                                                  | <b>53–75 %:</b> Марий Эл (Руткинское, Пригородное и Мушмаринское лесничества), Тула, Курск, Волгоград, Могилев, Белгород                                                         | <b>Более 8,6 см:</b> Марий Эл (Козьмодемьянское лесничество), Новгород, Гомель, Воронеж, Сумы, Дагестан |
| Масса желудя      | <b>Менее 2,3 г:</b> Марий Эл (Руткинское и Пригородное лесничества), Брянск, Волгоград, Оренбург                                                            | <b>2,3–2,9 г:</b> Марий Эл (Козьмодемьянское и Мушмаринское лесничества), Свердловск, Татарстан, Витебск, Белгород, Дагестан                                                     | <b>Более 2,9 г:</b> Новгород, Могилев, Гомель, Свердловск, Башкортостан, Тула, Курск, Воронеж, Белгород |
| Форма желудя      | <b>Менее 1,6:</b> Гомель, Брянск, Воронеж, Белгород                                                                                                         | <b>1,61–1,84:</b> Марий Эл (Козьмодемьянское и Мушмаринское лесничества), Новгород, Свердловск, Витебск, Башкортостан, Татарстан, Тула, Воронеж, Курск, Оренбург, Дагестан, Сумы | <b>Более 1,84:</b> Марий Эл (Пригородное и Руткинское лесничества), Волгоград, Могилев                  |
| Длина листа       | <b>Менее 10,2 см:</b> Марий Эл (Пригородное лесничество), Новгород, Витебск, Воронеж, Волгоград, Белгород                                                   | <b>10,2–12,2 см:</b> Марий Эл (Козьмодемьянское, Руткинское и Мушмаринское лесничества), Свердловск, Тула, Курск, Оренбург, Гомель, Могилев, Сумы, Белгород, Дагестан            | <b>Более 12,2 см:</b> Татарстан, Башкортостан, Брянск                                                   |
| Длина черешка     | <b>Менее 5,2 мм:</b> Марий Эл (Козьмодемьянское лесничество), Новгород, Воронеж, Сумы, Белгород, Оренбург, Могилев                                          | <b>5,2–7,2 мм:</b> Марий Эл (Руткинское, Пригородное и Мушмаринское лесничества), Башкортостан, Тула, Воронеж, Курск, Брянск, Витебск, Гомель, Белгород                          | <b>Более 7,2 мм:</b> Свердловск, Татарстан, Волгоград, Дагестан                                         |

**Примечание:** место происхождения дано по названию республики или областного центра.

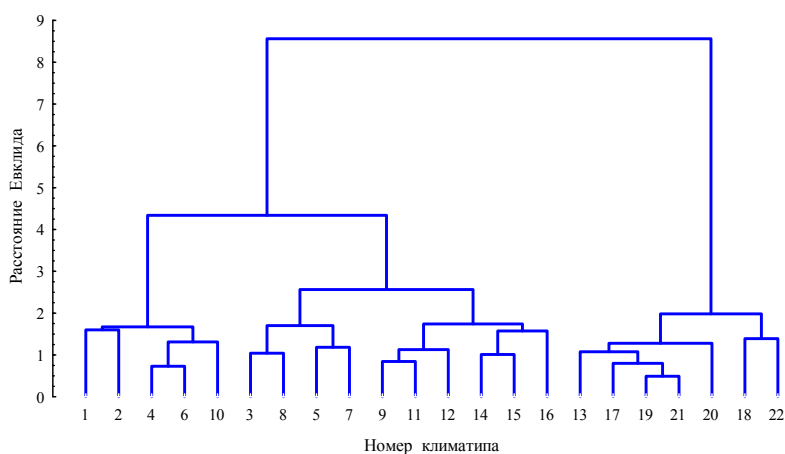
Таблица 8

## Показатели состояния древостоя, морфометрических признаков деревьев, желудей и листьев дуба у разных его климатипов

| Параметр                           | Значения показателей у разных климатипов относительно среднего уровня, доля единицы |                   |             |              |               |                            |             |              |         |         |            |          |           |                  |            |                  |            |                            |              |          |           |              |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|--------------|---------------|----------------------------|-------------|--------------|---------|---------|------------|----------|-----------|------------------|------------|------------------|------------|----------------------------|--------------|----------|-----------|--------------|
|                                    | дагестанский                                                                        | козьмодемьян-ский | могилевский | новгородский | волгоградский | воронежский Д <sub>2</sub> | пригородный | мушмаринский | курский | сумский | рутковский | тульский | витебский | белгородский - 2 | гомельский | белгородский - 1 | башкирский | воронежский Д <sub>1</sub> | свердловский | брянский | татарский | оренбургский |
| Полнота                            | 0,56                                                                                | 1,13              | 1,32        | 0,38         | 0,56          | 0,38                       | 1,32        | 1,13         | 1,32    | 0,56    | 1,13       | 1,32     | 1,32      | 0,75             | 0,75       | 1,50             | 1,32       | 0,56                       | 1,32         | 1,50     | 1,32      | 0,56         |
| Категория санитар-ного состояния   | 0,59                                                                                | 0,59              | 0,88        | 0,88         | 1,17          | 0,82                       | 1,35        | 0,70         | 1,17    | 1,17    | 1,06       | 1,23     | 1,00      | 0,76             | 0,88       | 1,41             | 1,11       | 1,00                       | 0,82         | 1,41     | 0,76      | 1,23         |
| Диаметр деревьев, см               | 1,07                                                                                | 1,05              | 0,90        | 1,06         | 1,22          | 0,95                       | 0,99        | 0,83         | 1,14    | 0,96    | 1,31       | 1,13     | 0,80      | 1,22             | 0,98       | 0,75             | 0,99       | 1,09                       | 0,93         | 0,97     | 0,89      | 0,77         |
| Высота общая, м                    | 0,84                                                                                | 0,84              | 0,94        | 0,85         | 1,05          | 0,81                       | 1,08        | 0,88         | 1,01    | 0,82    | 1,08       | 1,41     | 0,92      | 0,99             | 0,96       | 0,98             | 1,12       | 1,17                       | 1,06         | 1,19     | 1,12      | 0,89         |
| Высота до кроны, м                 | 0,33                                                                                | 0,07              | 1,07        | 0,24         | 0,92          | 0,37                       | 1,03        | 0,81         | 0,88    | 0,22    | 0,74       | 1,25     | 1,47      | 0,88             | 0,51       | 0,70             | 2,02       | 1,51                       | 1,80         | 1,69     | 1,98      | 1,51         |
| Протяженность кроны, %             | 1,34                                                                                | 1,53              | 0,90        | 1,41         | 1,05          | 1,31                       | 1,00        | 1,03         | 1,05    | 1,42    | 1,17       | 1,05     | 0,62      | 1,05             | 1,26       | 1,15             | 0,49       | 0,81                       | 0,56         | 0,72     | 0,51      | 0,57         |
| Балл плодоношения                  | 2,51                                                                                | 2,15              | 1,93        | 1,86         | 1,79          | 1,72                       | 1,43        | 1,43         | 1,15    | 0,93    | 0,93       | 0,93     | 0,50      | 0,50             | 0,43       | 0,43             | 0,43       | 0,36                       | 0,29         | 0,21     | 0,07      | 0,00         |
| Масса желудя, г                    | 0,93                                                                                | 1,04              | 1,26        | 1,23         | 0,63          | 1,15                       | 0,63        | 1,04         | 1,11    | 0,97    | 0,78       | 1,26     | 0,97      | 0,85             | 1,19       | 1,11             | 1,23       | 1,23                       | 1,08         | 0,78     | 0,89      | 0,63         |
| Коэффициент формы желудя           | 1,02                                                                                | 1,05              | 1,11        | 1,03         | 1,12          | 0,95                       | 1,14        | 1,01         | 0,97    | 1,07    | 1,21       | 0,99     | 1,01      | 0,87             | 0,85       | 0,91             | 0,98       | 0,89                       | 0,98         | 0,81     | 0,98      | 1,05         |
| Длина листа, см                    | 1,08                                                                                | 1,10              | 1,02        | 0,85         | 0,78          | 0,91                       | 0,82        | 1,08         | 1,05    | 1,07    | 1,01       | 1,06     | 0,88      | 1,05             | 0,98       | 0,85             | 1,17       | 0,75                       | 1,09         | 1,30     | 1,14      | 0,96         |
| Ширина листа, см                   | 1,17                                                                                | 0,92              | 0,98        | 0,88         | 0,70          | 0,95                       | 0,83        | 1,25         | 1,02    | 1,00    | 0,93       | 0,99     | 0,96      | 1,00             | 1,06       | 0,86             | 1,21       | 0,82                       | 1,11         | 1,25     | 1,12      | 1,01         |
| Отношение длины листа к его ширине | 0,93                                                                                | 1,19              | 1,04        | 0,96         | 1,10          | 0,96                       | 0,99        | 0,86         | 1,03    | 1,06    | 1,09       | 1,06     | 0,92      | 1,04             | 0,92       | 0,99             | 0,96       | 0,91                       | 0,98         | 1,04     | 1,02      | 0,95         |
| Глубина выемок у листьев, %        | 0,95                                                                                | 1,06              | 0,95        | 0,99         | 0,95          | 1,39                       | 0,87        | 1,02         | 1,00    | 1,22    | 0,94       | 0,85     | 1,10      | 0,92             | 0,70       | 1,11             | 1,05       | 0,97                       | 1,01         | 0,82     | 0,98      | 1,17         |
| Длина черешка, мм                  | 1,30                                                                                | 0,56              | 0,90        | 0,62         | 1,62          | 0,95                       | 1,14        | 1,18         | 0,93    | 0,67    | 0,99       | 1,21     | 1,00      | 0,93             | 0,97       | 0,69             | 1,14       | 0,67                       | 1,37         | 0,97     | 1,34      | 0,84         |

который является самым большим по их числу, – могилёвского, марийского (Руткинское, Пригородное и Мушмаринское лесничество), новгородского, тульского, курского, волгоградского, гомельского и белгородского, в третий – семь остальных. Эти кластеры наиболее сильно различаются между собой по полноте древостоя, высоте до начала кроны, относительному размеру кроны и баллу плодоношения (рис. 3). Небольшие отличия отмечаются также по длине черешка листа и отношению его к длине листа. По значениям

остальных параметров климатипы разных кластеров практически схожи друг с другом. Если же кластеризацию проводить только по комплексу морфометрических параметров желудей и листьев дуба, то климатипы объединяются между собой по-иному (рис. 4). Наибольшие отличия между кластерами отмечаются по диаметру желудей, их массе, длине и ширине листа, длине черешка листа и отношению длины листа к длине черешка (рис. 5). Эти параметры являются независимыми, так как их значения не коррелируют между собой.



Климатипы: 1 – дагестанский, 2 – марийский (Козьмодемьянское лесничество), 3 – могилёвский, 4 – новгородский, 5 – волгоградский, 6 – воронежский ( $D_2$ ), 7 – марийский (Пригородное лесничество), 8 – марийский (Мушмаринское лесничество), 9 – курский, 10 – сумской, 11 – марийский (Руткинское лесничество), 12 – тульский, 13 – витебский, 14 – белгородский, 15 – гомельский, 16 – белгородский (Алексеевский лесхоз), 17 – башкирский, 18 – воронежский ( $D_1$ ), 19 – екатеринбургский, 20 – брянский, 21 – татарский, 22 – оренбургский

Рис. 2. Дендрограмма сходства климатипов дуба по комплексу морфометрических параметров, выполненная способом Варда по матрице нормированных данных

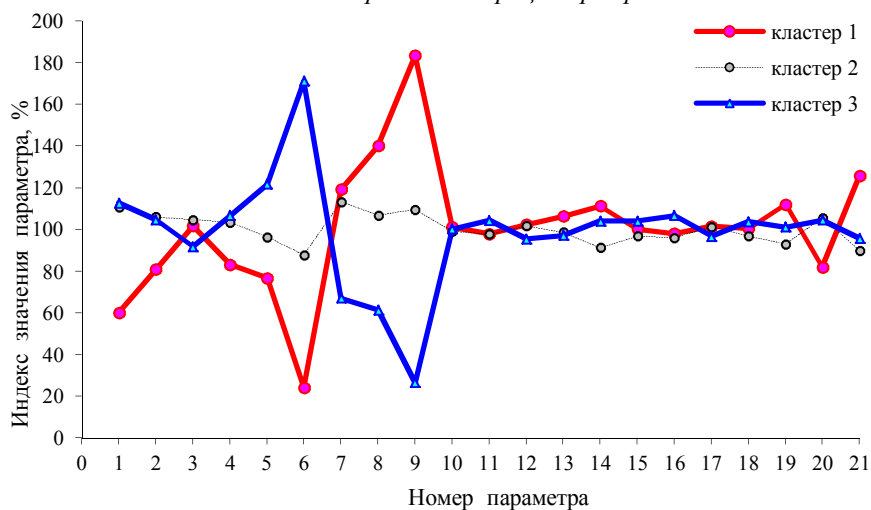


Рис. 3. Средние значения морфометрических параметров у климатипов дуба разных кластеров (обозначения признаков приведены в табл. 1)

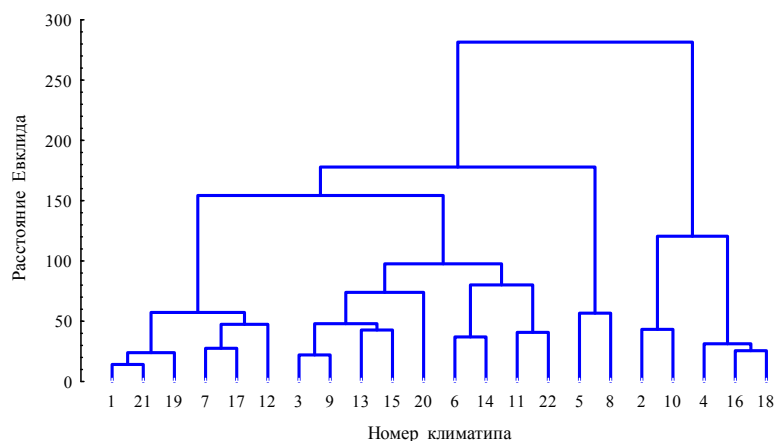
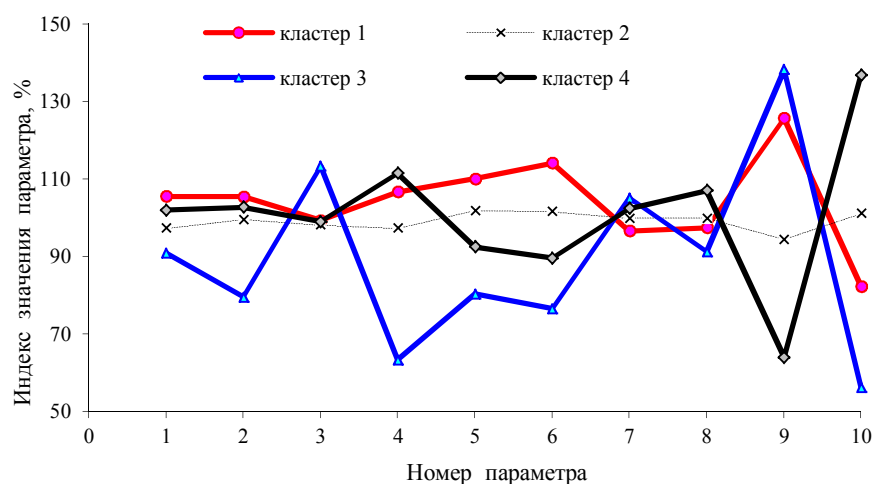


Рис. 4. Дендрограмма сходства различных по происхождению климатипов дуба по комплексу морфологических параметров желудей и листьев, выполненная способом Варда по матрице нормированных данных (обозначения климатипов приведены на рис. 2)



Параметры: 1 – длина желудя, 2 – диаметр желудя, 3 – отношение длины желудя к его диаметру, 4 – масса желудя, 5 – длина листа, 6 – ширина листа, 7 – отношение длины листа к его ширине, 8 – глубина выемки листа, 9 – длина черешка листа, 10 – отношение длины листа к длине его черешка

Рис. 5. Значения морфометрических параметров морфологических параметров желудей и листьев у климатипов дуба разных кластеров (обозначения признаков приведены в табл. 1)

Причиной отсутствия влияния географического происхождения климатипов дуба на характеризующие их морфометрические параметры могло явиться, на наш взгляд, игнорирование установленных требований к отбору деревьев в лесах регионов поставки семенного материала, которые были, вероятно, не самыми лучшими по производительности. Дело в том, что отобранные по внешним параметрам так называемые плюсовые деревья далеко не всегда обладают хорошей наследственностью, так как их габитус

часто во многом зависит от условий, в которых они развивались, а не только от генотипа. Для более надёжного отбора наследственно лучших по производительности деревьев необходимо опираться не только на их внешние параметры, но и использовать дополнительные признаки, к числу которых можно отнести балл урожайности и массу желудей. Снять неопределённость, связанную с выбором наиболее информативных параметров, и правильно решить поставленную задачу можно лишь путём создания

испытательных культур дуба черешчатого из желудей, собранных в различных ценопопуляциях региона с лучших по внешним признакам деревьев. Лишь после этого можно переходить к созданию в разных регионах географических культур. На эту работу потребуется, естественно, очень много времени (не менее 50–60 лет), средств и терпения, однако получить надёжные результаты иным путём, к сожалению, невозможно.

### Выводы

1. Состояние климатипов дуба черешчатого в географических культурах отражает большой комплекс морфометрических параметров деревьев, желудей и листьев, имеющих различную информативную ценность в зависимости от их целевого использования на практике и степени вариабельности. Одним из важнейших параметров состояния климатипов является полнота древостоя, коэффициент вариации которой на опытном объекте составляет 39,1 %. Наиболее значительно изменяются у климатипов балл плодоношения и высота до начала кроны. Слабее же всего варьируют высота и диаметр деревьев, а также размеры желудей и листьев.

2. Многие из морфометрических параметров климатипов дуба коррелятивно

слабо связаны между собой, отражая качественно разную информацию о их состоянии в географических культурах.

3. Роль исходных географических условий происхождения климатипов в изменении значений морфометрических параметров их деревьев, желудей и листьев в созданных культурах практически не проявилась. Основным источником вариации значений параметров являются случайные факторы-шумы, связанные с нераскрытыми пока особенностями деревьев в пределах каждого климатипа.

4. При отборе плюсовых деревьев в лесах региона для последующего сбора семенного материала необходимо опираться не только на их габитус, т. е. внешние параметры, но оценивать также обилие плодоношения и размеры желудей. Для более надёжного отбора наследственно лучших по производительности деревьев дуба черешчатого необходимо в каждом регионе создать испытательные культуры из желудей, собранных в различных ценопопуляциях этой древесной породы.

5. Географические культуры дуба черешчатого в Республике Марий Эл целесообразно сохранить для проведения генетико-селекционных исследований и получения семенного материала с целью создания нового испытательного полигона.

### Список литературы

1. Гришкин, И. И. Понятие информации: логико-методологический аспект / И.И. Гришкин. – М.: Наука, 1973. – 230 с.
2. Урсул, А. Д. Проблема информации в современной науке / А.Д. Урсул. – М.: Наука, 1975. – 230 с.
3. Демаков, Ю. П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты) / Ю.П. Демаков. – Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. – 416 с.
4. Эшби, У. Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1959. – 430 с.
5. Чеведаев, А. А. Дуб, его свойства и значение / А.А. Чеведаев. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1963. – 233 с.
6. Лосицкий, К. Б. Дуб / К.Б. Лосицкий. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 101 с.
7. Денисов, А. К. Пойменные дубравы лесной зоны / А.К. Денисов. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1954. – 84 с.
8. Молчанов, А. А. Дубравы лесостепи в биогеоценотическом освещении / А.А. Молчанов. – М.: Наука, 1975. – 374 с.
9. Новосельцев, В. Д. Дубравы / В.Д. Новосельцев, В.А. Бугаев. – М.: Агропромиздат, 1985. – 214 с.
10. Глебов, В. П. Дубравы Чувашии / В.П. Глебов, П.М. Верхунов, Г.Н. Урмаков. – Чебоксары: Чувашия, 1998. – 176 с.
11. Яковлев, А. С. Дубравы Среднего Поволжья / А.С. Яковлев, И.А. Яковлев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. – 352 с.
12. Калиниченко, Н. П. Дубравы России / Н.П. Калиниченко. – М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. – 536 с.

13. Ерусалимский, В. И. Дубравы зоны широколиственных лесов / В.И. Ерусалимский // Лесное хозяйство. – 1995. – № 4. – С. 26-29.
14. Разумовский, С. М. Закономерности динамики биоценозов / С.М. Разумовский. – М.: Наука, 1981. – 232 с.
15. Лесной фонд России: Справочник. – М.: Государственная лесная служба, 2003. – 637 с.
16. Коновалов, Н. А. Основы лесной селекции и сортового семеноводства / Н.А. Коновалов, Е.А. Пугач. – М.: Лесная промышленность, 1968. – 168 с.
17. Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации. – М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. – 197 с.
18. Енькова, Е. И. Две формы летнего дуба в полейном лесоразведении / Е.И. Енькова // Лес и степь. – 1950. – № 8. – С. 12-14.
19. Данилов, М. Д. Формовое разнообразие дуба черешчатого в условиях северо-восточной части его ареала и вопросы организации лесосеменного дела / М.Д. Данилов. – Йошкар-Ола: Марийское кн. изд-во, 1969. – 119 с.
20. Лукьянец, В. Б. Внутривидовая изменчивость дуба черешчатого в Центральной лесостепи / В.Б. Лукьянец. – Воронеж: Воронежское кн. изд-во, 1979. – 214 с.
21. Путенихин, В. П. Фенотипическая структура популяций дуба черешчатого в Башкирском Предуралье как основа сохранения генофонда вида в регионе / В.П. Путенихин // Известия Самарского НЦ РАН. – 2013. – Т. 15, № 3-4. – С. 1410-1412.
22. Кириллов, С. В. Внутривидовая изменчивость климатипов дуба разного географического происхождения в хвойно-широколиственном районе европейской части Российской Федерации / С.В. Кириллов, В.Г. Краснов, Д.И. Мухортов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 1 (51). – С. 14-17.
23. Исаев, А. В. Фенотипическая структура ценопопуляций дуба черешчатого по массе и форме его желудей / А.В. Исаев, Ю.П. Демаков // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – Вып. 7. – С. 184-189.
24. Шутяев, А. М. Особенности роста климатипов дуба черешчатого в условиях центральной лесостепи / А.М. Шутяев // Лесоведение. – 1968. – № 4. – С. 62-72.
25. Яковлев, А. С. Географические культуры дуба черешчатого в Марийской АССР / А.С. Яковлев // Лесная геоботаника и биология древесных растений: сб. науч. тр. – Брянск: БГИТИ, 1986. С. 150-154.
26. Ащелов, Д. И. Фенология географических культур дуба / Д.И. Ащелов // Повышение продуктивности, устойчивости и защитной роли лесных экосистем. – Воронеж: ВЛТИ, 1990. С. 70-74.
27. Патлай, И.Н. Результаты обследования государственной сети географических культур дуба черешчатого (*Quercus robur*) на Украине / И.Н. Патлай, Ю.И. Гайда // Лесоводство и агролесомелиорация (Киев). – 1988. – № 77. – С. 39-44.
28. Патлай, И.Н. Географические культуры дуба черешчатого второго поколения / И.Н. Патлай, Ю.И. Гайда // Известия высших учебных заведений: Лесной журнал. – 1992. – № 2. – С. 109-112.
29. Шутяев, А. М. Рост и состояние географических культур дуба черешчатого в Курской области / А.М. Шутяев // Лесоведение. – 2003. – № 5. – С. 54-60.
30. Шутяев, А. М. Географические культуры дуба черешчатого в степных условиях Краснодарского края / А.М. Шутяев, Р.С. Кобж // Лесное хозяйство. – 2008. – № 2. – С. 38-40.
31. Шутяев, А. М. Географические культуры дуба черешчатого в Чувашской республике / А.М. Шутяев, Д.Д. Лаврентьев // Лесное хозяйство. – 2012. – № 5. – С.36-38.
32. Яковлев, А. С. Сохранность дуба в географических культурах / А. С. Яковлев, С.В. Кириллов // Известия высших учебных заведений: Лесной журнал. – 2008. – № 3. – С. 29-33.
33. Кириллов, С. В. Географические культуры дуба в Республике Марий Эл / С.В. Кириллов, А.С. Яковлев // Известия высших учебных заведений: Лесной журнал. – 2008. – № 4. – С. 20-25.
34. Кириллов, С. В. Состояние географических культур дуба черешчатого в Республике Марий Эл / С.В. Кириллов, А.С. Яковлев, В.Г. Краснов // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия Технологическая. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. С. 30-36.

Статья поступила в редакцию 12.04.15.

#### Информация об авторах

**ДЕМАКОВ Юрий Петрович** – доктор биологических наук, профессор кафедры экологии, почвоведения и природопользования, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – биогеоценология, математическое моделирование лесных экосистем. Автор 290 публикаций, в том числе 10 монографий и учебных пособий.

**КРАСНОВ Виталий Геннадиевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление и лесоразведение основных древесных пород. Автор 70 публикаций.

*КИРИЛЛОВ Сергей Владимирович* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – искусственное восстановление дуба черешчатого. Автор 50 публикаций.

*СМЫШЛЯЕВА Маргарита Игоревна* – аспирант кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление, выращивание семян с закрытой корневой системой. Автор пяти публикаций.

*АНТРОПОВА Анна Владимировна* – магистрант кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление, выращивание семян с закрытой корневой системой. Автор двух публикаций.

UDC 635.055 (470.343)

**INFORMATION CONTENT OF MORPHOMETRIC PARAMETERS OF TREES,  
ACORNS AND LEAVES OF ENGLISH OAK  
(QUERCUS ROBUR L.) IN PROVENANCE TRIAL PLANTATIONS**

***Yu. P. Demakov, V. G. Krasnov, S. V. Kirillov, M. I. Smyshlyaeva, A. V. Antropova***

Volga State University of Technology,

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

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

**Key words:** provenance trial plantations; climatype; condition; morphometric parameters of trees, acorns and leaves; variability; information content.

**ABSTRACT**

Provenance trial plantations of English oak (*Quercus robur* L.), established in 1976 in the Republic of Mari El (area - 9,9 ha out from 22 of its climatotypes) were chosen to be the **object** of the research. In 2014 variability and information significance of large number of morphometric parameters of trees, acorns and leaves were estimated. Clustering of climatotypes and morphometric parameters were carried out. **Results.** According to the carried out research, all the parameters of oak climatotypes condition are strictly divided into three groups by coefficient of variation, and information content. Fructification level ( $V = 74,5 \%$ ) and the length of a stem from the ground to the top of a tree ( $V = 59,2 \%$ ) change most of all. Height and diameter of trees as well as the size of acorns and leaves ( $V = 6,7-15,0 \%$ ) do not almost change. Coefficient of variation of other parameters varies within 21 – 39 %. It was determined that the starting geographic conditions of the climatotypes in the change of morphometric parameters of trees, acorns and leaves, which poorly correlate with each other in the established plantations, play no serious role. Chance noise-factors are the major source for variation of parameters value. It was concluded that it was important to take into account both the habit of trees, and abundance of fruiting, and mass of acorns when selecting the best climatotypes of oak in order to establish seed plantations. To select the best trees of English oak in productivity, it is obligatory to establish the experimental plantations in all the regions. The seedlings for the plantations should be grown out from the acorns, gathered in various cenopopulations of English oak. It is desirable to preserve the provenance trial plantations of English oak in the Republic of Mari El to carry out genetic and selection research and to obtain the seed material with the aim to establish a new testing ground.

**REFERENCES**

1. Grishkin I. I. *Ponyatie informatsii: logiko-metodologicheskii aspekt* [The Concept of Information: Logico-Methodological Aspect]. Moscow: Nauka, 1973. 230 p.
2. Ursul A. D. *Problema informatsii v sovremennoy nauke* [Information Problem in Modern Science]. Moscow: Nauka, 1975. 230 p.
3. Demakov Yu. P. *Diagnostika ustoychivosti lesnykh ekosistem (metodologicheskie i metodicheskie aspekty)* [Diagnostics of Forest Ecosystems Sustainability (methodological and methodic aspects)]. Yoshkar-Ola: Periodika Mari El, 2000. 416 p.
4. Eshbi U. R. *Vvedenie v kibernetiku* [Introduction into Cybernetics]. Moscow: Izdatelstvo inostranoy literatury, 1959. 430 p.
5. Chevedaev A. A. *Dub, ego svoystva i znachenie* [Oak, its Properties and Significance]. Moscow-Leningrad: Goslesbumizdat, 1963. 233 p.

6. Lositskiy K. B. *Dub* [Oak]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1981. 101 p.
7. Denisov A. K. *Poymennye dubravy lesnoy zony* [Inundable Oak Groves of the Forested Area]. Moscow-Leningrad: Goslesbumizdat, 1954. 84 p.
8. Molchanov A. A. *Dubravy lesostepi v biogeotsenoticheskom osveshchenii* [Oak Groves of Forest-Steppe from the Holocoenotic Point of View]. Moscow: Nauka, 1975. 374 p.
9. Novoseltsev V. D., Bugaev V. A. *Dubravy* [Oak Groves]. Moscow: Agropromizdat, 1985. 214 p.
10. Glebov V. P., Verkhunov P. M., Urnikov G. N. *Dubravy Chuvashii* [Chuvash Oak Groves]. Cheboksary: Chuvashia, 1998. 176 p.
11. Yakovlev A. S., Yakovlev I. A. *Dubravy Srednego Povolz'ya* [Oak Groves of the Middle Volga Region]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 1999. 352 p.
12. Kalinichenko N. P. *Dubravy Rossii* [Russian Oak Groves]. Moscow: VNIITSlesresurs, 2000. 536 p.
13. Erusalimskiy V. I. *Dubravy zony shirokolistvennykh lesov* [Oak Groves in the Broadleaved Forests]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1995. № 4. Pp. 26-29.
14. Razumovskiy S. M. *Zakonomernosti dinamiki biotsenozov* [Regularities of the Biogeocenoses Dynamics]. Moscow: Nauka, 1981. 232 p.
15. *Lesnoy fond Rossii: Spravochnik* [Russian Forests: reference book]. Moscow: Gosudarstvennaya lesnaya sluzhba, 2003. 637 p.
16. Konovalov N. A., Pugach E. A. *Osnovy lesnoy seleksii i sortovogo semenovodstva* [Fundamentals of Forest Selection and Seedage]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1968. 168 p.
17. *Ukazaniya po lesnomu semenovodstvu v Rossiyskoy Federatsii* [Guide on Forest Seedage in the Russian Federation]. Moscow: VNIITSlesresurs, 2000. 197 p.
18. Enkova E. I. *Dve formy letnego duba v polezashchitnom lesorazvedenii* [Two Types of Pedunculate Oak in Field Afforestation]. *Les i step* [Forest and Steppe]. 1950. № 8. Pp. 12-14.
19. Danilov M. D. *Formovoe raznoobrazie duba chereschatogo v usloviyakh severo-vostochnoy chasti ego areala i voprosy organizatsii lesosemnogo dela* [Form Diversity of English Oak in the North-Eastern Part of Its Habitat and the Issues on Seedage]. Yoshkar-Ola: Mariyskoe kn.izdatelstvo, 1969. 119 p.
20. Lukyanets V. B. *Vnutrividovaya izmenchivost duba chereschatogo v Tsentralnoy lesostepi* [Intraspecific Variability of English Oak in the Central Forest-Steppe]. Voronezh: Voronezhskoe kn.izdatelstvo, 1979. 214 p.
21. Putenikhin V. P. *Fenotipicheskaya struktura populyatsiy duba chereschatogo v Bashkirskom Predurale kak osnova sokhraneniya genofonda vida v regione* [Phenotypic Structure of English Oak Population in the Cis-Ural Region (Republic of Bashkiria) as the Basis for Genetic Resources Conservation in the Region]. *Izvestiya Samarskogo NTS RAN* [News of Samara Research Center of RAS]. 2013. Vol. 15, № 3-4. Pp. 1410-1412.
22. Kirillov S. V., Krasnov V. G., Mukhortov D. I. *Vnutrividovaya izmenchivost klimatipov duba raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya v khvoyno-shirokolistvennom rayone evropeyskoy chasti Rossiyskoy Federatsii* [Intraspecific Variability of the Climatype of English Oak of Different Geographic Origin in the Coniferous-Broadleaved Area in the European Part of the Russian Federation]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of Orenburg State Agrarian University]. 2015. № 1 (51). Pp. 14-17.
23. Isaev A. V., Demakov Yu. P. *Fenotipicheskaya struktura tsenopopulyatsiy duba chereschatogo po masse i forme ego zheludey* [Phenotypic Structure of English Oak Population by the Form and Mass of Its Acorns]. *Nauchnye trudy gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Bolshaya Kokshaga»* [Research papers of State Nature Reserve «Bolshaya Kokshaga»]. Yoshkar-Ola: Volga Tech, 2015. Issue 7. Pp. 184-189.
24. Shutyaev A. M. *Osobennosti rosta klimatipov duba chereschatogo v usloviyakh tsentralnoy lesostepi* [Peculiarities of Growth of English Oak Climatypes in the Central Forest-Steppe]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1968. № 4. Pp. 62-72.
25. Yakovlev A. S. *Geograficheskie kultury duba chereschatogo v Mariyskoy ASSR* [Provenance Trial Plantations of English Oak in Mari ASSR]. *Lesnaya geobotanika i biologiya drevesnykh rasteniy: sb. nauch. tr.* [Forest Geobotany and Biology of Woody Plants: collected papers]. Bryansk: BGITI, 1986. Pp. 150-154.
26. Ashchelov D. I. *Fenologiya geograficheskikh kultur duba* [Phenology of Provenance Trial Plantation of English Oak]. *Povyshenie produktivnosti, ustoychivosti i zashchitnoy roli lesnykh ekosistem* [Improvement of Productivity, Sustainability and Protective Role of Forest Ecosystems]. Voronezh: VLTI, 1990. Pp. 70-74.
27. Patlai I. N., Gaida Yu. I. *Rezultaty obsledovaniya gosudarstvennoy seti geograficheskikh kultur duba chereschatogo (Quercus robur) na Ukraine* [Research Results of Provenance Trial Plantations of English Oak (Quercus robur) in the Ukraine]. *Lesovodstvo i agrolesomelioratsiya (Kiev)* [Forestry and Forest Amelioration (Kyiv)]. 1988. № 77. Pp. 39-44.
28. Patlai I. N., Gaida Yu. I. *Geograficheskie kultury duba chereschatogo vtorogo pokoleniya* [Provenance Trial Plantations of English Oak of the Second Generation]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy: Lesnoy zhurnal* [News of Higher Institutions: Journal on Forestry]. 1992. № 2. Pp. 109-112.
29. Shutyaev A. M. *Rost i sostoyanie geograficheskikh kultur duba chereschatogo v Kurskoy oblasti* [Growth and Condition of Provenance Trial

Plantations of English Oak in the Kursk Oblast]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2003. № 5. Pp. 54-60.

30. Shutyaev A. M., Kobzh R.S. Geograficheskie kultury duba chereshchatogo v stepnykh usloviyakh Krasnodarskogo kraya [Provenance Trial Plantations of English Oak in the Steppe Zone of the Krasnodar Region]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 2008. № 2. Pp. 38-40.

31. Shutyaev A. M., Lavrentev D.D. Geograficheskie kultury duba chereshchatogo v Chuvashskoy respublike [Provenance Trial Plantations of English Oak in the Chuvash Republic]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 2012. № 5. Pp.36-38.

32. Yakovev A. S., Kirillov S.V. Sokhrannost duba v geograficheskikh kulturakh [Oak Preservation in Provenance Trial Plantations]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy: Lesnoy zhurnal*. [News of

Higher Institutions: Journal on Forestry]. 2008. № 3. Pp. 29-33.

33. Kirillov S.V., Yakovev A. S. Geograficheskie kultury duba v Respublike Mariy El [Provenance Trial Plantations of English Oak in Mari El Republic]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy: Lesnoy zhurnal* [News of Higher Institutions: Journal on Forestry]. 2008. № 4. Pp. 20-25.

34. Kirillov S.V., Yakovev A. S., Krasnov V.G. Sostoyanie geograficheskikh kultur duba chereshchatogo v Respublike Mariy El [Condition of Provenance Trial Plantations of English Oak in the Mari El Republic]. *Trudy Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya Tekhnologicheskaya* [Proceedings of Volga State University of Technology. Technological Series]. Yoshkar-Ola: PGTU, 2013. Pp. 30-36.

The article was received 12.04.15.

**Citation for an article:** Demakov Yu. P., Krasnov V. G., Kirillov S. V., Smyshlyaeva M. I., Antropova A. V. Information content of morphometric parameters of trees, acorns and leaves of English oak (*quercus robur* L.) in provenance trial plantations. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2015. No 3 (27). Pp. 18-33.

#### Information about the authors

*DEMAKOV Yuriy Petrovich* – Doctor of Biological Sciences, Professor at the Chair of Ecology, Pedology and Nature Management, Volga State University of Technology. Research interests – biogeocenology, mathematical simulation of forest ecosystems. The author of 290 publications, including 10 monographs and study guides.

*KRASNOV Vitaliy Gennadiyevich* – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Forest Plantations, Selection and Biotechnology, Volga State University of Technology. Research interests – artificial forest restoration and forest cultivation of the main woody species. The author of 70 publications.

*KIRILLOV Sergey Vladimirovich* – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Forest Plantations, Selection and Biotechnology, Volga State University of Technology. Research interests – artificial restoration of English oak. The author of 50 publications.

*SMYSHLYAEVA Margarita Igorevna* – Postgraduate student at the Chair of Forest Plantations, Selection and Biotechnology, Volga State University of Technology. Research interests – artificial restoration, cultivation of containerized seedlings. The author of 5 publications.

*ANTROPOVA Anna Vladimirovna* – Master's degree student at the Chair of Forest Plantations, Selection and Biotechnology, Volga State University of Technology. Research interests – artificial restoration, cultivation of containerized seedlings. The author of 2 publications.

УДК 630\*232

## СЕМЕНОШЕНИЕ СОСНЫ СИБИРСКОЙ В МАРИЙСКОМ ЗАВОЛЖЬЕ

**Е. М. Романов, С. М. Лазарева, С. Н. Бродников**

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

*Представлены результаты изучения внутривидовой изменчивости шишек и семян сосны кедровой сибирской в условиях интродукции в Марийском Заволжье. Обнаружена прямая тесная связь между высотой, диаметром ствола, протяжённостью живой части кроны дерева и баллом семеношения. Линейные и весовые параметры шишек, формирующихся в условиях культуры, аналогичны показателям для естественного ареала при нормальном уровне индивидуальной изменчивости. Выявлена высокая доля влияния генотипа материнского дерева на изменчивость качественных и количественных показателей шишек и семян. В целом сосна сибирская успешно акклиматизируется в регионе.*

**Ключевые слова:** лесные культуры; интродукция; кедр сибирский; шишки; семена; грунтовая всхожесть.

**Введение.** Выращивание интродуцируемых древесных пород – один из перспективных путей повышения продуктивности, защитной, рекреационной и технической ценности лесов ряда регионов России [1]. Сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour), обладая рядом полезных свойств, является одним из основных претендентов на эту роль.

Вопросы введения в культуру кедра в европейской части нашей страны достаточно широко и подробно изучены в работах И.И. Дроздова [1, 2] и др. В Поволжье, на примере Нижегородской области, вопросы репродукции кедра изучены в работах О.Ю. Храмовой [3, 4] и др.

К настоящему времени в Марийском Заволжье вопросы внутривидовой изменчивости и качества семян изучены ещё недостаточно, о чём свидетельствует небольшое количество публикаций по данной теме [5–7], хотя важнейшим показателем акклиматизации древесных пород в новых для них условиях произрастания является способность плодоносить и давать жизнеспособное потомство [8].

**Цель** исследования – определить качественные и количественные показатели семеношения сосны кедровой сибирской, выращиваемой в культуре *ex situ* в Республике Марий Эл.

**Объектом** исследования являются аллеи посадки сосны кедровой сибирской, созданные в 1967 году на землях, вышедших из-под сельскохозяйственного пользования в Сернурском лесничестве Республики Марий Эл. Обработка почвы сплошная, весенняя посадка проводилась вручную под меч Колесова с использованием укрупнённых пятилетних сеянцев с открытой корневой системой (ОКС). В течение трёх лет после посадки проводился полив и ручной агротехнический уход мотыгами. Первоначальная густота составляла 2000 шт./га, размещение растений в ряду 1,0 м, а между рядами – 5,0 м. В ряду применялось смешение с вязом голым (*Ulmus glabra* Huds.). Из-за разности скорости роста кедр испытывал угнетение, поэтому в 2010 году вяз вырубил.

В живом напочвенном покрове преобладают следующие виды растений: по-

© Романов Е. М., Лазарева С. М., Бродников С. Н., 2015.

**Для цитирования:** Романов Е. М., Лазарева С. М., Бродников С. Н. Семеношение сосны сибирской в Марийском Заволжье // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 3 (27). – С. 34–41.

дорожник большой (*Plantago major* L.), земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), гравилат городской (*Geum urbanum* L.), сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria* L.). Подлесок практически отсутствует. Единично встречаются: пузыреплодник калинолистный (*Phisocarpus opulifolius* (L.) Maxim.), роза майская (*Rosa majalis* Herrm.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.).

**Методика исследования.** Было проведено детальное обследование деревьев с полным описанием по унифицированной методике [9], ОСТ 56-69-83 «Пробные площади лесоустойчивые. Метод закладки». Оценка семеношения определялась согласно шкале «Оценки плодоношения отдельных деревьев...сосны кедровой сибирской» Т.П. Некрасовой\*. Показатели качества семян определялись согласно действующим стандартам: ГОСТ 14161-86, ГОСТ 13056.7-93, ГОСТ 13056.8-97, ГОСТ 13056.6-97.

Шишки урожая 2013 года были собраны с 15 деревьев во второй декаде августа отдельно по каждому дереву. Линейные размеры шишек измерялись с точностью до 0,1 см, показатели массы – весовым способом с точностью до 0,01 г.

Во второй декаде марта семена заложены на стратификацию, с предварительным замачиванием в течение трёх суток в

0,5 %-м растворе марганцевокислого калия, с периодическим перемешиванием. Раз в сутки раствор заменялся. Стратификацию проводили в сфагнуме в течение двух месяцев при температуре 0...+2 °С. Посев рядковый, норма высева 110–120 шт. на 1,0 п. м, глубина заделки семян – 2–3 см.

Основные статистические показатели для оценки изменчивости количественных и качественных показателей шишек и семян рассчитаны по алгоритмам М.М. Котова, Э.П. Лебедевой [10].

**Результаты исследований.** В табл. 1 приведены средние таксационные показатели насаждений сосны кедровой сибирской аллейного типа, в которых были собраны шишки.

Можно видеть, что средние показатели диаметра ствола на высоте 1,3 м разных пологот варьировали от 13,2 до 26,9 см. Дисперсионный анализ показал, что изменчивость диаметра ствола деревьев на 74,4 % зависит от положения их крон в пологе насаждения. Индивидуальная изменчивость диаметра ствола не выходит за пределы нижней нормы варьирования ( $C=8,6-18,0$  %). Следует отметить, что анализируемый показатель деревьев верхней части полога является более стабильным по сравнению с диаметрами деревьев среднего и, особенно, нижнего положения крон в пологе.

Таблица 1

Средние статистические таксационные показатели деревьев кедра сибирского (47 лет)

| Положение в пологе    | Б <sub>сум</sub> | Диаметр, см                     |      | Высота, м                       |      | N дер., шт./га | M, м <sup>3</sup> /га | Лж, % |
|-----------------------|------------------|---------------------------------|------|---------------------------------|------|----------------|-----------------------|-------|
|                       |                  | X <sub>ср</sub> ±m <sub>x</sub> | C, % | X <sub>ср</sub> ±m <sub>x</sub> | C, % |                |                       |       |
| Верхнее               | 2,0              | 26,9±0,51                       | 8,6  | 15,0±0,10                       | 3,2  | 170            | 71,06                 | 69,5  |
| Среднее               | 1,5              | 20,6±0,25                       | 11,1 | 12,7±0,08                       | 5,8  | 657            | 145,95                | 68,6  |
| Нижнее                | 0                | 13,2±0,56                       | 18,0 | 9,8±0,34                        | 14,8 | 146            | 11,03                 | 61,1  |
| Среднее популяционное | 1,3              | 20,6±0,41                       | 21,9 | 12,7±0,16                       | 13,5 | 974            | 228,05                | 66,4  |
| F <sub>факт</sub>     | -                | 170,18                          |      | 185,23                          |      | -              |                       |       |
| F <sub>табл</sub>     | -                | 3,07                            |      | 3,07                            |      | -              |                       |       |
| ДВФ, %                | -                | 74,4                            |      | 76,0                            |      | -              |                       |       |

**Примечания:** Б<sub>сум</sub> – средний балл семеношения; X<sub>ср</sub> – среднее значение; m<sub>x</sub> – ошибка среднего; N дер – количество деревьев; M – запас растущих деревьев; Лж – протяженность кроны; C – коэффициент вариации; ДВФ – доля влияния фактора.

\*Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации / Федеральная служба лесного хозяйства России. – М., 2000. – 98 с.

Высота деревьев варьирует меньше, чем диаметр ствола. Средние значения анализируемого показателя деревьев разного положения в пологе возрастают от 9,8 до 15,0 м. Индивидуальная изменчивость низкая, за исключением нижней части полога (14,8 %). При этом индивидуальная изменчивость высоты деревьев в популяции в целом не выходит за пределы нижней нормы варьирования ( $C=13,5\%$ ).

Год сбора шишек не являлся урожайным, средний балл плодоношения составил 1,3. Деревья нижнего положения, характеризующиеся слабым ростом и развитием, не семеновали. По сравнению со средним и нижним положением обильнее плодоносили деревья верхнего положения в пологе, имеющие максимальные биометрические параметры стволов.

Наблюдается прямая тесная связь между баллом семеношения с высотой ( $r=0,83$ ) и диаметром ствола ( $r=0,87$ ) дере-

ва, положением в пологе ( $r=0,75$ ) и протяжённостью живой части кроны ( $r=0,71$ ).

По данным Ф.Л. Щепотьева [11] для кедровников Сибири, длина шишек варьирует от 3 до 13 см, а ширина от 3 до 8 см, масса 1000 семян может составлять 130–400 г.

Линейные и весовые параметры шишек, формирующихся в условиях выращивания в Сернурском лесничестве, приведены в табл. 2.

В среднем по популяции длина шишки составляла 5,1 см, а диаметр – 4,0 см. Процент выхода семян 50,03 %. Самые крупные шишки сформировались на дереве № 1 – 6,5 см длиной и 4,8 см шириной.

Таким образом, биометрические показатели шишек деревьев кедр Сернурского лесничества находятся в пределах границ параметров шишек, формирующихся в ареале их естественного произрастания (табл. 2).

Таблица 2

Показатели индивидуальной изменчивости параметров шишек сосны кедровой сибирской

| № дерева          | L, см     | D, см     | Кф (D/L)  | Выход семян, % | Мш, г      | Нс, шт  | Мс, г     |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------------|------------|---------|-----------|
| 1                 | 6,50      | 4,78      | 0,74      | 56,31          | 28,72      | 62      | 16,55     |
| 2                 | 5,91      | 4,57      | 0,77      | 54,93          | 25,35      | 49      | 14,08     |
| 3                 | 4,57      | 3,98      | 0,87      | 45,54          | 14,38      | 29      | 6,77      |
| 4                 | 6,06      | 4,00      | 0,66      | 48,73          | 18,19      | 43      | 8,91      |
| 5                 | 4,84      | 4,06      | 0,84      | 49,47          | 15,03      | 34      | 7,63      |
| 6                 | 5,53      | 4,08      | 0,74      | 52,81          | 18,84      | 46      | 10,06     |
| 7                 | 6,34      | 4,42      | 0,70      | 55,48          | 22,68      | 59      | 12,7      |
| 8                 | 4,73      | 4,11      | 0,87      | 45,15          | 14,11      | 32      | 6,49      |
| 9                 | 4,25      | 4,01      | 0,94      | 54,26          | 14,60      | 34      | 8,00      |
| 10                | 4,71      | 4,03      | 0,86      | 56,99          | 17,29      | 43      | 9,98      |
| 11                | 5,56      | 4,18      | 0,75      | 52,56          | 18,48      | 42      | 9,86      |
| 12                | 4,75      | 3,92      | 0,83      | 49,29          | 13,84      | 26      | 9,65      |
| 13                | 4,37      | 3,38      | 0,77      | 45,67          | 10,09      | 23      | 4,73      |
| 14                | 5,04      | 3,96      | 0,79      | 45,51          | 13,62      | 32      | 6,28      |
| 15                | 5,00      | 3,71      | 0,74      | 46,73          | 12,65      | 30      | 6,21      |
| Среднее           | 5,06±0,18 | 4,00±0,09 | 0,79±0,02 | 50,03±1,12     | 16,02±1,31 | 37±2,99 | 8,27±0,84 |
| C, %              | 18,26     | 11,84     | 16,22     | 15,33          | 36,05      | 41,83   | 45,82     |
| F <sub>факт</sub> | 15,95     | 10,95     | 10,07     | 7,9            | 14,03      | 12,64   | 13,82     |
| F <sub>табл</sub> | 1,73      | 1,73      | 1,73      | 1,73           | 1,73       | 1,73    | 1,73      |
| ДВФ, %            | 44,55     | 35,14     | 34,58     | 29,29          | 42,39      | 39,87   | 42,01     |

**Примечания:** L – длина шишки; D – диаметр шишки; Кф – коэффициент формы шишки; Мш – масса шишки; Нс – количество семян; Мс – масса семян.

Максимальный выход семян обнаружен также у дерева № 1 (56,3 %), а минимальный – у № 8 – 45,15 %.

Изменчивость линейных показателей шишек и процентного выхода семян входит в пределы нижней нормы варьирования, весовых показателей и количества семян в шишке – верхней нормы варьирования.

Доля влияния индивидуальных особенностей деревьев на изменчивость изученных биометрических показателей шишек высокая и на 44,5 % определяет длину шишки, диаметр – на 35,1, массу – 42,4, количество семян в шишке – 39,9, массу семян – 42,0 %. Выход семян из шишки на 29,3 % также зависит от индивидуальных особенностей материнского дерева. Данные корреляционного анализа выявили следующие тенденции: 1) более крупные шишки формируются на узкокронных ( $r=0,54$ ) деревьях верхней части полога ( $r=0,43$ ); 2) чем шире шишка,

тем больше её масса ( $r=0,93$ ), количество ( $r=0,86$ ) и масса 1000 шт. семян в ней ( $r=0,65$ ); 3) чем лучше состояние дерева, тем больше масса 1000 шт. семян ( $r=0,35$ ).

В табл. 3 приведены основные показатели качества семян, сформировавшихся в культуре *ex situ*.

Данные таблицы показывают, что масса 1000 шт. семян сосны сибирской, формирующихся в условиях лесной интродукции в Республике Марий Эл, и в естественном ареале идентичны. Индивидуальная изменчивость анализируемого показателя входит в нижнюю норму варьирования, а метамерная – не превышает верхней нормы (27,1 %). Эти данные могут свидетельствовать о соответствии экологических условий места интродукции физиологическим требованиям вводимой в культуру древесной породы и успешности прохождения процесса акклиматизации.

Таблица 3

Средние значения показателей качества семян

| № дерева          | Масса 1000 шт. семян, г |             |           |        | Д, %            | Ж, %            | К              | Гв, %           |
|-------------------|-------------------------|-------------|-----------|--------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
|                   | $X_{cp} \pm m_x$        | min-max     | $C_s, \%$ | As     |                 |                 |                |                 |
| 1                 | 263,4 $\pm$ 11,39       | 225,8–296,3 | 9,9       | -0,390 | 65,0            | 65,0            | 3              | 6,7             |
| 2                 | 286,5 $\pm$ 7,37        | 248,7–306,9 | 6,8       | -1,360 | 80,0            | 80,0            | 2              | 40,8            |
| 3                 | 228,6 $\pm$ 5,74        | 146,2–310,1 | 14,2      | -0,225 | 50,0            | 50,0            | 3              | 5,9             |
| 4                 | 209,6 $\pm$ 5,68        | 168,7–275,5 | 12,7      | +0,530 | 58,3            | 58,3            | 3              | 4,4             |
| 5                 | 220,2 $\pm$ 5,06        | 163,2–277,2 | 12,4      | -0,170 | 90,0            | 90,0            | 1              | 3,7             |
| 6                 | 216,9 $\pm$ 9,00        | 122,7–277,5 | 20,3      | -0,443 | 91,7            | 91,7            | 1              | 6,3             |
| 7                 | 222,6 $\pm$ 11,76       | 103,6–292,2 | 21,7      | -0,905 | 66,7            | 66,7            | 3              | 16,5            |
| 8                 | 211,8 $\pm$ 9,69        | 165,3–242,3 | 12,1      | -0,952 | 78,3            | 78,3            | 2              | 11,1            |
| 9                 | 235,6 $\pm$ 14,61       | 128,8–341,6 | 27,1      | -0,043 | 91,7            | 91,7            | 1              | 27,1            |
| 10                | 234,9 $\pm$ 5,84        | 170,0–304,2 | 12,9      | +0,374 | 86,7            | 86,7            | 1              | 7,3             |
| 11                | 239,3 $\pm$ 9,38        | 188,5–268,6 | 11,7      | -0,887 | 76,7            | 76,7            | 2              | 6,5             |
| 12                | 258,2 $\pm$ 10,21       | 166,1–316,2 | 16,8      | -0,466 | 76,7            | 76,7            | 2              | 20,0            |
| 13                | 208,1 $\pm$ 11,01       | 130,5–302,3 | 24,8      | +0,259 | 73,3            | 73,3            | 2              | 8,9             |
| 14                | 200,9 $\pm$ 6,04        | 132,2–283,3 | 15,1      | +0,573 | 53,3            | 51,7            | 3              | 11,4            |
| 15                | 206,9 $\pm$ 8,25        | 112,3–257,3 | 17,8      | -0,714 | 71,7            | 71,7            | 2              | 4,8             |
| Среднее           | 224,3 $\pm$ 2,49        | 103,6–341,6 | 18,7      | -0,022 | 74,0 $\pm$ 3,64 | 73,9 $\pm$ 3,69 | 2,0 $\pm$ 0,21 | 12,1 $\pm$ 2,82 |
| F <sub>факт</sub> | 4,63                    |             |           |        | -               | -               | -              | -               |
| F <sub>табл</sub> | 1,73                    |             |           |        | -               | -               | -              | -               |
| ДВФ, %            | 19,5                    |             |           |        | -               | -               | -              | -               |

**Примечания:** min – минимальное значение; max – максимальное значение; As – коэффициент асимметрии; Д – доброкачественность семян; Ж – жизнеспособность семян; К – класс качества семян; Гв – грунтовая всхожесть семян.

Кривая распределения массы 1000 шт. семян в популяции близка к нормальной. В то же время распределения анализируемого показателя модельных деревьев имеют как ярко выраженную левостороннюю асимметрию (деревья № 2, 7, 8, 11, 15), так и слабовыраженную правостороннюю (№ 4, 10, 14). Данный факт также должен учитываться при отборе деревьев для снижения затрат при сборе урожая.

Низкая грунтовая всхожесть связана с рядом причин, а именно: классом качества семян и малым сроком стратификации семян под снегом (два месяца). Примечательно то, что семена 1 класса качества имеют преимущественно низкую грунтовую всхожесть (исключение составляет дерево № 9). Семена в среднем по популяции имели 2 класс качества.

Сравнительно высокую грунтовую всхожесть (40,8 %) имели семена, собранные с дерева № 2. Данное дерево имело максимальное среднее значение

массы 1000 шт. семян (286,5 г) и наименьшую изменчивость (6,8 %).

Массовые всходы появляются в течение первых 20 дней.

Появление всходов из семян с отдельных деревьев с наибольшей (№ 2), средней (№ 14) и наименьшей (№ 5) всхожестью происходило до последнего дня наблюдения (рис. 1). Деревья, имеющие низкую всхожесть в год наблюдения, дали массовые всходы весной следующего года. В перспективе необходимо уделить внимание более глубокому изучению вопроса предпосевной подготовки семян.

Повсеместно на всей территории лесопарка, где расположена аллея, встречается единичный самосев сосны сибирской (рис. 2). Местное население активно культивирует найденные «дички» на своих приусадебных участках. Факт появления самосева кедра подтверждает жизнеспособность семян и возможность его семенного возобновления непосредственно в лесной среде.

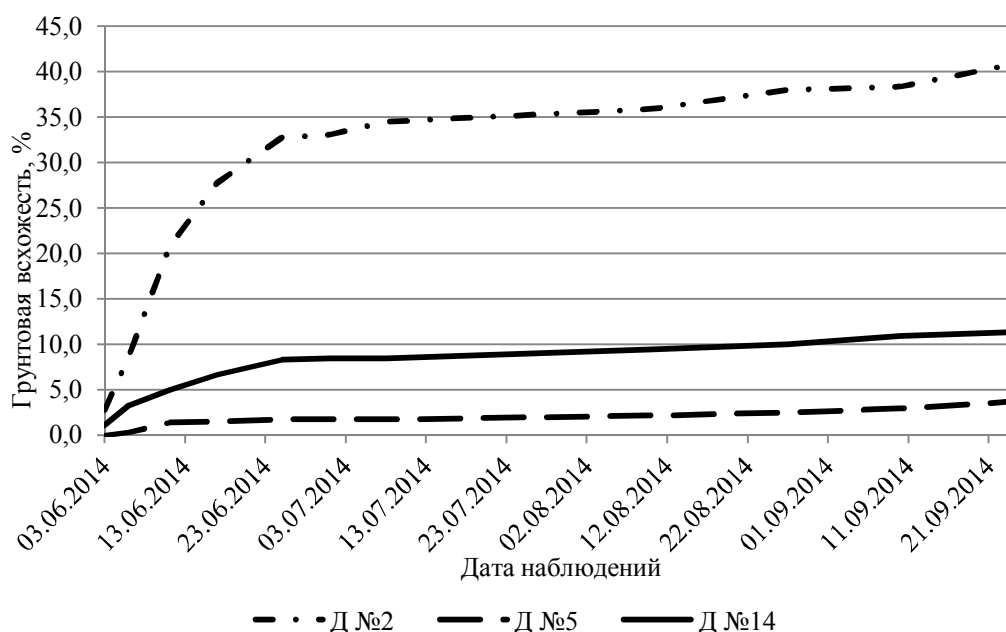


Рис. 1. Грунтовая всхожесть семян кедра сибирского



Рис. 2. Самосев кедр сибирского, найденный в 20 м от кедровой аллеи (возраст 6 лет, высота 46 см)

### Выводы и рекомендации

1. Деревья кедр сибирского, отличающиеся лучшим ростом и развитием, характеризуются сравнительно более обильным плодоношением.

2. Показатели шишек и семян кедр находятся в пределах границ параметров шишек, формирующихся в ареале естественного произрастания. Семена местной репродукции имеют в среднем 2 класс качества.

3. Наличие семеношения и подроста подтверждает успешность акклиматизации представителей вида и даёт возможность перехода к этапу формирования лесосеменных объектов.

4. В качестве маточников рекомендуем выбирать деревья из верхней части полога, имеющие максимальные биометрические показатели диаметра ствола, высоты и протяжённости живой части кроны.

### Список литературы

1. Дроздов, И.И. Программа интродукции кедр сибирского в европейскую часть СССР / И.И. Дроздов. – М.: МЛТИ, 1991. – 56 с.
2. Дроздов, И. И. Интродукция ценного лесообразователя / И. И. Дроздов // Лесной вестник. – 1998. – № 3. – С. 99-103.
3. Храмова, О.Ю. Результаты обследования культур сосны кедровой сибирской в Ветлужском районе Нижегородской области / О.Ю. Храмова, Е.А. Смирнова // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2007. – № 17. – С. 90-91.
4. Храмова, О.Ю. Оценка репродуктивной способности сосны кедровой сибирской в условиях Нижнего Новгорода / О. Ю. Храмова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2009. – Т. 1, № 21. – С. 36-39.
5. Алимбек, Б. М. Опыт интродукции кедровой сосны в Марийской и Татарской АССР / Б. М. Алимбек // Кедр сибирский на европейском севере СССР, его распространение, возобновление и культура. – Л.: Наука, 1972. – С. 72-76.
6. Еремин, Н.В. Агротехнические и физиологические аспекты успешности выращивания культур сосны кедровой сибирской в Республике Марий Эл / Н.В. Еремин, М.А. Карасева, В.Н. Карасев // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 1. – С. 29-39.
7. Еремин, Н.В. Лесные культуры сосны кедровой сибирской в Среднем Поволжье: состояние и проблемы / Н.В. Еремин, С.Н. Бродников, Т.Ф. Мифтахов, А.А. Мамаев / Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия Технологическая. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. – Вып. 2. – С. 14-18.
8. Чернов, Н.Н. Лесные культуры кедр сибирского в восточноуральской лесостепи: монография / Н.Н. Чернов, С.В. Митрофанов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. – 140 с.
9. Дроздов, И.И. Методические рекомендации по изучению лесных культур интродуцированных пород / И.И. Дроздов, А.И. Янгутов. – М.: МЛТИ, 1984. – 40 с.
10. Котов, М.М. Применение биометрических методов в лесной селекции / М.М. Котов, Э.П. Лебедева. – Горький: ГГУ, 1977. – 120 с.
11. Щепотьев, Ф.Л. Орехоплодовые лесные культуры / Ф.Л. Щепотьев, А.А. Рихтер, Ф.А. Павленко, и др. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 256 с.

Статья поступила в редакцию 24.06.15.

**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.

**ЛАЗАРЕВА Светлана Михайловна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, директор Ботанического сада-института, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – интродукция и акклиматизация хвойных растений, закономерности изменчивости и селекция хвойных экзотов. Автор 90 публикаций.

**БРОДНИКОВ Сергей Николаевич** – аспирант кафедры лесных культур, селекции и биотехнологий, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – лесная интродукция. Автор 25 публикаций.

UDC 630\*232

**SIBERIAN STONE PINE SEEDING IN MARI TRANS-VOLGA REGION****E. M. Romanov, S. M. Lazareva, S.N. Brodnikov**

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

**Key words:** forest plantations; introduction; Siberian stone pine (Siberian cedar); cone; seeds; field germination.

**ABSTRACT**

**Introduction.** The problems of intraspecies variability and seeds quality of Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) in Mari Trans-Volga region are not well studied. Lack of papers on the problem is the evidence of the made assumption. Capability to seed and to give viable offspring is the major indicator of acclimatization of woody plants in the new growth conditions.

**The goal** of the research is to define qualitative and quantitative indicators of seeding for Siberian stone pine in the region of its introduction. **The object** of the research were the plantations of Siberian stone pine established in the alleys in 1967. **The research method** included a detailed study of the trees, an assessment of seeding in accordance with the Nekrasova scale, and definition of seeds quality according to the existing standards. The year of cone harvesting was not a fruitful one. At that, mean figure of seeding was 1,3. **Results.** Trees of Siberian stone pine grow quickly. They have a comparatively better seeding than other species. The indices of cones and seeds of Siberian stone pine are within the limits of growth of cones, forming in the area of natural growth. On an average, the length of cone is 5,1 cm, diameter – 4,0 cm, percent of seed efficiency – 50,03. Mass of 1000 seeds is on the average 224,3±2,49 g. Influence of individual peculiarities of trees on the variability of the studied biometric indices of cones is high enough; it determines the length of cone to 44,5 %, diameter of cone – 35,1, mass – 42,4, number of seeds in a cone – 39,9, mass of seeds – 42,0 %. Seed efficiency (to 29,3 %) also depends on the individual characteristics of a parent tree. Local seeds are usually of 2 quality class. Presence of seeding and undergrowth shows successful acclimatization of the species and gives a chance to go to the next stage of formation of seed objects. Besides, it is better to choose the trees of the upper canopy with the maximum biometric characteristics of stem diameter, height of tree and length of the alive crown as mother trees.

**REFERENCES**

1. Drozdov I.I. *Programma introduktsii kedra sibirskogo v evropeyskuyu chast SSSR* [Program of the Siberian Cedar Introduction in the European Part of the USSR]. Moscow: MLTI, 1991. 56 p.
2. Drozdov I.I. *Introduktsiya tsennogo lesoobrazovatelya* [Introduction of Valuable Forest-Forming Species]. *Lesnoy vestnik* [Forest Vestnik]. 1998. №3. Pp. 99-103

3. Khramova O.Yu., Smirnova E.A. Rezultaty obsledovaniya kultur sosny kedrovoy sibirskoy v Vetluzhskom rayone Nizhegorodskoy oblasti [Study Results of the Planted Siberian Cedar in the Vetluzhskiy District of the Nizhny Novgorod Oblast]. *Aktualnye problemy lesnogo kompleksa* [Current Problems in Forest Complex]. 2007. № 17. Pp. 90-91.
4. Khramova O.Yu. Otsenka reproduktivnoy sposobnosti sosny kedrovoy sibirskoy v usloviyakh Nizhnego Novgoroda [An Assessment of Reproductive Performance of the Siberian Cedar in Conditions of Nizhny Novgorod]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of Orenburg State Agrarian University]. 2009. Vol. 1. № 21. Pp. 36-39.
5. Alimbek B. M. Opyt introduktsii kedrovoy sosny v Mariyskoy i Tatarskoy ASSR [An Experience of Introduction of Siberian Stone Pine in Mari and Tatar ASSR]. *Kedr sibirskiy na evropeyskom severe SSSR, ego rasprostraneniye, vozobnovleniye i kultura* [Siberian Cedar in the European North of the USSR, its Dissemination, Regeneration and Cultivation]. Leningrad: Nauka, 1972. Pp. 72-76.
6. Eremin N.V., Karaseva M.A., Karasev V.N. Agrotekhnicheskie i fiziologicheskie aspekty uspekhov vyrashchivaniya kultur sosny kedrovoy sibirskoy v Respublike Mariy El [Agrotechnical and Physiological Aspects for Successful Cultivation of Siberian Stone Pine in the Republic of Mari El]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2010. № 1. Pp. 29-39.
7. Eremin N.V., Brodnikov S.N., Miftakhov T.F., Mamaev A.A. Lesnye kultury sosny kedrovoy sibirskoy v Srednem Povolzhe: sostoyaniye i problemy [Planted Siberian Stone Pine in the Middle Volga Region: Present-Day Condition and Problems]. *Trudy Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya Tekhnologicheskaya* [Proceedings of Volga State University of Technology. Technological Series]. Yoshkar-Ola: PGU, 2014. Issue 2. Pp. 14-18.
8. Chernov N.N., Mitrofanov S.V. *Lesnye kultury kedra sibirskogo v vostochnouralskoy lesostepi: monografiya* [Plantations of Siberian Cedar in the East-Ural Forest-Steppe: monograph]. Ekaterinburg, UGLTU, 2008. 140 p.
9. Drozdov I.I., Yangutov A.I. *Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu lesnykh kultur introdutsirovannykh porod* [Methodological Recommendations on the Study of Forest Plantations of the Introduced Species]. Moscow: MLTI, 1984. 40 p.
10. Kotov M.M., Lebedeva E.P. *Primeneniye biometricheskikh metodov v lesnoy selektsii* [Use of the Biometric Methods in Forest Selection]. Gorky: GGU, 1977. 120 p.
11. Shchepotev F.L., Rikhter A.A., Pavlenko F.A., et al. *Orekhoplodnye lesnye kultury* [Nut-Bearing Plantations]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1978. 256 p.

The article was received 24.06.15.

**Citation for an article:** Romanov E. M., Lazareva S. M., Brodnikov S.N. Siberian stone pine seeding in Mari Trans-volga region. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2015. No 3 (27). Pp. 34-41.

#### Information about the authors

**ROMANOV Evgeny Mikhailovich** – Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Chair of Forest Plantations, Selection and Biotechnologies, Rector of Volga State University of Technology. Research interests – artificial forest restoration. The author of 160 publications.

**LAZAREVA Svetlana Mikhailovna** – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Director of Botanical Garden-Institute of Volga State University of Technology. Research interests – introduction and acclimatization of coniferous trees, regularities of variability and selection of coniferous exotic species. The author of 90 publications.

**BRODNIKOV Sergey Nikolayevich** – Postgraduate student at the Chair of Forest Plantations, Selection and Biotechnologies, Volga State University of Technology. Research interests – forest introduction. The author of 25 publications.

УДК 630\*52

## АЛГОРИТМ ЭНТРОПИЙНО-ИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДРОСТА НА ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЯХ

**Л. В. Черных**

Поволжский государственный технологический университет,  
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3  
E-mail: leonch1k89@mail.ru

*Выявлены методические недостатки при учёте подростка и оценке лесовозобновления. Предложена квадротомическая модель данных для учёта подростка с последующей генерализацией на два уровня по четырём учётным площадкам. Оценка распространённости и самоорганизации молодого поколения леса выполняется по показателям энтропии. Предложен алгоритм учёта подростка и оценки лесовозобновления на лесном участке на основе энтропийно-информационного анализа.*

**Ключевые слова:** подрост; жизнеспособность; лесные культуры; энтропия; встречаемость подростка; алгоритм; лесовозобновление; лесовосстановление; лесоустройство.

**Введение.** Правильное назначение мероприятий по лесовозобновлению возможно на основе информации о подросте на лесном участке. В зависимости от количества и состояния подростка на вырубке, гари, прогалине, планируемой лесосеке выбирается способ лесовозобновления с учётом целевого использования лесов.

Вопросу возобновления леса в нашей стране уделяется большое внимание. Накоплен значительный опыт, который описан в классических трудах А.А. Крюденера, Г.Н. Морозова, В.Н. Сукачева, М.Е. Ткаченко, А.В. Тюрина, И.С. Мелехова, А.В. Давыдова и многих учёных лесоводов [1, 2]. Современное состояние этого вопроса также отмечено во многих публикациях, например, с 2005 по 2014 год в нашей стране было опублико-

вано более 1500 работ по проблеме лесовозобновления и лесовосстановления.

Методическим вопросом обследования и учёта лесовозобновления посвящены работы А.А. Крюденера, Н.В. Побединского, И.С. Мелехова, С.В. Белова, А.В. Грязькина, А.Н. Мартынова, С.А. Денисова и многих других исследователей [1–5].

Особенно подробно приведены методические описания по обследованию естественного лесовозобновления и лесных культур в лесоустроительных инструкциях разных лет (1946, 1951, 1964, 1985, 1994, 2008, 2011 гг.), в отраслевом стандарте «Пробные площади лесоустроительные...»\*, в правилах лесовосстановления\*\* и руководствах по проведению лесовосстановительных работ в различных лесных районах страны [6], а также в книге «Лесоустройство» [7].

\*ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. – М.: Изд. ЦБНТИлесхоз, 1984. – 60 с

\*\*Правила лесовосстановления: Утверждены Приказом МПР России от 16.07.2007 №183. – М., 2007. – 28 с.

© Черных Л. В., 2015.

**Для цитирования:** Черных Л. В. Алгоритм энтропийно-информационного анализа количественных и качественных характеристик подростка на пробных площадях // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 3 (27). – С. 42-54.

Все вышеперечисленные публикации и нормативно-правовые документы направлены на определение количественных и качественных показателей подроста, являющихся основой назначения способа лесовосстановления.

Главным качественным показателем подроста является жизнеспособность, определяемая по признакам, например, для хвойных древесных пород жизнеспособность определяется по густоте и цвету хвои; выраженности мутовчатости; форме кроны, равномерности прироста по высоте стволика за 3–5 последних лет роста, поверхность коры стволика, прямолинейность стволика, отсутствие многовершинности. Для твёрдолиственных пород жизнеспособность подроста характеризуется нормальным облиствением кроны, пропорционально развитыми по высоте и диаметру стволиками\* [2]. В большинстве случаев при учёте подроста жизнеспособность определяется как «благонадёжный» и «неблагонадёжный». Тип пространственного распределения подроста на лесном участке также можно считать качественным показателем.

После определения качества подроста определяются количественные показатели «благонадёжного» подроста древесных пород: густота на 1 га, высота, возраст, прирост по высоте, встречаемость, состав, доля неблагоприятного подроста, количество всходов и самосева.

Отметим, что во всех работах главным результатом обследования подроста была принята жизнеспособность и густота, необходимая для формирования нового устойчивого лесного насаждения.

Подробный анализ существующих инструкций, методик, рекомендаций и указаний по учёту и обследованию подроста позволил выявить следующие методические недостатки:

1) определение типа распределения подроста по площади производится только по относительному значению числа подроста на учётных площадках;

2) отсутствует анализ показателей изменчивости густоты подроста;

3) недостаточно полно приведена последовательность работ по обследованию естественного лесовозобновления на лесном участке;

4) рекомендации по выбору способа лесовосстановления и лесовозобновления носят неопределённый, субъективный характер вследствие очень большой изменчивости густоты подроста;

5) выходная информация не формализована, отсутствует единая форма представления результатов обследования подроста;

6) весь цикл работ по учёту подроста на пробных площадях слабо обоснован методически и не автоматизирован этап камеральной обработки результатов измерений.

Исходя из вышеизложенного и перехода ведения лесного хозяйства на интенсивную модель хозяйствования, вопросы по оценке лесовозобновления являются важным элементом цикла воспроизводства лесных ресурсов. От точности и адекватности оценки показателей подроста на обследуемом лесном участке зависит качество проектных решений при лесоустройстве и организации ведения лесного хозяйства, поэтому разработка единого подхода к учёту и оценке подроста с позиции полноты сбора и обработки результатов измерений на пробных площадях является актуальной.

**Цель работы** – разработать алгоритм энтропийно-информационного анализа количественных и качественных показателей подроста на пробных площадях.

Для реализации этой цели необходимо решить следующие **задачи**:

- повысить информативность и точность оценки процессов лесовозобновления путём конструирования модели данных измерений показателей подроста;

---

\* Правила лесовосстановления: Утверждены Приказом МПР России от 16.07.2007 №183. – М., 2007. – 28 с.

- выявить количественные приёмы и показатели для оценки пространственной структуры подроста;

- разработать алгоритм энтропийно-информационного анализа результатов измерений на пробной площади.

**Материал и методика.** Теоретической основой решения перечисленных задач для оценки естественного и искусственного возобновления леса может служить энтропийно-информационный подход и квадратомиическая модель пространственных данных о подросте.

Исходным материалом для обоснования методики учёта и оценки подроста являются публикации, в которых обобщён труд многих исследователей в области оценки процессов лесовозобновления, теории информации, геоинформационных систем, теории баз данных. Для тестирования методики учёта и оценки подроста послужили материалы 35 пробных площадей, заложенных в полевой период 2012–2015 гг. на территории Республики Марий Эл.

**Результаты и их обсуждение.** Лесовозобновление – это сложный процесс жизни экосистемы, который очень трудно представить в виде вещественной модели. При этом модель должна наиболее полно отражать все свойства лесовосстановления на лесном участке. Поэтому, используя метод генерализации и абстракции, можно свести множество данных о подросте к конечному объёму исходных данных, которые подвергаются оценке и анализу. Надо выбрать такую модель, которая бы сохраняла основные свойства объектов исследования и не содержала бы второстепенных свойств. Таким образом, созданию основы для разработки алгоритма оценки лесовосстановления предшествует обоснование выбора модели данных предметной области.

В настоящее время для представления пространственных данных об объекте исследований используют следующие модели данных, классифицируемые по структуре [8–11]:

- сетевые – связь между элементами различных уровней свободная;

- иерархические – данные представляются в виде ориентированного графа;

- реляционные – данные формируются в виде одной или нескольких таблиц, а записи в таблицах идентифицируются при помощи первичного ключа, состоящего из набора полей таблицы, значения которых однозначно определяют каждую запись во всех таблицах;

- объектно-ориентированные – отдельные записи данных представляются в виде объектов, а между записями в базе данных и их функциями обработки устанавливаются взаимосвязи.

Любая модель данных содержит три компонента: структуру данных; набор допустимых операций и ограничения целостности.

Практическое использование моделей квадратомиических деревьев было применено для обработки изображений. Из этой области данная модель была перенесена в геоинформационные системы [8, 11].

Для наших целей наиболее подходит иерархическая модель данных в виде квадратомиического дерева. Рассмотрим эту модель на примере проектирования и использования геоинформационных систем [11].

В этой структуре двумерная геометрическая область рекурсивно подразделяется на квадранты, что определило название данной модели.

На рис. 1 показан фрагмент двумерной области ТА, состоящей из 16 пикселей. Напомним, что для представления, воспроизводства или обработки изображения в электронном виде минимальной единицей считается пиксель (точка).

Каждый пиксель обозначен цифрой. Вся область разбивается на четыре квадранта: А, Б, С, Д. Каждый из четырёх квадрантов является узлом квадратомиического дерева. Квадрант ТА становится узлом более высокого иерархического уровня квадратомиического дерева, а меньшие квадранты появляются на более низких уровнях.

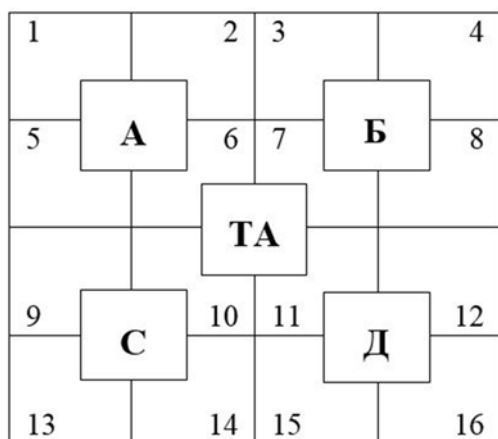


Рис. 1. Модель данных «Квадратомическое дерево» для представления растра

Технология построения квадратомического дерева основана на рекурсивном разделении квадрата на квадранты и подквадранты до тех пор, пока все подквадранты не станут однородными по отношению к значению изображения (цвета или тона) или пока не будет достигнут конкретный, заранее наименьший уровень разрешения. Данная технология широко используется для обработки и представления пространственных данных.

Преимущество такой структуры модели данных состоит в том, что регулярное разделение обеспечивает накопление, восстановление и обработку данных простым и эффективным способом. Её простота построения проистекает из геометрической регулярности разбиения, а эффективность достигается за счёт хранения только узлов с данными, которые представляют интерес.

В настоящее время модели данных, базирующиеся на квадратомических деревьях, используются в различных предметных областях для расчёта площадей, определения центроидов, распознавания образов, определения соседства, преобразования расстояний, разделения изображений, сглаживания данных и других функций. Вследствие этого появилась возможность использовать квадратомические деревья для хранения пространственных данных [8,11].

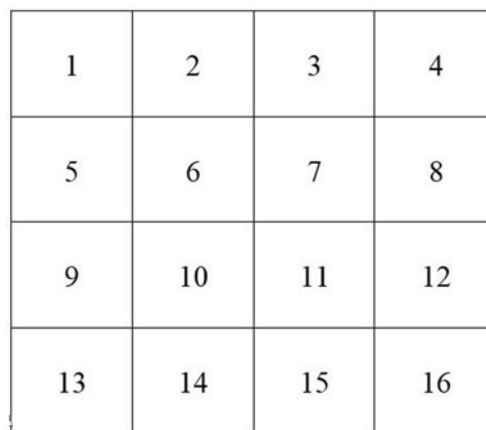


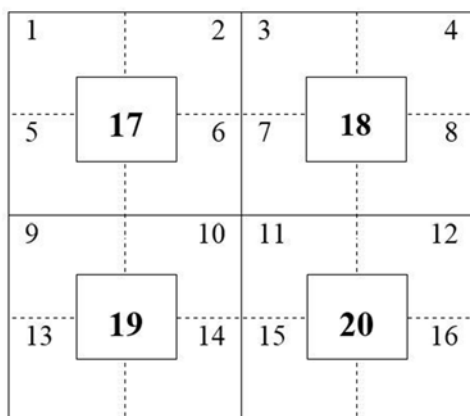
Рис. 2. Расположение учётных площадок на пробной площади

Известно, что квадратомическая модель данных при генерализации четырёх квадратов позволяет получить новую информацию о пространственных объектах. Для наших целей при учёте подростка на лесном участке это свойство модели позволяет получить новую площадку с известными атрибутами. Следовательно, генерализация четырёх исходных квадратов порождает новый квадрат (новую учётную площадку) с вычисленными средними значениями о подросте.

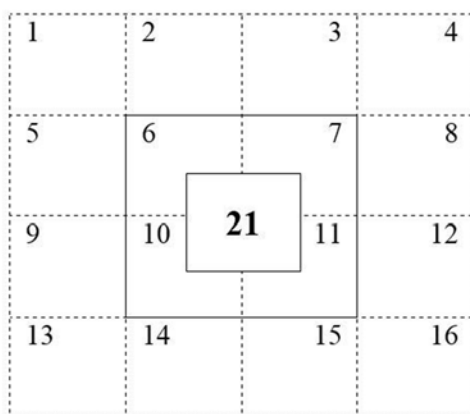
Отметим, что первоначально пространственной единицей учёта подростка является квадрат площадью 1, 4, 10 или 100 м<sup>2</sup>. Пробная площадь включает 16 квадратов одинаковой площади (рис. 2) и всегда равна 1600 м<sup>2</sup>. Если площадь учётной площадки равна 1, 4 или 10 м<sup>2</sup>, то площадки закладываются в центре каждого квадрата площадью 100 м<sup>2</sup>. В полевых условиях на каждом квадрате проводятся все работы по измерению и оценке подростка. Результаты измерений на квадрате фиксируются в карточке пробной площади по лесовозобновлению.

Принцип генерализации (обобщения) четырёх квадратов, примыкающих друг к другу, на пробной площади позволяет получить новые квадраты с вычисленной средней характеристикой подростка (рис. 3, а). Таким образом, на первом шаге генерализации мы получаем четыре до-

полнительных квадрата первичных данных о подросте на пробной площади. На втором уровне проводим генерализацию центральных квадратов (рис. 3, б, квадраты 6, 7, 10 и 11) и получаем ещё дополнительный квадрат с усреднённой информацией о подросте на пробной площади.



а



б

Рис. 3. Генерализация учётных площадок:  
а) первый уровень; б) второй уровень

Выполнив генерализацию по приведённой схеме пространственных исходных данных в виде 16 квадратов, мы получаем дополнительно пять квадратов с характеристикой подроста (рис. 4). При этом для последующих расчётов количественных и качественных характеристик подроста общее число квадратов на пробной площади составит 21 шт., или можно считать, что число учётных площадок при закладке пробных площадей при использовании квадратомической модели данных увеличивается на 31,2 %.

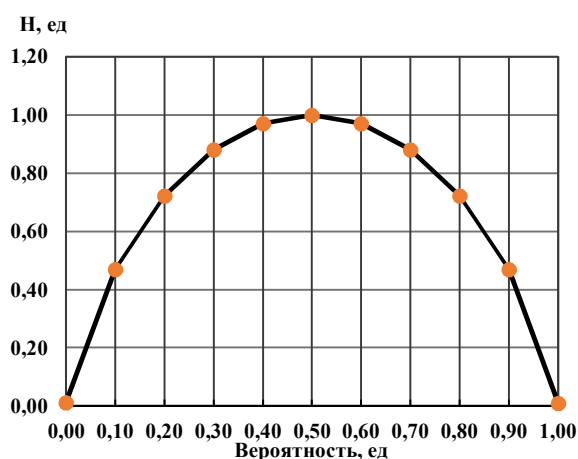


Рис. 4. Значения энтропии в зависимости от вероятности события при  $m = 2$

Применение квадратомической модели данных при учёте подроста позволит облегчить полевые работы на пробных площадях, повысить точность оценки количественных показателей густоты исследуемых растений, а также уменьшить изменчивость густоты.

Для характеристики пространственной структуры подроста на пробной площади воспользуемся величиной энтропии.

Согласно теории информации, для оценки неопределённости случайного события понятие «энтропия» введено в 1865 году немецким физиком Рудольфом Клаузиусом для оценки самопроизвольных процессов в термодинамической системе. Было показано, что энтропия системы достигает максимального значения при достижении равновесия процессов, происходящих в ней. В дальнейшем Людвиг Больцман (1872 год) развил статистическую теорию и связал энтропию системы с вероятностью её состояния.

Основой понятия «энтропия» является математическое выражение, предложенное Н. Винером и К. Шенноном в 1948 году [12–18]

$$H = -k \cdot \sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i, \quad (1)$$

где  $H$  – энтропия (количество информации) рассматриваемой системы; где  $p_i$  – вероятность того или иного состояния  $i$ -го

элемента системы;  $k$  – коэффициент пропорциональности;  $m$  – количество элементов системы.

Из приведённого выражения следует, что максимальное значение энтропии может быть тогда, когда все элементы системы  $m$  будут равновероятны.

Значение максимальной энтропии вычисляется по формуле Хартли, которую он предложил для определения количества информации [16]

$$H_{\max} = \log_2 m. \quad (2)$$

Если система примет определённое состояние с вероятностью 1, то энтропия будет равна 0, следовательно, будет справедливо равенство при всех остальных случаях

$$0 \leq H \leq H_{\max}. \quad (3)$$

Энтропия системы двух взаимоисключающих событий находится в пределах от 0 до 1.

Всё это говорит о том, что для оценки состояния любой сложной системы или её разнообразия можно воспользоваться свойствами показателя энтропии.

Для примера рассмотрим систему, состоящую из двух элементов, и вычислим значения энтропии при различной вероятности, например, с шагом 0,1

$$H = -[(p \cdot \log_2 p) + ((1-p) \cdot \log_2 (1-p))]. \quad (4)$$

На рис. 4 по оси  $X$  отложены величины вероятностей событий  $P$ , по оси  $Y$  отложена вся сумма значения энтропии при  $m=2$ . Простой анализ графического изображения позволяет сделать вывод: кривая энтропии симметрична относительно средней точки, которая расположена в месте, где вероятность события равна 0,5. Это подтверждает, что при достижении равновесного состояния системы энтропия увеличивается, то есть величина энтропии может служить показателем оценки организации систем.

Таким образом, все вышеперечисленные рассуждения и доказательства можно отнести как к любой живой системе, так и лесному насаждению.

Обоснование эффективности применения квадротомической модели данных при исследовании пространственной структуры подроста покажем по материалам таксации 35 пробных площадей, заложенных на территории Республики Марий Эл.

В результате расчётов (табл. 1) оказалось, что величина энтропии на пробных площадях, имеющих 16 учётных площадок, в сравнении с оценкой энтропии по материалам 21 учётной площадки, имеет различия от  $-8,8$  до  $+17,9\%$ , при этом средняя систематическая погрешность энтропии составляет  $+6,5\%$ . Различия в оценках энтропии в зависимости от числа учётных площадок сопровождаются случайной ошибкой, равной  $\pm 6,8\%$ , а для всех случаев  $\pm 1,31\%$ . Это говорит о том, что влияние генерализации исходных данных (при использовании квадротомической модели) на характеристику подроста на пробных площадях доказано. Следовательно, применение квадротомической модели данных при оценке количественных и качественных показателей подроста на пробных площадях позволяет более адекватно и точно оценить состояние лесовозобновления на лесных участках, а также сделать выводы о степени самоорганизации молодого поколения леса.

Следует отметить, что при различном количестве древесных пород, участвующих в возобновлении леса на лесном участке, сравнение энтропии не корректно, потому что значение максимальной энтропии также различается. Для устранения этого недостатка можно использовать показатель относительной энтропии

$$H_2 = \frac{H}{H_{\max}}.$$

Мерой оценки относительной организованности системы служит  $H_3 = 1 - H_2$  [10, 12].

Таблица 1

**Значения энтропии относительной встречаемости подроста при использовании квадратомиической модели данных на пробных площадях, заложенных на территории Республики Марий Эл**

| №<br>ПП | Количество<br>древесных<br>пород, шт. | Величина энтропии (H) количества подроста на пробной<br>площади, ед. |                                            |        |                                                                          | Погреш-<br>ность, % |
|---------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|         |                                       | max                                                                  | количество квадратов<br>(учётных площадок) |        | оценка<br>относительной<br>организованности<br>системы (H <sub>3</sub> ) |                     |
|         |                                       |                                                                      | 16 шт.                                     | 21 шт. |                                                                          |                     |
| 2       | 4                                     | 2,00                                                                 | 1,15                                       | 1,11   | 0,44                                                                     | 3,30                |
| 3       | 3                                     | 1,58                                                                 | 0,60                                       | 0,56   | 0,65                                                                     | 7,50                |
| 4       | 3                                     | 1,58                                                                 | 0,64                                       | 0,56   | 0,65                                                                     | 12,10               |
| 5       | 5                                     | 2,32                                                                 | 2,13                                       | 2,00   | 0,14                                                                     | 5,80                |
| 6       | 4                                     | 2,00                                                                 | 0,43                                       | 0,39   | 0,81                                                                     | 10,90               |
| 7       | 3                                     | 1,58                                                                 | 1,05                                       | 0,97   | 0,39                                                                     | 8,00                |
| 8       | 2                                     | 1,00                                                                 | 0,36                                       | 0,34   | 0,66                                                                     | 5,50                |
| 9       | 3                                     | 1,58                                                                 | 0,43                                       | 0,36   | 0,77                                                                     | 17,10               |
| 10      | 2                                     | 1,00                                                                 | 0,84                                       | 0,92   | 0,08                                                                     | -8,80               |
| 11      | 4                                     | 2,00                                                                 | 1,41                                       | 1,30   | 0,35                                                                     | 8,00                |
| 12      | 5                                     | 2,32                                                                 | 1,12                                       | 1,03   | 0,55                                                                     | 7,70                |
| 14      | 2                                     | 1,00                                                                 | 0,95                                       | 0,93   | 0,07                                                                     | 1,70                |
| 15      | 3                                     | 1,58                                                                 | 1,37                                       | 1,39   | 0,12                                                                     | -1,40               |
| 16      | 3                                     | 1,58                                                                 | 1,50                                       | 1,44   | 0,09                                                                     | 4,00                |
| 18      | 5                                     | 2,32                                                                 | 0,56                                       | 0,55   | 0,76                                                                     | 2,00                |
| 19      | 4                                     | 2,00                                                                 | 1,03                                       | 0,97   | 0,52                                                                     | 5,70                |
| 20      | 3                                     | 1,58                                                                 | 1,12                                       | 1,08   | 0,32                                                                     | 4,30                |
| 21      | 4                                     | 2,00                                                                 | 1,19                                       | 1,12   | 0,44                                                                     | 5,70                |
| 22      | 5                                     | 2,32                                                                 | 0,97                                       | 0,85   | 0,63                                                                     | 12,30               |
| 23      | 4                                     | 2,00                                                                 | 1,00                                       | 0,91   | 0,54                                                                     | 8,40                |
| 24      | 3                                     | 1,58                                                                 | 0,70                                       | 0,64   | 0,59                                                                     | 7,90                |
| 25      | 5                                     | 2,32                                                                 | 1,39                                       | 1,29   | 0,44                                                                     | 7,10                |
| 26      | 4                                     | 2,00                                                                 | 1,11                                       | 1,07   | 0,47                                                                     | 3,40                |
| 27      | 3                                     | 1,58                                                                 | 0,60                                       | 0,52   | 0,67                                                                     | 13,20               |
| 28      | 3                                     | 1,58                                                                 | 0,54                                       | 0,44   | 0,72                                                                     | 17,90               |
| 29      | 3                                     | 1,58                                                                 | 0,82                                       | 0,71   | 0,55                                                                     | 13,80               |
| 109     | 3                                     | 1,58                                                                 | 0,44                                       | 0,37   | 0,77                                                                     | 16,50               |
| 30      | 3                                     | 1,58                                                                 | 1,42                                       | 1,37   | 0,14                                                                     | 3,70                |
| 31      | 4                                     | 2,00                                                                 | 1,23                                       | 1,11   | 0,44                                                                     | 9,40                |
| 32      | 2                                     | 1,00                                                                 | 0,63                                       | 0,60   | 0,40                                                                     | 5,50                |
| 33      | 4                                     | 2,00                                                                 | 1,31                                       | 1,23   | 0,38                                                                     | 6,10                |
| 34      | 2                                     | 1,00                                                                 | 0,46                                       | 0,50   | 0,50                                                                     | -8,00               |
| 35      | 4                                     | 2,00                                                                 | 1,24                                       | 1,09   | 0,45                                                                     | 11,80               |
| 36      | 3                                     | 1,58                                                                 | 1,02                                       | 1,05   | 0,34                                                                     | -2,50               |
| 37      | 3                                     | 1,58                                                                 | 1,31                                       | 1,25   | 0,21                                                                     | 4,30                |

Важным качественным показателем характеристики подроста является тип его распределения в пространстве. При исследовании лесовозобновления пространственная характеристика подроста даёт основание для назначения мероприятий. Если тип распределения случайный или равномерный, то при достаточном количестве подроста естественный способ ле-

совосстановления будет обоснован, а если групповое распределение – назначается комбинированное лесовозобновление. В действующих нормативных документах определение типа распределения по площади рекомендуется определять по его встречаемости на учётных площадках. Если встречаемость выше 65 %, то распределение равномерное, встречаемость

40 – 65 % – неравномерное и менее 40 % – групповое\*.

Для достоверной оценки типа распределения подростка по площади используют различные методы, например, индекс Одумма, индекс дисперсии Соутвуда, индекс Морисита, уравнение Тейлора и др. [19, 20].

По нашему мнению, наиболее оптимальным методом определения типа распределения подростка на исследуемом участке можно считать индекс Морисита. При его расчёте отсутствует влияние размера учётной площадки и размеры выборки.

На практике для определения типа распределения подростка на лесном участке анализируется значение индекса М. Морисита [20]:

если его значение  $0,85 \leq I_M \leq 1,25$  – распределение подростка на пробной площадке считается случайным,

$I_M < 0,85$  – распределение подростка равномерное;

$I_M > 1,25$  – распределение подростка групповое.

Для оценки подростка на лесном участке определяются следующие количественные и качественные показатели: древесная порода, коэффициент состава пород, средний возраст, средняя высота, густота по категориям высот и группам возраста, жизнеспособность, встречаемость, размещение по площади, категория земель, санитарное состояние и др.

Наиболее полно такую информацию можно получить путём измерения входных показателей на пробной площадке, используя выборочно-статистический метод учёта и оценки лесовозобновления.

Для повышения точности и достоверности оценки подростка на лесном участке нами предложен новый подход для сбора, обработки данных и интерпретации полученных результатов о подросте, который базируется на квадратомической модели данных и анализе энтропии пространственной густоты молодого поколения леса.

Всё вышеизложенное приведено в систему, что позволило разработать следующий алгоритм расчёта по результатам измерений показателей подростка на пробной площадке.

**Алгоритм учёта и оценки лесовозобновления на пробных площадях.** Предлагаемый алгоритм учитывает опыт многих исследователей, посвятивших свои работы проблемам учёта и оценки лесовозобновления [1, 2, 4, 8, 9].

1. Первоначально введём обозначения:  $m$  – количество древесных пород на пробной площадке, ед.;  $i$  – индекс древесной породы,  $i=1,2,\dots,m$ ;  $j$  – номер учётной площадки на пробной площадке,  $j=1,2,3,\dots,k$ ;  $k$  – число учётных площадок на пробной площадке,  $k=16$ , или  $k=4,5,6,\dots$ ;  $a$  – индекс группы возраста подростка на учётной площадке,  $a=1,2,3,4$ ;  $h$  – индекс группы высот подростка на учётной площадке,  $h=1,2,3$ ;  $N$  – общее число благонадёжного подростка на пробной площадке, шт.;  $n_i$  – общее число благонадёжного подростка  $i$ -й древесной породы на пробной площадке, шт.;  $n_{ijah}$  – число благонадёжного подростка  $i$ -й древесной породы на  $j$ -й учётной площадке, возраста  $a$  и высоты  $h$ , шт.;  $n_j$  – число благонадёжного подростка на  $j$ -й учётной площадке, шт.;  $s_j^{cp}$  – средняя площадь, приходящаяся на единицу подростка на  $j$ -м квадрате,  $m^2$ ;  $SPP$  – величина пробной площадки, га;  $SUP$  – площадь одного квадрата (учётной площадки),  $m^2$ ;  $SUP=1, 4, 10, 100$ ;  $HPDR_h$  – группа высот подростка,  $h=1, 2, 3$ ;  $APDR_a$  – группа возраста подростка,  $a=1, 2, 3, 4$ ;  $V_{ij}$  – количество всходов  $i$ -й древесной породы на  $j$ -й учётной площадке, шт. на  $1 m^2$ ;  $C_{ij}$  – количество самосева  $i$ -й древесной породы на  $j$ -й учётной площадке, шт. на  $1 m^2$ ;  $HPDL$  – группа высот подлеска  $i$ -й породы,  $HPDL=1, 2, 3$ ;  $JPR$  – живой напочвенный покров, перечень;  $nn_{ijah}$  – число неблагонадёжного подростка  $i$ -й древесной породы на  $j$ -й учётной площадке, шт.;  $KP_i$  – число площадок, где число подростка  $i$ -й древесной породы  $> 0$ , шт.;  $W_i$  – встречаемость подростка  $i$ -й древесной породы.

\* Правила лесовосстановления: Утверждены Приказом МПР России от 16.07.2007 № 183. – М., 2007. – 28 с.

## 2. Расчётные формулы и обозначения для вычисления показателей подроста:

1) средняя площадь, приходящаяся на единицу подроста, м<sup>2</sup>;

$$S_0 = \frac{SPP}{N}, \quad (5)$$

где  $SPP$  – общая площадь пробной площади,  $SPP = SUP \cdot k$ , га;  $N$  – общее число подроста;

2) встречаемость подроста по  $i$ -й древесной породе

$$W_i = \frac{KP_i}{k} \cdot 100, \quad (6)$$

где  $KP_i$  – число площадок, где присутствует хотя бы 1 единица подроста  $i$ -й древесной породы, шт.;  $k$  – общее число площадок, шт.;

3) количество жизнеспособного подроста  $i$ -й древесной породы на 1 га по группам высот и группам возраста подроста на учётных площадках

$$n_{ih}^{12a} = \left( \sum_{j=1}^k \sum_{a=1}^4 \sum_{h=1}^3 n_{ijah} \right) / SPP; \quad (7)$$

4) средняя высота жизнеспособного подроста  $i$ -й древесной породы

$$HPDR_i = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{a=1}^4 (n_{ija1} \cdot HPDR1 + n_{ija3} \cdot HPDR2 + n_{ija5} \cdot HPDR3)}{n_i}, \quad (8)$$

где  $HPDR1=0,25$  м;  $HPDR2=1,0$  м;  $HPDR3=2,0$  м.;

5) средний возраст жизнеспособного подроста  $i$ -й древесной породы

$$APDR_i = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^3 (n_{ij1h} \cdot APDR1 + n_{ij2h} \cdot APDR2 + n_{ij3h} \cdot APDR3 + n_{ij4h} \cdot APDR4)}{n_i}, \quad (9)$$

где  $APDR1=5$  лет;  $APDR2=15$  лет;  $APDR3=25$  лет;  $APDR4=35$  лет;

6) относительное значение неблагоприятного подроста (%)

$$NNP_i = \frac{\left( \sum_{j=1}^k nn_{ijah} \right)}{n_i + NN_i} \cdot 100, \quad (10)$$

где  $nn_{ijah}$  – число неблагоприятного подроста на  $j$ -й учётной площадке по  $i$ -й древесной породе, шт.;  $NN_i$  – общее число неблагоприятного подроста  $i$ -й древесной породы, шт.;

7) количество всходов на 1 га

$$V_i = \left[ \left( \sum_{j=1}^k V_{ij} \right) / k \right] \cdot 10000; \quad (11)$$

8) количество самосева на 1 га

$$C_i = \left[ \left( \sum_{j=1}^k C_{ij} \right) / k \right] \cdot 10000; \quad (12)$$

9) перерасчёт количества подроста различной высоты к крупному жизнеспособному подросту

$$n_i^k = \sum_{j=1}^k (n_{ij} \cdot KHML + n_{ij} \cdot KHSR + n_{ij} \cdot KHKR), \quad (13)$$

$$N_{\text{общ}}^k = \sum_{i=1}^m n_i^k,$$

где  $KHML=0,5$ ;  $KHSR=0,8$ ;  $KHKR=1,0$ , ед.;  $n_i^k$  – количество подростка  $i$ -й древесной породы, приведённого к крупному подросту, шт.;

10) энтропия разнообразия и пространственной структуры подростка на пробной площади

$$H = - \sum_{i=1}^m \frac{s_i}{SPP} \log_2 \frac{s_i}{SPP}, \quad (14)$$

где  $s_i = \sum_{j=1}^k n_{ij} \cdot s_j^{cp}$ ,  $s_j^{cp} = \sum_{i=1}^m s_{ki} / n_{ij}$ ;

11) максимальное значение энтропии характеристики разнообразия древесных пород, участвующих в возобновлении леса

$$H_{\text{max}} = \log_2 m; \quad (15)$$

12) мера абсолютной организованности распространения подростка

$$H_1 = H_{\text{max}} - H; \quad (16)$$

13) показатель относительной энтропии, изменяется от 0 до 1

$$H_2 = \frac{H}{H_{\text{max}}}; \quad (17)$$

14) мера относительной организованности распространения подростка

$$H_3 = 1 - H_2, \quad (18)$$

если  $H_3 < 0,1$  – появление подростка на лесном участке носит вероятностный характер;

$0,1 < H_3 < 0,3$  – появление подростка на лесном участке носит вероятностно-детерминированный характер;

$H_3 > 0,3$  – появление подростка на лесном участке носит детерминированный характер;

15) характеристика пространственной структуры подростка на пробной площади определяется по значению индекса М. Морисита и рассчитывается по формуле [19]

$$I_M = k \cdot \frac{\sum_{j=1}^k n_j \cdot (n_j - 1)}{N(N - 1)}, \quad (19)$$

где  $n_j$  – число жизнеспособного подростка на  $j$ -й учётной площадке;  $N$  – общее число жизнеспособного подростка на пробной площади, шт.;  $k$  – число учётных площадок на пробной площади, шт.

Алгоритм расчёта количественных и качественных показателей подростка является основой для дальнейших работ по автоматизации камеральных работ по оценке лесовозобновления на лесном участке.

**Выводы.** Предложена квадротомическая модель данных для учёта и оценки подростка на пробных площадях. Применение этой модели позволяет уменьшить изменчивость встречаемости подростка за счёт генерализации первичных данных на двух иерархических уровнях. Теоретически число учётных площадок и, следовательно, общая площадь пробной площади увеличивается на 31,5 % от исходной.

Экспериментально установлено, что после генерализации исходных данных учётных площадок систематическая погрешность оценки встречаемости подростка составила +6,5 %, случайная ошибка равна  $\pm 6,8$  %, а для всех случаев  $\pm 1,31$  %.

Использование энтропийно-информационного анализа результатов измерений на учётных площадках позволяет оценить организованность появления подростка и его пространственную структуру через меру относительной энтропии и индекс М. Морисита.

Приведённый алгоритм расчёта количественных и качественных показателей подростка на пробной площади предлагается использовать при разработке автоматизированной информационной подсистемы «Подрост».

## Список литературы

1. Крюденер, А. А. Сплошные и семенно-лесосечные рубки в типах насаждений приволжских губерний лесостепной области с преимущественно сосновым древостоем (в Симбирской, Пензенской, Саратовской и Самарской губерниях) Доклад / А. А. Крюденер. – Санкт-Петербург, 1910. – 72 с.
2. Денисов, С.А. Естественное возобновление сосны в Пензенской области / С.А. Денисов, В.М. Егоров. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 168 с.
3. Белов, С.В. Применение методов математической статистики при учёте естественного возобновления / С.В.Белов // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение. – 1973. – Вып. 2. – С. 3-11.
4. Грязькин, А.В. Патент № 2084129, Российская Федерация, МКИ С 6 А 01 G 23/00. Способ учета подроста / А.В. Грязькин. – №94022328/13; Заяв. 10.06.94; Оpub. 20.07.97, Бюл. № 20.
5. Мартынов, А.Н. О методике определения показателя встречаемости подроста / А.Н. Мартынов// Лесное хозяйство. –1984. –№ 11. – С. 29-31.
6. Санников, Ю. Г. Способ оценки естественного возобновления / Ю. Г. Санников, А. С. Баранцев // Лесное хозяйство. – 1983. – № 10. – С. 38.
7. Сухих, В. И. Лесоустройство / В. И. Сухих, В. Л. Черных. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. – 400 с.
8. Черных, В.Л. Геоинформационные системы в лесном хозяйстве / В. Л. Черных. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. –200 с.
9. Черных, В.Л. Информационные технологии в лесном хозяйстве / В. Л. Черных, М.В. Устинов, М.М. Устинов [и др.] – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – 144 с.
10. Гайдышев, И.П. Решение научных и инженерных задач средствами Excel, VBA и C++ / И.П. Гайдышев. – СПб: БХВ-Петербург, 2004. – 512 с.
11. Цветков, В.Я. Геоинформационные системы и технологии / В.Я. Цветков. –М.: Финансы и статистика, 1998. – 288 с.
12. Денисенко, С.Г. Информационная мера Шеннона и ее применение в оценках биоразнообразия (на примере морского зообентоса) / С.Г. Денисенко. – СПб., 2006 [Исследования фауны морей, Т. 56 (64)]. – С.35-46.
13. Волькенштейн, М.В. Энтропия и информация / М.В. Волькенштейн. – М.: Наука, 1986. – 192 с.
14. Викторов, А. С. Рисунок ландшафта / А. С. Викторов. – М.: Мысль, 1986. – 179 с.
15. Shannon, C. E. The mathematical theory of communication / C. E. Shannon, W. Weaver. – Urbana, 1949. – 117 p.
16. Hartley, R.V.L. Transmission of information R.V.L. Hartley // Bell System Technical Journal. 1928. – Vol. 7. – Pp. 535–563.
17. Wiener, N. Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine / N. Wiener. – New York: The Technology Press and John Wiley & Sons, Inc. – Paris: Hermann et Cie, 1948. – 212 p.
18. Корогодин, В. И. Информация как основа жизни / В.И. Корогодин, В.Л. Корогодина. – Дубна: Издательский центр «Феникс», 2000. – 208 с.
19. Крамаренко, С.С. Особенности использования энтропийно-информационного анализа для количественных признаков биологических объектов / С.С. Крамаренко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2005. – Т. 7, № 1. – С. 242-47.
20. Morisita, M. Measuring the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns / M. Morisita // Mem.Fac.Sci.Kyushu Univ. – 1959. – Ser. E 2. – Pp. 215-235.

Статья поступила в редакцию 10.08.15.

## Информация об авторе

**ЧЕРНЫХ Леонид Валерьевич** – аспирант кафедры лесоводства и лесоустройства, Приволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – таксация леса и лесовосстановление, ГИС-технологии в лесном хозяйстве. Автор 14 публикаций.

UDC 630\*52

# ALGORITHM OF ENTROPIC-INFORMATION ANALYSIS OF QUALITATIVE AND QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF YOUNG TREES IN THE SAMPLE AREAS

*L. V. Chernykh*

Volga State University of Technology,  
3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation  
E-mail: leonch1k89@mail.ru

**Key words:** young trees; resiliency; forest plantations; entropy; frequency of young trees; algorithm; forest regeneration; forest restoration; forest management.

## ABSTRACT

**Introduction.** Intensive business model needs solution of the problem of successful natural forest regeneration. Accuracy and adequateness of forest regeneration assessment determine the quality of design decision in the course of forest surveying and forest management. Thus, elaboration of a single approach to the problem is of current importance. **The goal of the research** includes elaboration of an algorithm for the analysis of qualitative and quantitative characteristics of young trees. **Materials and methods.** An entropic-information approach and quadtree model of spacial data about young trees were a theoretical basis for the algorithm elaboration aimed at forest regeneration assessment. The data collected from 35 sample areas were used to test an accounting methods and to assess young trees. **Results and discussion.** Using the method of generalization and abstraction, it is possible to bring a lot of data about young trees to the final volume of the initial data subjected to an assessment and analysis. The quadtree model of data used for young trees inventory with the subsequent generalization of the first measurement results at a sample area improves accuracy of estimation of occurrence and self-organization of a new generation of trees. The quadtree model of data makes it possible to calculate the indices of entropy and Morisita index when inventory of young trees. The experiment showed that the entropy in 16 quadrats varied within -8,8 ... +17,9 % (in comparison with entropy assessment in 21 quadrats). **Conclusion.** The algorithm for young trees inventory and forest regeneration assessment was elaborated. The algorithm is based on the entropic-information analysis of young trees distribution. This approach allows to estimate an organized nature of young trees growth and its spatial structure through the measure of relative entropy and Morisita index. The experiment showed that after generalization of the initial data of quadrats constant error for young trees occurrence estimation was +6,5%, random error  $\pm 6,8\%$ , for all the cases  $\pm 1,31$ . The algorithm for calculation of qualitative and quantitative characteristics of young trees at a sample area is offered to use when elaboration of an automated information subsystem «Podrost».

## REFERENCES

1. Krudener A. A. *Sploshnye i semennolesosechnye rubki v tipakh nasazhdeniy privolzhskikh guberniy lesostepnoy oblasti s preimushchestvenno osnovym drevostoem (v Simbirskoy, Penzenskoy, Saratovskoy i Samarskoy guberniyakh): doklad* [Clear Felling and Shelterwood Felling in Different Plantations of Volga Regions Located in Forest-Steppe Zone Where Pine Stands Predominate (Siberian, Penza, Saratov, and Samara Provinces): report]. Saint-Petersburg, 1910. 72 p.
2. Denisov S.A., Egorov V.M. *Estestvennoe vozobnovlenie sosny v Penzenskoy oblasti* [Natural Regeneration of Pine in Penza Oblast]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2005. 168 p.
3. Belov S.V. *Primenenie metodov matematicheskoy statistiki pri uchete estestvennogo vozobnovleniya* [Application of the Mathematical Statistics Methods When Defining Natural Regeneration]. *Lesovodstvo, lesnye kultury i pochvovedenie* [Forestry, Forest Plantations and Pedology]. Leningrad, 1973. Issue 2. Pp. 3-11.
4. Gryazkin A.V. *Sposob ucheta podrosta* [A Way for Young Trees Inventory] Patent RF, no. 2084129, 1997.
5. Martynov A.N. *O metodike opredeleniya pokazatelya vstrechaemosti podrosta* [On the Methods for Defining the Young Trees Occurrence]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1984. № 11. Pp. 29-31.
6. Sannikov Yu. G., Barantsev A.S. *Sposob otsenki estestvennogo vozobnovleniya* [A Way to Assess Natural Regeneration]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1983. № 10. P. 38.

7. Sukhikh V. I., Chernykh V.L. *Lesoustroystvo* [Forest Surveying]. Yoshkar-Ola: PGU, 2014. 400 p.
8. Chernykh V.L. *Geoinformatsionnye sistemy v lesnom khozyaystve* [Geoinformation Systems in Forestry]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2007. 200 p.
9. Chernykh V.L., Ustinov M.V., Ustinov M.M. et al. *Informatsionnye tekhnologii v lesnom khozyaystve* [IT in Forestry]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2009. 144 p.
10. Gaidyshev I.P. *Reshenie nauchnykh i inzhenernykh zadach sredstvami Excel, VBA i C\_S++* [Solution of the Scientific and Engineering Problems by Means of Excel, VBA and C\_C++]. Saint-Petersburg: BKHV-Peterburg, 2004. 512 p.
11. Tsvetkov V.Ya. *Geoinformatsionnye sistemy i tekhnologii* [Geoinformation Systems and Technologies]. Moscow: Finansy i statistika, 1998. 288 p.
12. Denisenko S.G. Informatsionnaya mera Shennona i ee primeneniye v otsenkakh bioraznoobraziya (na primere morskogo zoobentosa [Shannon Information Measure and its Application for Biodiversity Assessment (on the example of zoobenthos)]. *Issledovanie fauny morey* [Marine Fauna Investigation]. Saint-Petersburg, 2006, Vol. 56 (64). Pp. 35-46
13. Volkenstein M.V. *Entropiya i informatsiya* [Entropy and Information]. Moscow: Nauka, 1986. 192 p.
14. Viktorov A. S. *Risunok landshafta* [Landscape Design]. Moscow: Mysl, 1986. 179 p.
15. Shannon, C. E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana, 1949. 117 p.
16. Hartley R.V.L. Transmission of information. *Bell System Technical Journal*. 1928. Vol. 7. Pp. 535–563.
17. Wiener N. Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine. New York: The Technology Press and John Wiley & Sons, Inc. Paris: Hermann et Cie, 1948. 212 p.
18. Korogodin V. I., Korogodina V. L. *Informatsiya kak osnova zhizni* [Information as the Living Base]. Dubna: Izdatelskiy tsentr «Feniks», 2000. 208 p.
19. Kramarenko S.S. Osobennosti ispolzovaniya entropiyno-informatsionnogo analiza dlya kolichestvennykh priznakov biologicheskikh obektov [Peculiarities of Entropic-Information Analysis Use for the Qualitative Characters of Bioobjects]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [News of the Samara Research Center, RAS. 2005]. 2005. Vol. 7, № 1. Pp. 242-47.
20. Morisita M. Measuring the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. *Mem.Fac.Sci.Kyushu Univ*. 1959. Ser. E 2. Pp. 215-235.

The article was received 10.08.15.

**Citation for an article:** Chernykh L. V. Algorithm of entropic-information analysis of qualitative and quantitative characteristics of young trees in the sample areas. *Vestnik of Volga State University of Technology*. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2015. No 3 (27). Pp. 42-54.

#### Information about the author

*CHERNYKH Leonid Valeryevich* – Postgraduate student at the Chair of Forestry and Forest Management, Volga State University of Technology. Research interests – forest taxation (valuation) and forest restoration, GIS-technologies in forestry. The author of 14 publications.

## ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630\*378

### ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИЙ В ТАКЕЛАЖНОЙ ОСНАСТКЕ ПЛАВАЮЩЕЙ ДВУХЯРУСНОЙ ПАКЕТНОЙ СПЛОТОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ

**С. В. Посыпанов**

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
Лесотехнический институт,  
Российская Федерация, 163002, Архангельск, набережная Северной Двины, 17  
E-mail: s.posypanov@narfu.ru

*С целью обеспечения необходимой прочности плавающих двухярусных пакетных сплотночных единиц получены расчётные зависимости для определения усилий в ветвях их пакетных обвязок. Выявлены наиболее нагруженные ветви пакетных обвязок. Приведены графические материалы для упрощения соответствующих практических расчётов. Обоснована рекомендация подбора сечения внешних пучковых обвязок по усилию их утяжки при сплотке.*

**Ключевые слова:** лесосплав; вода; круглые лесоматериалы; пакет; пучок; сплотночная единица; такелаж; обвязка; прочность; эластика; сыпучая среда.

**Введение.** Технологии, основанные на применении двухярусных пакетных сплотночных единиц (рис. 1), позволяют использовать экономические преимущества водного транспорта [1, 2] даже небольшим лесозаготовителям, доля которых в общем объёме лесозаготовок в настоящее время существенно увеличилась. Появилась возможность формирования сплотночных единиц нужных габаритов с помощью лесопогрузчиков, которые есть у большинства лесозаготовителей. Закупка специализированной техники, оправданная лишь при больших объёмах сплотки, в этом случае не требуется. Кроме того, после прекращения молевого сплава из лесотранспортного использования были практически выведены средние

и малые реки, обеспечивающие экономическую доступность спелых и перестойных лесов, основная часть которых находится на значительном удалении. Идёт поиск решений по экологически безопасному лесотранспортному использованию таких рек. Очевидно, что на средних и малых реках сплотка лесоматериалов на отдельных участках наиболее вероятна в небольших объёмах, то есть и здесь имеются перспективы у указанных технологий.

Сплотка двухярусных пакетных пучков предусматривается как на зимних плотбищах, так и на воде, в том числе на переформировочных рейдах при организации экологически безопасного лесотранспорта по средним и малым рекам. Поступление круглых лесоматериалов к

© Посыпанов С. В., 2015.

**Для цитирования:** Посыпанов С. В. Исследование усилий в такелажной оснастке плавающей двухярусной пакетной сплотночной единицы // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 3 (27). – С. 55-64.

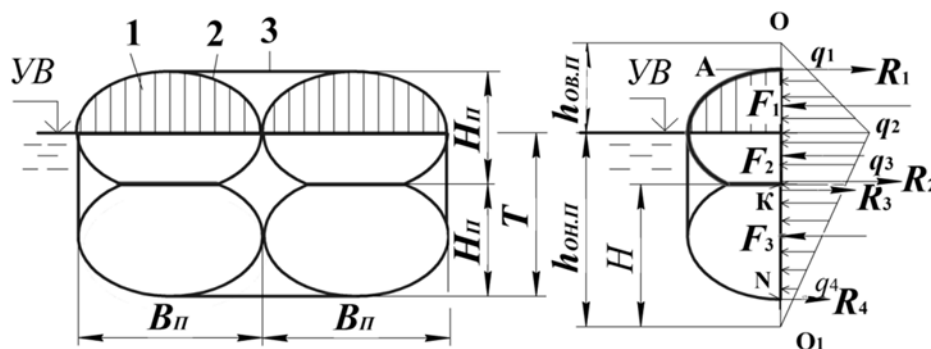


Рис. 1. Расчётная схема плавающей двухъярусной пакетной сплottedной единицы: 1 – пакет; 2 – обвязка пакетная; 3 – обвязка пучковая

таким рейдам предполагается в пакетах с малой осадкой с притока или верхнего мелководного участка реки. Дальнейшая транспортировка лесоматериалов на большое расстояние в таких пакетах может быть экономически нецелесообразной. Выйти из положения позволяет формирование из пакетов двухъярусных сплottedных единиц. Делать это можно без больших затрат с высокой производительностью.

Упомянутые технологии при незначительных недостатках имеют ещё целый ряд существенных достоинств, которые подробно рассмотрены в работе [3]. Приведённые положения подтверждены в ходе успешного внедрения разработок на предприятиях в верховьях р. Пинеги Северо-Двинского бассейна [3, 4].

Транспортировка древесины без потерь в предлагаемых сплottedных единицах предполагает правильную оценку их прочности, что невозможно без информации об усилиях в их такелажной оснастке. Исследованию прочностных характеристик сплottedных единиц посвящено немало работ [5–11]. Однако в них, как правило, рассматриваются отдельные пакеты (пучки) лесоматериалов на плаву или на твёрдом основании. Результаты некоторых работ существенно отличаются друг от друга. Тем не менее, полученная из них информация оказалась весьма полезной. Об исследованиях плавающих двухъярусных пакетных сплottedных единиц при литературном поиске никакой информации

не обнаружено. Здесь мы рассматриваем указанные сплottedные единицы, сформированные на воде.

**Цель работы** – получение информации, необходимой для обеспечения достаточной прочности такелажа двухъярусных пакетных пучков навигационной сплottedки. Для достижения указанной цели были поставлены следующие **задачи**:

- 1) получить математические зависимости для определения усилий в ветвях пакетных обвязок плавающей сплottedной единицы;
- 2) установить характер влияния определяющих факторов на величину усилий в обвязках пакетов;
- 3) выявить наиболее нагруженные ветви пакетных обвязок;
- 4) подготовить графические материалы для упрощения практических расчётов;
- 5) обосновать выбор усилия для подбора сечения внешних обвязок пакетной сплottedной единицы.

**Метод исследования** – теоретический. В данной работе применили свою методику, основанную на совместном использовании теорий эластик [7, 11, 12] и сыпучей среды [13, 14]. В пользу этой методики и в пользу достоверности полученных с её помощью результатов свидетельствует то, что она была апробирована нами при подобных исследованиях отдельного пакета круглых лесоматериалов, находящегося на горизонтальном основании [15], на плаву, и в обоих случаях наши результаты, полученные теоретиче-

ским путём, хорошо совпали с результатами экспериментальных исследований.

Обратимся к расчётной схеме, приведённой на рис. 1. Нижние пакеты у плавающего пучка находятся под водой. На все их лесоматериалы действует вертикальная выталкивающая сила и сила тяжести. Их равнодействующая уравновешивается реакцией со стороны верхних пакетов. Верхние пакеты частично выступают над водой. Их надводная часть находится под воздействием силы тяжести, на подводную часть кроме того действует вертикальная выталкивающая сила. Равнодействующая этих сил уравновешивается реакцией со стороны нижних пакетов. Под воздействием упомянутых сил пакеты сжимаются в вертикальном направлении, в результате чего в них возникают силы распора [13, 14], которые уравновешиваются реакциями в такелажной оснастке.

В общем случае усилия распора уравновешиваются реакциями в пакетных обвязках и во внешних обвязках пучка. В первых натяжение будет наибольшим при отсутствии вторых или их ослаблении по каким-либо причинам. Подобная ситуация может возникнуть перед наложением пучковых обвязок в процессе сплотки, при снятии их перед выгрузкой пакетов или по другим технологическим причинам, при разрыве пучковых обвязок в аварийных ситуациях. Учитывая это, рассмотрим вариант, при котором усилия распора уравновешиваются только реакциями в пакетных обвязках. На расчётной схеме (рис. 1) отражены горизонтальные давления и силы, действующие в наиболее высоком продольном вертикальном сечении пакетов, делящем их на две равные части. Совокупность лесоматериалов в пакетах рассматриваем как сыпучую среду. Вертикальное давление  $p$  в этой среде линейно возрастает по мере приближения к поверхности воды. Для надводной части верхнего пакета запишем

$$p = \rho_L g \eta h_{OH}, \quad (1)$$

для нижнего пакета и подводной части верхнего

$$p = (\rho_B - \rho_L) g \eta h_{OH}, \quad (2)$$

где  $\rho_L$  – плотность лесоматериалов;  $\rho_B$  – плотность воды;  $\eta$  – коэффициент полноты лесоматериалов;  $g$  – ускорение свободного падения;  $h_{OB}$  и  $h_{OH}$  – расстояния рассматриваемых точек по вертикали соответственно от точек  $O$  и  $O_1$  (рис. 1), лежащих в пьезометрических плоскостях с нулевым давлением сыпучей среды.

Определимся с положением точек  $O$  и  $O_1$  относительно поверхности воды, то есть с величинами  $h_{OB.П}$  и  $h_{OH.П}$

$$h_{OH.П} = H + (T - H_{П}), \quad (3)$$

где  $H_{П}$  – высота пакета;  $T$  – осадка пучка;  $H$  – превышение границы между нижними и верхними пакетами над точкой  $O_1$ .

В данном случае осадку пучка можно определить из выражения

$$T = 2H_{П} \rho_0 \zeta, \quad (4)$$

где  $\rho_0$  – относительная плотность лесоматериалов;  $\rho_0 = \rho_L / \rho_B$ ;  $\zeta$  – коэффициент не пропорциональности между высотой и осадкой пучка.

Перепишем формулу (3) с учётом (4)

$$h_{OH.П} = H + H_{П} (2 \rho_0 \zeta - 1). \quad (5)$$

Для решения вопроса о величине  $H$  обратимся к эластической теории [7, 11, 12], уравнениям и положениям, приведённым нами в работе [15]. В данном случае нижний пакет можно считать аналогичным пакету, уложенному на твёрдом основании в отсутствие воды. Только здесь имеем перевернутую картину. Основание пакета размещено сверху, сжимающее усилие действует снизу, снизу находится и соответствующая пьезометрическая плоскость с точкой  $O_1$ . Плотность сыпучей среды при этом равна  $\rho_B - \rho_L$ . Величина  $H$  – так называемая характерная высота [7, 11, 15], связанная с высотой пакета выражением

$$H_{П} = 2H \sin^2 \frac{\Theta}{2}, \quad (6)$$

где  $\Theta$  – модулярный угол, характеризующий форму поперечного сечения пакета [7, 11, 15].

Нами было введено понятие относительной характерной высоты

$$h_p = \frac{H}{H_{\Pi}}, \quad (7)$$

что позволило в дальнейшем уменьшить количество варьируемых факторов.

С учётом выражения (6)

$$h_p = \frac{H}{2H \sin^2 \frac{\Theta}{2}} = \frac{1}{2 \sin^2 \frac{\Theta}{2}}. \quad (8)$$

Согласно формуле (8), относительная характерная высота  $h_p$  зависит только от модулярного угла  $\Theta$ , то есть от формы поперечного сечения пакета, которую на практике принято характеризовать его коэффициентом формы  $C$ . Измерение угла  $\Theta$  реального пакета весьма проблематично. Связь коэффициента  $C$  с углом  $\Theta$  отражает формула

$$C = \frac{B_{\Pi}}{H_{\Pi}} = \frac{1}{2} \left( (2 - \sin^2 \Theta) (K - F(\Theta, 45^\circ)) - \right. \\ \left. - 2(E - E(\Theta, 45^\circ)) \operatorname{cosec}^2 \frac{\Theta}{2} \right), \quad (9)$$

где  $B_{\Pi}$  – ширина пакета;  $K$ ,  $E$  – полные эллиптические интегралы [12, 16];  $E(\Theta, 45^\circ)$ ,  $F(\Theta, 45^\circ)$  – неполные эллиптические интегралы при величине угла, изменяющегося вдоль эластике, равной  $45^\circ$ , что соответствует крайней левой точке поперечного профиля пакета.

Выразить  $h_p$  непосредственно через  $C$  с помощью аналитических формул невозможно. При этом, как было отмечено,  $h_p$ , а согласно выражению (9), и  $C$  зависят только от угла  $\Theta$ , поэтому по формулам (8), (9) рассчитали значения  $h_p$  и  $C$  для ряда величин модулярного угла  $\Theta$ . Результаты вычислений аппроксимировали с хорошей достоверностью. Для диапазона  $C=1,50...3,00$ , соответствующего речным условиям, получили выражение

$$h_p = -0,136C^3 + 1,275C^2 - \\ -3,921C + 5,057, \quad (10)$$

для  $C=1,16...1,50$ , то есть для озёрных условий

$$h_p = -46,35C^3 + 202,4C^2 - \\ -296,4C + 147,2. \quad (11)$$

В первом случае достоверность аппроксимации  $R^2 = 0,996$ , во втором –  $R^2 = 0,999$ .

Согласно формулам (1) и (2), вертикальное давление сыпучей среды на уровне поверхности воды  $p_2$  связано с  $h_{ОВ.П}$  и  $h_{ОН.П}$  зависимостями

$$p_2 = \rho_{\Pi} g \eta h_{ОВ.П}; \quad (12)$$

$$p_2 = (\rho_B - \rho_{\Pi}) g \eta h_{ОН.П}. \quad (13)$$

Из выражений (12) и (13) получили

$$h_{ОВ.П} = \frac{\rho_B - \rho_{\Pi}}{\rho_{\Pi}} h_{ОН.П}. \quad (14)$$

Горизонтальное давление  $q$  в сыпучей среде пропорционально вертикальному [13, 14]

$$q = p \lambda_a, \quad (15)$$

где  $\lambda_a$  – коэффициент активного давления.

Эпюра горизонтальных давлений представлена на рис. 1.

С учётом формул (1), (2) и (15) получили выражения для определения горизонтальных давлений сыпучей среды в рассматриваемом сечении на уровне верха пучка  $q_1$ , на уровне поверхности воды  $q_2$ , на границе между верхним и нижним пакетами  $q_3$  и на уровне низа пучка  $q_4$ :

$$q_1 = \rho_{\Pi} g \eta (h_{ОВ.П} + T - 2H_{\Pi}) \lambda_a; \quad (16)$$

$$q_2 = (\rho_B - \rho_{\Pi}) g \eta h_{ОН.П} \lambda_a; \quad (17)$$

$$q_3 = (\rho_B - \rho_{\Pi}) g \eta H \lambda_a; \quad (18)$$

$$q_4 = (\rho_B - \rho_{\Pi}) g \eta (H - H_{\Pi}) \lambda_a. \quad (19)$$

Равнодействующие горизонтального давления для надводной части верхнего пакета  $F_1$ , для его подводной части  $F_2$  и для нижнего пакета  $F_3$  можно определить по формулам

$$F_1 = 0,5(q_1 + q_2)(2H_{\Pi} - T)L, \quad (20)$$

$$F_2 = 0,5(q_2 + q_3)(T - H_{\Pi})L, \quad (21)$$

$$F_3 = 0,5(q_3 + q_4)H_{\Pi}L, \quad (22)$$

где  $L$  – длина пакета.

Силы  $F_1$  и  $F_2$  уравниваются реакциями в обвязках верхнего пакета  $R_1$  и  $R_2$ , а сила  $F_3$  – реакциями  $R_3$  и  $R_4$  в обвязках нижнего.

Записали уравнения моментов сил для верхнего пакета относительно точек А и К

$$R_2 H_{II} - F_1 (2H_{II} - T) \frac{\frac{1}{3}q_1 + \frac{2}{3}q_2}{q_1 + q_2} - F_2 \left( 2H_{II} - T + \frac{\frac{1}{3}q_2 + \frac{2}{3}q_3}{q_2 + q_3} (T - H_{II}) \right) = 0, \quad (23)$$

$$F_1 \left( \frac{\frac{2}{3}q_1 + \frac{1}{3}q_2}{q_1 + q_2} (2H_{II} - T) + (T - H_{II}) \right) + F_2 \frac{\frac{2}{3}q_2 + \frac{1}{3}q_3}{q_2 + q_3} (T - H_{II}) - R_1 H_{II} = 0, \quad (24)$$

для нижнего – относительно точек К и N

$$R_4 H_{II} - F_3 \frac{\frac{1}{3}q_3 + \frac{2}{3}q_4}{q_3 + q_4} H_{II} = 0, \quad (25)$$

$$F_3 \frac{\frac{2}{3}q_3 + \frac{1}{3}q_4}{q_3 + q_4} H_{II} - R_3 H_{II} = 0. \quad (26)$$

Выразили реакции в обвязках из (23) – (26), выполнили подстановки с использованием (3) – (5), (7), (14), (16) – (22) и после алгебраических преобразований получили общую формулу для определения усилий в ветвях пакетных обвязок

$$R_i = H_{II}^2 L \eta \lambda_a K_{IIi}. \quad (27)$$

Величину  $K_{IIi}$  назвали коэффициентом натяжения  $i$ -й ветви пакетной обвязки, где  $i$  – порядковый номер ветви при нумерации их сверху вниз. В рассматриваемых условиях  $K_{IIi}$  зависят только от плотности лесоматериалов  $\rho_L$  и от коэффициента формы пакетов  $C$ .

$$K_{II1} = g \rho_L \left( 2D \left( \left( AB + \frac{2}{3}S \right) D + E(AB + 0,5S) \right) + 0,5AE^2 \left( h_p + B \right) \frac{\frac{2}{3}B + \frac{1}{3}h_p}{B + h_p} \right), \quad (28)$$

$$K_{II2} = 0,5g \rho_L \left( \left( 2A(h_p + E) + S \right) \times S^2 \frac{A(h_p + E) + \frac{1}{3}S}{2A(h_p + E) + S} + \right. \quad (29)$$

$$\left. + AE(2h_p + E) \left( \frac{h_p + \frac{1}{3}E}{2h_p + E} E - S \right) \right),$$

$$K_{II3} = 0,5g \rho_L A \left( h_p - \frac{1}{3} \right), \quad (30)$$

$$K_{II4} = 0,5g \rho_L A \left( h_p - \frac{2}{3} \right), \quad (31)$$

В формулах (28) – (31)  $A=1/\rho_0-1$ ;  $B=h_p+2\rho_0\zeta-1$ ;  $S=2\rho_0\zeta-2$ ;  $D=1-\rho_0\zeta$ ;  $E=2\rho_0\zeta-1$ .

При практических расчётах значения  $K_{IIi}$  удобнее определять по графикам. Графики, востребованность которых более вероятна, приведены ниже.

Коэффициент активного давления сыпучей среды определяют, используя выражение [13, 14]

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_{mp}}{2} \right), \quad (32)$$

где  $\varphi_{mp}$  – угол внутреннего трения сыпучей среды.

Для еловых круглых лесоматериалов этот угол равен  $29^\circ$ , для сосновых –  $26^\circ$  [11], соответствующие значения  $\lambda_a$  0,347 и 0,391.

**Интерпретация результатов.** Оценивая влияние определяющих факторов на натяжение обвязок пакетов плавающей сплоченной единицы, с учётом формулы (27) отметим, что зависимость указанных

натяжений от длины пакетов линейная, от высоты пакетов – квадратичная. Ширина пакетов явно в формуле не присутствует, но учитывается через их коэффициент формы  $C$ . От  $C$  зависят коэффициенты натяжения ветвей пакетных обвязок  $K_{Пi}$ . Характер этих зависимостей иллюстрируют графики, представленные на рис. 2. По ним видно, что с уменьшением коэффициента формы пакетов натяжение в их обвязках возрастает. Причём наиболее интенсивный рост отмечается при малых коэффициентах формы, характерных для озёрных условий.

В случаях, когда необходимо определить усилия не только в наиболее нагруженной ветви обвязок пакетов, например, при условии учёта положения пакетов в пучке или при оценке, так называемой, продольной прочности сплочной единицы, может потребоваться знание  $K_{П1}$ ,  $K_{П2}$ ,  $K_{П3}$ ,  $K_{П4}$ . Тогда при практических расчётах можно воспользоваться графиками, приведёнными на рис. 2. Они соответствуют случаю, когда плотность лесоматериалов равна  $800 \text{ кг/м}^3$ . Именно такое значение плотности обычно принимают при обосновании лесосплавных мероприятий, если по этому показателю нет каких-либо особых требований.

Продолжая анализировать формулу (27), отметим, что зависимость натяжений

в обвязках пакетов от коэффициента их полнодревесности  $\eta$  линейная. Принимая во внимание ещё и выражение (32), а также приведённую выше информацию по углам внутреннего трения круглых лесоматериалов, можем утверждать, что усилия в обвязках у еловых пакетов меньше, чем у сосновых при прочих равных условиях.

По графикам, приведённым на рис. 2, видно, что у плавающего пучка, в отличие от случая расположения его на суше, обвязки верхних пакетов нагружены больше, чем нижних. При этом усилия в нижних ветвях обвязок верхних пакетов больше, чем в верхних ветвях. У нижних пакетов больше нагружены верхние ветви обвязок. Это характерно не только для случая, когда плотность лесоматериалов равна  $800 \text{ кг/м}^3$ . Графики, представленные на рис. 3, демонстрируют, что приведённая информация справедлива в диапазоне  $\rho_{Л} = 685\text{--}900 \text{ кг/м}^3$ . Указанные графики построены для довольно распространённого в речных условиях варианта, когда  $C=2$ . Однако проверка показала, что картина принципиально не меняется при любых реальных значениях коэффициента  $C$ , то есть практически всегда у плавающего пакетного пучка наиболее нагруженными являются нижние ветви обвязок верхних пакетов.

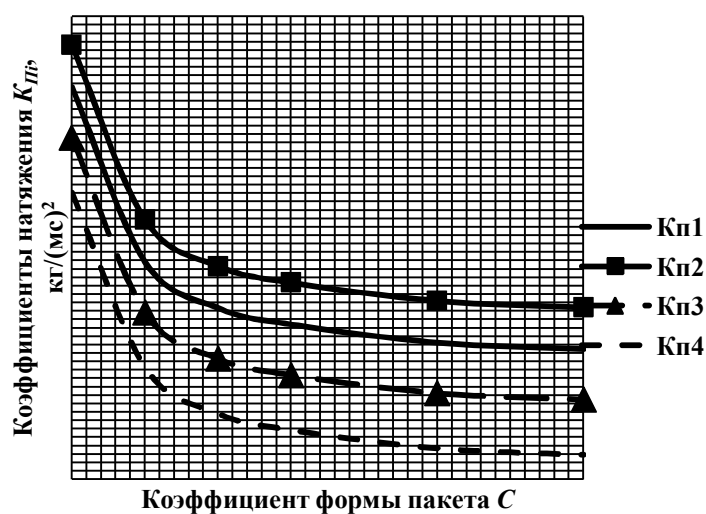


Рис. 2. Графики зависимостей коэффициентов  $K_{Пi}$  от коэффициента формы пакетов  $C$  при плотности лесоматериалов  $\rho_{Л}=800 \text{ кг/м}^3$

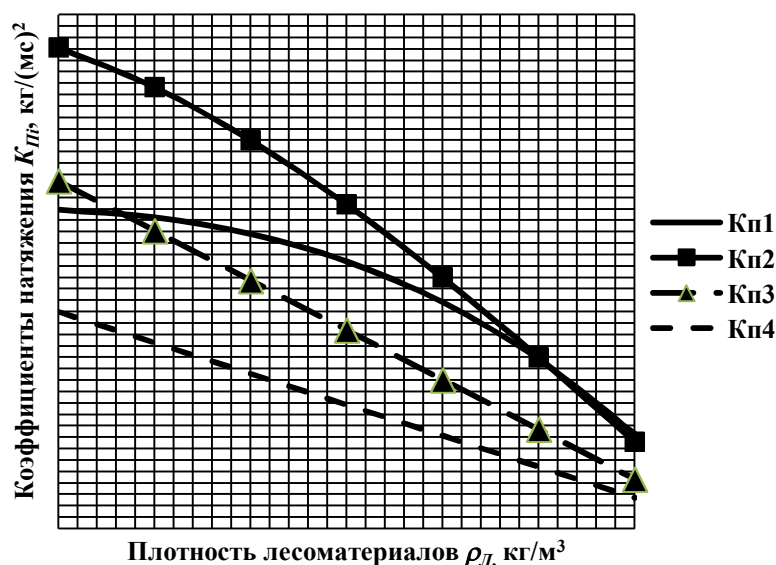


Рис. 3. Зависимости  $K_{П1}$  от плотности лесоматериалов  $\rho_L$  при  $C=2,0$

Графики на рис. 3 также демонстрируют, что в отличие от случая размещения пакетного пучка на твёрдом основании в данной ситуации с увеличением плотности лесоматериалов усилия в пакетных обвязках уменьшаются. Причём для обвязок нижних пакетов зависимость линейная.

В типичном случае, когда для всех пакетов подбирают одинаковые обвязки

независимо от их предполагаемого положения в пучке и сечение обвязок неизменно по длине, за расчётное следует принимать натяжение в наиболее нагруженной ветви обвязки. Как выяснили ранее, при  $\rho_L$  не более  $900 \text{ кг/м}^3$  это натяжение  $R_2$ . В ходе его вычисления  $K_{П2}$  при различных значениях  $\rho_L$  и  $C$  можно определить по графикам, приведённым на рис. 4.

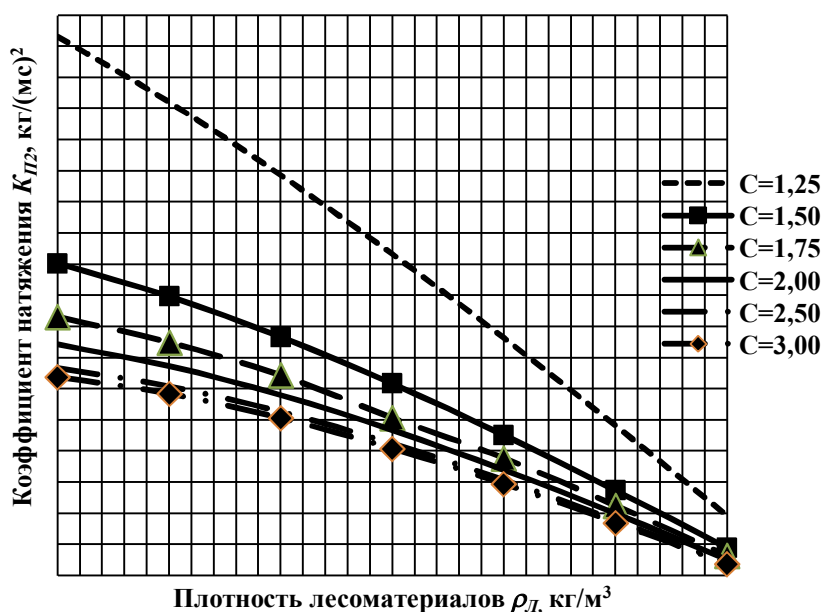


Рис. 4. Графики зависимостей коэффициента  $K_{П2}$  от плотности лесоматериалов  $\rho_L$  при различных коэффициентах формы пакетов  $C$

Внешние пучковые обвязки в процессе их утяжки перед замыканием на пучке испытывают нагрузки большие, чем после замыкания, так как в первом случае преодолеваются силы пассивного отпора сыпучей среды, во втором – уравниваются силы активного распора, которые существенно меньше первых. Помимо этого при утяжке приходится преодолевать силы трения обвязок по лесоматериалам, после замыкания эти силы снижают нагрузку на обвязки. Усилие утяжки, которое и является в данном случае расчётным, задаётся нормативным документом – техническими условиями и обычно не превышает 10 кН.

При установленных расчётных усилиях подбор обвязок выполняют по известной методике [17, 18].

**Вывод.** Полученные в результате исследования материалы позволяют правильно подобрать такелаж для двухъярусных пакетных пучков навигационной сплотки. Кроме того, эти материалы необходимы при оценке так называемой продольной прочности рассматриваемых сплотовых единиц, то есть при оценке их способности в плавающем состоянии удерживать брёвна и обвязки от относительных продольных смещений.

### Список литературы

1. *Посыпанов, С.В.* Экологические и экономические аспекты транспорта древесины из удаленных лесных массивов / С.В. Посыпанов // Эколого- и ресурсосберегающие технологии и системы в лесном и сельском хозяйстве: сборн. научн. тр. по материал. междунаро. заоч. науч.-практ. конф. – Воронеж: ВГЛТА, 2014. – Вып. №3, ч.4 (8-4). – С. 135-139.
2. *Харитонов, В.Я.* Ресурсы отдаленных лесных массивов и возможность их освоения сплавом / В.Я. Харитонов, С.В. Посыпанов // Известия вузов. Лесной журнал. – 2008. – № 2. – С. 30-36.
3. *Харитонов, В.Я.* Опыт внедрения единого транспортного пакета вместо молевого лесосплава / В.Я. Харитонов, С.В. Посыпанов // Известия вузов. Лесной журнал. – 2007. – №1. – С. 45-52.
4. *Посыпанов, С.В.* Апробация в производственных условиях конструкций плотов зимней сплотки из двухъярусных сплотовых единиц / С.В. Посыпанов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. научн. тр. по материал. междунаро. заоч. науч.-практ. конф. – Воронеж: ВГЛТА, 2014. – Вып. № 5, ч.4 (10-4). – С. 240-244.
5. *Вахрушев, М.М.* Расчёт пакета лесоматериалов в гибкой обвязке, лежащего на плоскости / М.М. Вахрушев // Известия вузов. Лесной журнал. – 1965. – № 5. – С. 18-21.
6. *Володенков, Ф.И.* Определение усилий в обвязках пучков из бревен / Ф.И. Володенков // Сборник научных трудов по лесосплаву. – 1965. – № 5. – С. 64-96.
7. *Воробьев, А.Г.* О расчете по эластической теории пучковых плотов для случая нахождения их на суше / А.Г. Воробьев // Лесоинженерное дело: научные доклады Высшей школы. – 1958. – Вып № 3. – С. 40-45.
8. *Донской, И.П.* Определение натяжения в обвязке пучка, плавающего по спокойной воде и лежащего на суше / И.П. Донской. – Л.: ЛТА, 1960. – 38 с.
9. *Калихевич, И.Н.* Вопросы теоретического изучения расчета пучковых плотов / И.Н. Калихевич // Труды Лесотехнической академии им. С.М. Кирова. – 1938. – № 63. – С. 65-68.
10. *Меркин, Д.Р.* К вопросу об определении натяжения в обвязке и формы пучка / Д.Р. Меркин // Труды Лесотехнической академии им. С.М. Кирова – 1961. – № 96. – С. 67-70.
11. *Реутов, Ю.М.* Расчеты пучков (пакетов) круглых лесоматериалов / Ю.М. Реутов. – М.: Лесная промышленность, 1975. – 152 с.
12. *Whittaker, E.T.* A Course in Modern Analysis / E.T. Whittaker, G.N. Watson; 4th ed. – Cambridge, England: Cambridge University Press, 2009. – 620 p.
13. *Verruijt, A.* Soil Mechanics / A. Verruijt. – Delft University of Technology, 2012. – 331 p.
14. *Craig, R.F.* Soil Mechanics / R.F. Craig; 6th ed. – London, New York: E & FN Spon, 1997. – 485 p.
15. *Посыпанов, С.В.* Комбинированный метод расчета пакета круглых лесоматериалов, уложенного на горизонтальном основании / С.В. Посыпанов // Известия вузов. Лесной журнал. – 2011. – № 1. – С. 47-52.
16. *Byrd, P.F.* Handbook of Elliptic Integrals for Engineers and Scientist / P.F. Byrd, M.D. Friedman; 2nd ed. – New York, Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 1971. – Vol. 67. – 360 p.
17. Инструкция по эксплуатации такелажа на лесосплаве. – М.: ВНИПИЭИЛеспром, 1980. – 134 с.
18. Плоты (конструкция, эксплуатация, технология) / М.Н. Фоминцев, И.П. Львов, К.Б. Соколов [и др.] / под ред. М.Н. Фоминцева. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 216 с.

Статья поступила в редакцию 11.03.15.

### Информация об авторе

**ПОСЫПАНОВ Сергей Валентинович** – кандидат технических наук, доцент кафедры водного транспорта леса и гидравлики, Лесотехнический институт, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. Область научных интересов – экологически безопасное лесотранспортное использование средних и малых рек; информационное обеспечение лесопромышленного производства. Автор 54 публикаций.

UDC 630\*378

### STUDY OF THE FORCES IN THE RIGGING OF A FLOATY BILEVEL RAFTING UNIT

**S. V. Posypanov**

Forestry Engineering Institute, Northern (Arctic) Federal University  
named after M. V. Lomonosov,  
17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation  
E-mail: s.posypanov@narfu.ru

**Key words:** timber rafting; water; round wood; package; bundle; rafting unit; rigging; strapping; durability; elastics; granular medium.

### ABSTRACT

*Usage of bilevel rafting units creates new possibilities and advantages in round wood transportation, which is proved in practice. Research was carried out with the aim to maintain the integrity of raft units when transportation. The problems on derivation of the formula and recommendations grounding to define rated force in rigging of raft units were solved in order to achieve the goal of the research. Research technique is theoretical. The tested method based on the theory of elastics and loose medium was used. Results. The concept "relative typical height" was introduced, and dependence of relative typical height of lower packages on their coefficient of form was shown. The equation, approximating this dependence, was obtained. Thus, the position of low piezometric plane, corresponding to the zero pressure in the loose medium of underbody of bundle was determined. Based on the idea of pressure balance in the loose medium of above and under water, the position of the very similar piezometric plane for the above water portion of bundle was calculated. The expressions to calculate vertical and lateral pressure of the loose medium in the characteristic points of high longitudinal cross section of bundle was obtained. Dependences to determine the power of thrust in the packages above and under water were offered. As a result, the general formula for calculation of the force in upper and lower branches of bundles of packages (the concept of the rate of tension of the branch of packet bundle) was obtained. The mode of influence of the determining factors on the amount of efforts in the bundles of packages was defined. It was revealed that lower part of bundle in the upper package was the most loaded but still afloat. Recommended for practical calculations dependency graphs of ratio of tension of the branches of package bundles on determining factors were given. Recommendation on selection of dimensioning of external bundle binding when rafting was grounded. Conclusion. Use of the materials is required both in selection of rigging and assessment of capacity of floating package bundles to resist longitudinal deformations of relative shift.*

### REFERENCES

1. Posypanov S.V. Ekologicheskiye i ekonomicheskiye aspekty transporta drevesiny iz udalennykh lesnykh massivov [Ecological and Economic Aspects of Forest Products Transportation from the Remote Woodlands]. *Ekologo- i resursoberegayushchie tekhnologii i sistemy v lesnom i selskom khozyaystve: sborn. nauchn. tr. po material. mezhdunarod. zaoch. nauch.-prakt. konf.* [Ecological and Resource-Saving Technologies and Systems in Forestry and Agriculture: proceedings of International Open Scient.-Pract. Conf.]. Issue 3, Part 4 (8-4). Voronezh: VGLTA, 2014. Pp. 135-139.
2. Kharitonov V.Ya., Posypanov S.V. Resursy otdalennykh lesnykh massivov i vozmozhnost ikh osvoeniya splavom [Resources of the Remote Forest Stands and Feasibility of Their Utilization via Rafting]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of Higher Educational Institutions. Forest Magazine]. 2008. No 2. Pp. 30-36.
3. Kharitonov V.Ya., Posypanov S.V. Opyt vnedreniya edinogo transportnogo paketa vmesto molevogo lesosplava [Implementation Experience of the Unified Transport Package as an Alternative to Loose Timber Floating]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhur-*

nal [News of Higher Educational Institutions. Forest Magazine]. 2007. No 1. Pp. 45-52.

4. Posypanov S.V. Aprobatsiya v proizvodstvennykh usloviyakh konstruktivnykh plotov zimney splotki iz dvukhyarusnykh splotochnykh edinits [Practical Approval of Rafts Composed of Bilevel Rafting Units in Winter Conditions]. *Aktualnye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika: sb. nauchn. tr. po material. mezhdunarod. zaoch. nauch.-prakt. konf.* [Actual Research Trends of the XXI century: Theory and Practice: Proc. of International Open Scient.-Pract. Conf.]. Issue 5, Part 4 (10-4). Voronezh: VGLTA, 2014. Pp. 240-244.

5. Vakhrushev M.M. Raschet paketa lesomaterialov v gibkoy obvyazke, lezhashchego na ploskosti [Computation of a Log Package in the Elastic Strapping Placed on Flat Surface]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of Higher Educational Institutions. Forest Magazine]. 1965. No 5. Pp. 18-21.

6. Volodnikov F.I. Opredelenie usilий v obvyazkakh puchkov iz breven [Calculation of Tensions in Log Bundles Strappings]. *Sbornik nauchnykh trudov po lesosplavu* [Collected Papers on Timber Rafting]. 1965. No 5. Pp. 64-96.

7. Vorobyev A.G. O raschete po elastikovoy teorii puchkovykh plotov dlya sluchaya nakhozheniya ikh na sushe [Application of the Elastic Theory for Design of Log Bundle Rafts Placed Ashore]. *Lesoinzhenernoe delo: nauchnye doklady Vysshey shkoly* [Forest Engineering: scientific reports of the High School]. 1958. Issue 3. Pp. 40-45.

8. Donskoy I.P. *Opredelenie natyazheniya v obvyazke puchka plavaushchego po spokojnoy vode i lezhashchego na sushe* [Determination of Tension in Strapping of a Log Bundle Floating on Calm Water Surface and Laying Aground]. Leningrad: LTA, 1960. 38 p.

9. Kalikhevich I.N. Voprosy teoreticheskogo izucheniya rascheta puchkovykh plotov [Matters for

Theoretical Investigation of Computation of Log Bundles Rafts]. *Trudy Lesotekhnicheskoy akademii im. S.M.Kirova* [Collected papers of the Forestry Academy named after S.M. Kirov]. 1938. No 63. Pp. 65-68.

10. Merkin D.R. K voprosu ob opredelenii natyazheniya v obvyazke i formy puchka [On the Problems of Determination of Tension in Strappings and the Shape of a Bundle]. *Trudy Lesotekhnicheskoy akademii im. S.M.Kirova* [Collected papers of the Forestry Academy named after S.M. Kirov]. 1961. No 96. Pp. 67-70.

11. Reutov Yu.M. *Raschety puchkov (paketov) kruglykh lesomaterialov* [Design of the Bundles/Packages of Roundwood]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1975. 152 p.

12. Whittaker E.T., Watson G.N. A Course in Modern Analysis, 4th ed. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2009. 620 p.

13. Verruijt A. Soil Mechanics. Delft University of Technology, 2012. 331 p.

14. Craig R.F. Soil Mechanics, 6th ed. London, New York: E & FN Spon, 1997. 485 p.

15. Posypanov S.V. Kombinirovannyi metod rascheta paketa kruglykh lesomaterialov, ulozhennogo na gorizontálnom osnovanii [Multi-Level Design Method of a Log Package Placed on a Horizontal Basement]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of Higher Educational Institutions. Forest Magazine]. 2011. No 1. Pp. 47-52.

16. Byrd P.F., Friedman M.D. Handbook of Elliptic Integrals for Engineers and Scientist, 2th ed. New York, Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 1971. vol. 67. 360 p.

17. Instruktsiya po ekspluatatsii takelazha na lesosplave [Rules for Usage of Rigging at Timber Floating]. Moscow: VNIPIELesprom, 1980. 134 p.

18. Fomintsev M.N. et al. *Ploty (konstruktsiya, ekspluatatsiya, tekhnologiya)* [Rafts (design, usage, technology)]. Moscow: Timber Industry Publ., 1978. 216 p.

The article was received 11.03.15.

**Citation for an article:** Posypanov S.V. Study of the forces in the rigging of a floaty bilevel rafting unit. Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2015. No 3 (27). Pp. 55-64.

#### Information about the author

*POSYPANOV Sergey Valentinovich* – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Chair of Water Forest Transport and Hydraulics, Forestry Engineering Institute, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. Research interests – environmentally safe use of medium and small rivers as forest transport; information support of timber production. The author of 54 publications.

УДК 674.8-036.61.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРЕССОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФУРФУРОЛАЦЕТОНОВОГО МОНОМЕРА

С. А. Угрюмов, А. А. Федотов, С. А. Рыжов

Костромской государственный технологический университет,  
Российская Федерация, 156005, Кострома, ул. Дзержинского, 17  
E-mail: ugr-s@yandex.ru; aafedotoff@yandex.ru

*Изучено влияние температуры прессования на основные физико-механические характеристики древесно-стружечных плит, изготовленных с применением олигомера фуранового ряда (фурфуролацетонного мономера ФА). Установлено, что с возрастанием температуры прессования до 200°C происходит повышение свойств плит за счёт более полного отверждения связующего. Плиты на основе мономера ФА, изготовленные при высоких температурах прессования, обладают высокой прочностью, повышенной водостойкостью, выдерживают длительное кипячение.*

**Ключевые слова:** древесно-стружечная плита; фурановый олигомер; фурфуролацетонный мономер ФА; температура прессования; физико-механические свойства.

**Введение.** В настоящее время в плитном производстве широко используются карбамидоформальдегидные и фенолформальдегидные олигомеры. Физико-механические свойства получаемых на их основе плит не всегда удовлетворяют требованиям потребителей строительной сферы и мебельной промышленности в первую очередь по показателю водостойкости. Одним из возможных способов повышения эксплуатационных свойств плит является использование в качестве связующего альтернативных водостойких клеев, например, олигомеров фуранового ряда. Одним из распространённых представителей олигомеров фуранового ряда является мономер ФА, который в основном используется в строительной сфере в производстве стойких пластрасов и полимербетонов [1,2]. Термодинамические и физико-химические свойства мономера ФА позволяют эффективно применять его в производстве древесных плит [3].

Предварительно проведённые опытные запрессовки показали, что для полного отверждения мономера ФА требуются сильные катализаторы отверждения и жёсткие режимы прессования [4–5].

**Цель работы** – оценка влияния температуры прессования на физико-механические характеристики древесно-стружечных плит, изготовленных с применением фурфуролацетонного мономера ФА.

**Решаемые задачи:** определение рациональной температуры горячего прессования древесно-стружечных плит на основе фурфуролацетонного мономера ФА.

**Методика проведения экспериментальных исследований.** В экспериментальных исследованиях были изготовлены и испытаны образцы древесно-стружечных плит, прессование которых велось при температурах от 160 до 220°C. Для изготовления образцов использовалась специальная резаная стружка лиственных и хвойных пород древесины с

© Угрюмов С. А., Федотов А. А., Рыжов С. А., 2015.

**Для цитирования:** Угрюмов С. А., Федотов А. А., Рыжов С. А. Исследование влияния температуры прессования на свойства древесно-стружечных плит, изготовленных с применением фурфуролацетонного мономера // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 3 (27). – С. 65-73.

отбором фракции 10/2 и клеевые композиции на основе фурфуролацетонного мономера ФА в смеси с 5 % отвердителя – п-толуолсульфокислотой. Изготовление плит проводилось в лабораторном гидравлическом прессе П100-400 при следующих постоянных факторах:

- толщина плит 16 мм;
- расчётная плотность плит  $800 \text{ кг/м}^3$ ;
- удельное давление прессования 2 МПа;
- продолжительность выдержки под давлением 8 мин ( $0,5 \text{ мин/1 мм}$  толщины);
- расход связующего 12 % от массы абсолютно сухой стружки.

Физико-механические свойства плит определялись по ГОСТ 10634-78, ГОСТ

10635-78, ГОСТ 10636-78, огнезащитность оценивалась по потере массы при горении методом «огневой трубы». Были также проведены испытания на прочность образцов при растяжении перпендикулярно к пласти плиты после вымачивания их в холодной воде в течение 24 часов, а также оценено разбухание по толщине и водопоглощение плит после кипячения.

**Результаты экспериментальных исследований.** Полученные сводные результаты оценки свойств древесно-стружечных плит представлены в табл. 1, 2.

На рис. 1, 2 представлены графические зависимости влияния температуры прессования на прочностные свойства плит.

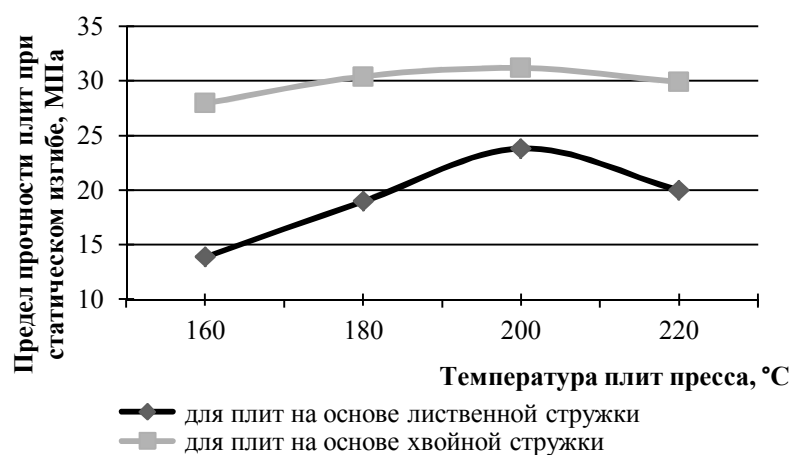


Рис. 1. Влияние температуры прессования на предел прочности плит при изгибе

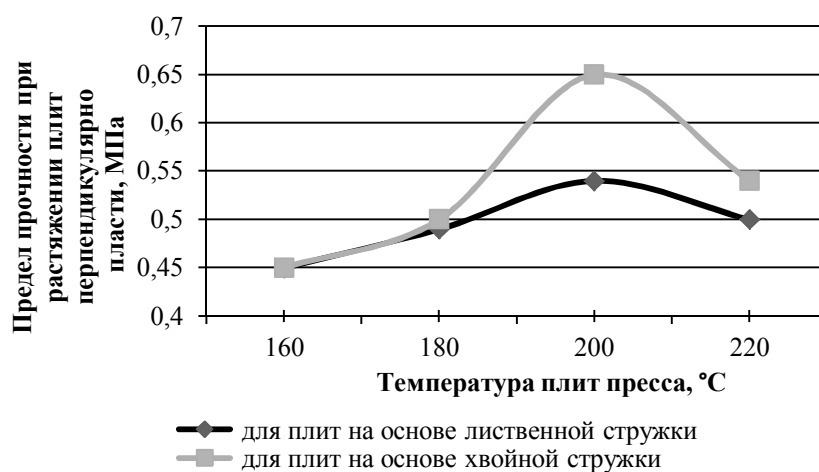


Рис. 2. Влияние температуры прессования на предел прочности плит при растяжении перпендикулярно пласти

Таблица 1

## Физико-механические свойства древесно-стружечных плит

| Порода используемой стружки | Температура прессования, °С | Фактическая плотность плит, кг/м <sup>3</sup> | Предел прочности при статическом изгибе, МПа | Предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти, МПа | Предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти после вымачивания в течение суток, МПа | Разбухание по толщине, % | Объемное разбухание, % | Водопоглощение, % | Потеря массы при горении, % |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------|
| Лиственная                  | 160                         | 807,6                                         | 13,9                                         | 0,45                                                          | 0,21                                                                                            | 21,2                     | 23,7                   | 46,5              | 16,9                        |
|                             | 180                         | 809,5                                         | 19,0                                         | 0,49                                                          | 0,32                                                                                            | 15,0                     | 16,9                   | 30,0              | 16,5                        |
|                             | 200                         | 800,2                                         | 23,9                                         | 0,54                                                          | 0,41                                                                                            | 8,5                      | 9,5                    | 15,1              | 16,7                        |
|                             | 220                         | 800,1                                         | 20,0                                         | 0,50                                                          | 0,40                                                                                            | 5,67                     | 6,4                    | 12,4              | 15,2                        |
| Хвойная                     | 160                         | 807,6                                         | 28,0                                         | 0,45                                                          | 0,26                                                                                            | 11,7                     | 12,3                   | 42,9              | 15,0                        |
|                             | 180                         | 806,0                                         | 30,4                                         | 0,50                                                          | 0,40                                                                                            | 10,8                     | 11,3                   | 32,9              | 14,3                        |
|                             | 200                         | 801,3                                         | 31,2                                         | 0,65                                                          | 0,43                                                                                            | 7,1                      | 7,9                    | 17,0              | 12,9                        |
|                             | 220                         | 808,3                                         | 29,9                                         | 0,54                                                          | 0,38                                                                                            | 5,45                     | 6,1                    | 14,5              | 12,6                        |

Таблица 2

## Показатели разбухания и водопоглощения плит после кипячения

| Порода используемой стружки | Температура прессования, °С | Разбухание по толщине, %, после кипячения в течение, час |       |       |       | Объемное разбухание, %, после кипячения в течение, час |       |       |       | Водопоглощение, %, после кипячения в течение, час |       |       |       |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|--------------------------------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                             |                             | 0,5                                                      | 1     | 2     | 5     | 0,5                                                    | 1     | 2     | 5     | 0,5                                               | 1     | 2     | 5     |
| Лиственная                  | 160                         | 35,09                                                    | 38,43 | 39,61 | 58,29 | 38,54                                                  | 41,82 | 43,28 | 62,09 | 43,38                                             | 46,01 | 51,47 | 63,61 |
|                             | 180                         | 18,28                                                    | 19,96 | 21,49 | 35,82 | 20,52                                                  | 22,31 | 24,17 | 39,62 | 34,03                                             | 36,25 | 48,24 | 55,68 |
|                             | 200                         | 12,29                                                    | 12,51 | 13,38 | 21,11 | 12,90                                                  | 13,10 | 14,12 | 22,01 | 26,17                                             | 28,5  | 43,75 | 51,42 |
|                             | 220                         | 8,46                                                     | 9,24  | 11,74 | 15,96 | 8,76                                                   | 9,65  | 12,31 | 16,59 | 15,56                                             | 18,63 | 36,47 | 48,93 |
| Хвойная                     | 160                         | 14,30                                                    | 15,66 | 18,83 | 26,87 | 14,72                                                  | 16,20 | 16,01 | 27,35 | 37,28                                             | 39,63 | 60,16 | 78,89 |
|                             | 180                         | 11,02                                                    | 12,08 | 13,29 | 15,82 | 11,22                                                  | 12,50 | 13,63 | 16,32 | 34,54                                             | 39,02 | 54,97 | 81,26 |
|                             | 200                         | 9,48                                                     | 10,53 | 11,06 | 12,64 | 10,79                                                  | 11,66 | 12,09 | 14,73 | 33,16                                             | 37,48 | 59,03 | 83,62 |
|                             | 220                         | 7,25                                                     | 7,43  | 7,49  | 8,58  | 7,81                                                   | 8,03  | 8,06  | 9,24  | 32,45                                             | 35,44 | 61,35 | 85,59 |

Прочностные показатели плит (предел прочности при статическом изгибе и при растяжении перпендикулярно пласти) имеют максимальные значения при температуре прессования 200°C. При температурах выше 200°C наблюдается некоторое снижение прочности. Мономер ФА отверждается при этом более полно [6,7], но в процессе прессования в центральной зоне плиты возрастает давление парогазовой смеси, которая интенсивно выходит при размыкании плит пресса с образованием механических разрывов отдельных клеевых связей [8].

После вымачивания образцов плит в течение суток их прочность снижается, но остаётся на достаточном уровне (рис. 3).

На рис. 4 – 6 представлены графические зависимости влияния температуры прессования на физические характеристики плит.

Показатели разбухания и водопоглощения, а также потери массы при горении существенно снижаются при повышении температуры прессования плит за счёт более полного отверждения связующего. При повышенных температурах (более 200°C) разбухание не превышает 8,5 %, потеря массы – не более 17 %.

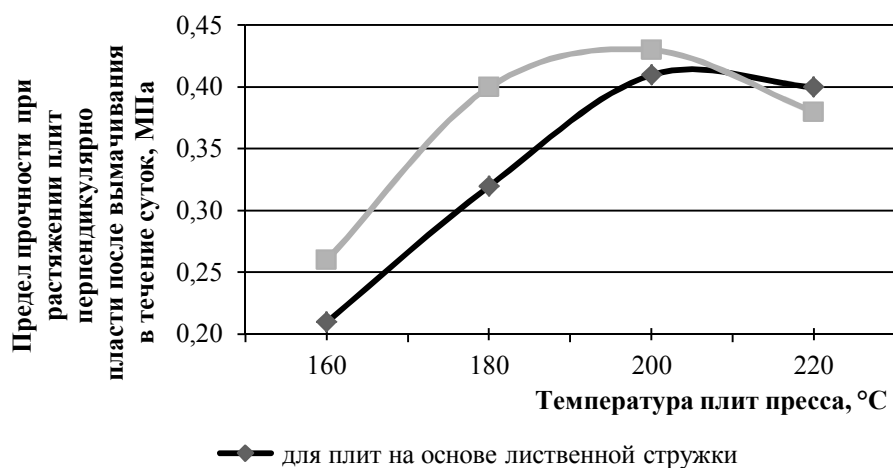


Рис. 3. Влияние температуры прессования на предел прочности плит при растяжении перпендикулярно к пласти после вымачивания в течение суток

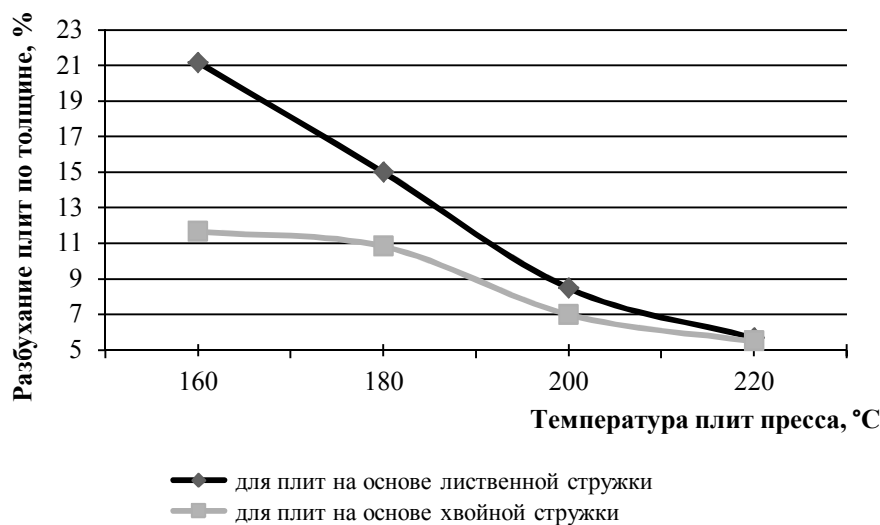


Рис. 4. Влияние температуры прессования на разбухание плит по толщине

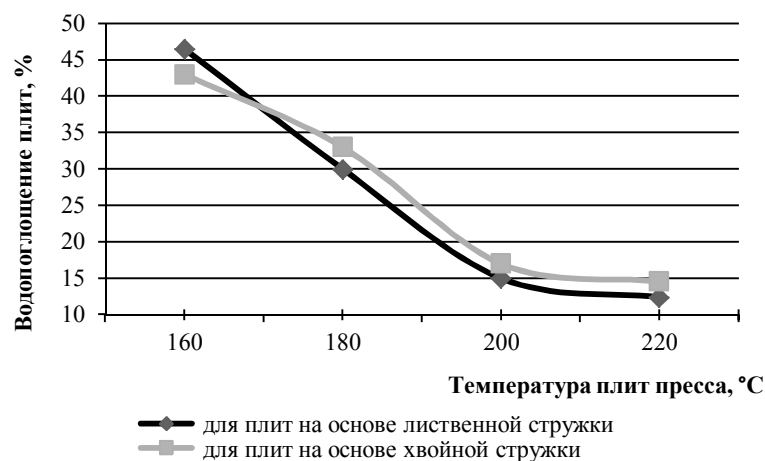


Рис. 5. Влияние температуры прессования на водопоглощение плит

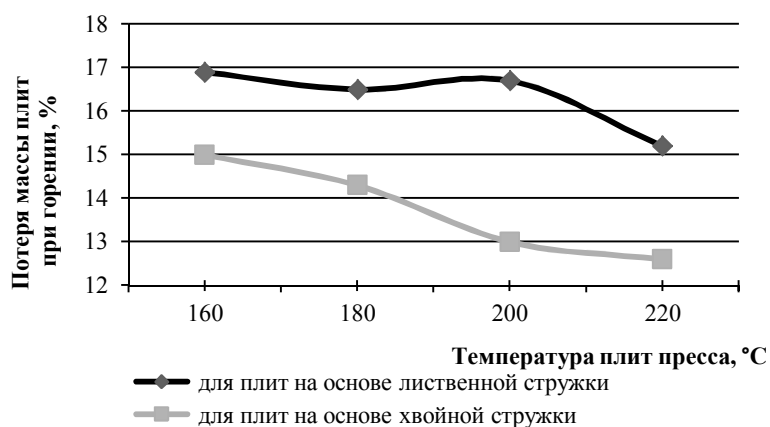


Рис. 6. Влияние температуры прессования на потерю массы плит при горении

Проведённые эксперименты показали, что данные плиты выдерживают длительное кипячение. На рис. 7 – 10 представлены графические зависимости

показателей разбухания и водопоглощения плит от температуры прессования после кипячения в течение от 0,5 до 5 час.

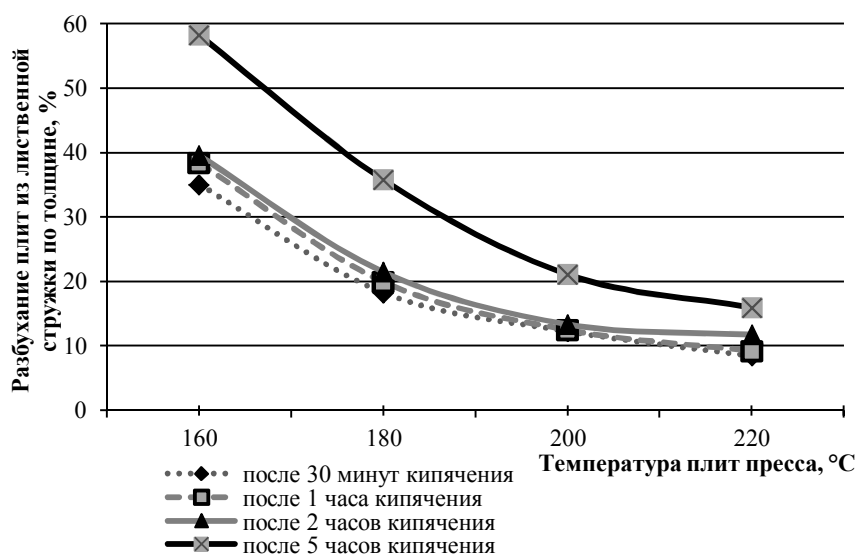


Рис. 7. Влияние температуры прессования на разбухание плит из лиственной стружки после кипячения

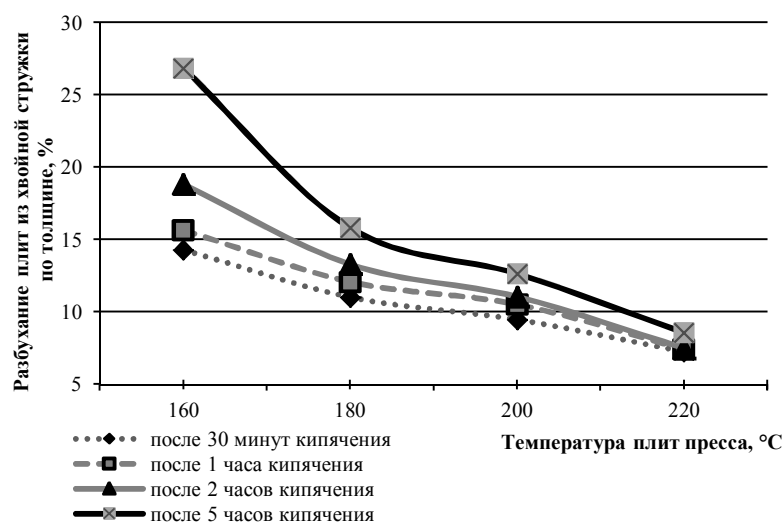


Рис. 8. Влияние температуры прессования на разбухание плит из хвойной стружки после кипячения

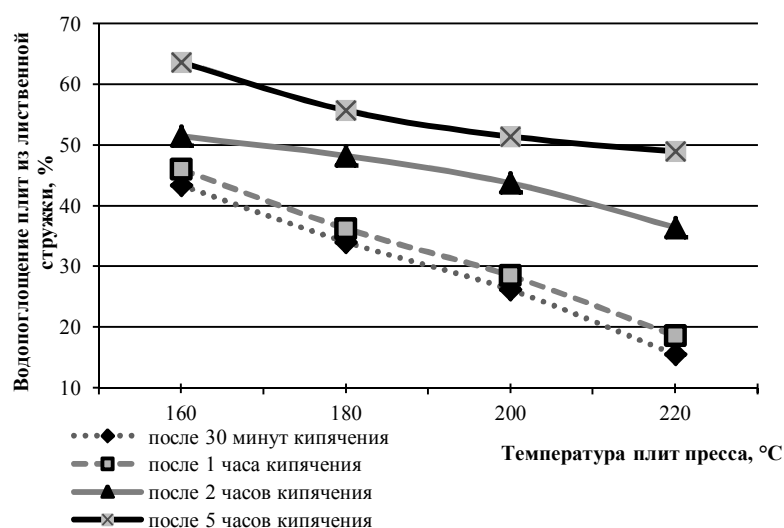


Рис. 9. Влияние температуры прессования на водопоглощение плит из лиственной стружки после кипячения

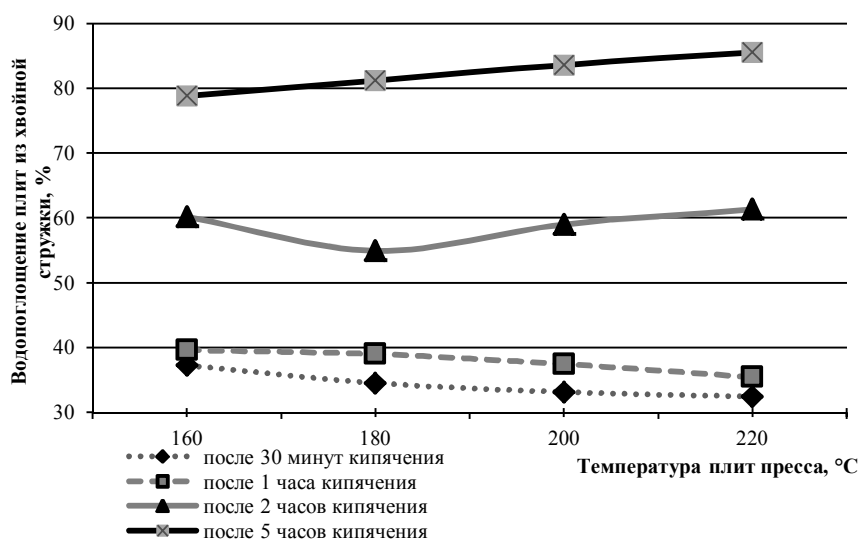


Рис. 10. Влияние температуры прессования на водопоглощение плит из хвойной стружки после кипячения

**Анализ полученных данных** показал, что плиты, изготовленные при температуре прессования 200°C и выше имеют высокие прочностные показатели, малые значения разбухания и водопоглощения, сохраняют водостойкость при длительном кипячении.

**Вывод.** Производство древесных плит на основе фурфуролацетонового мономер-

ра ФА при высоких температурах прессования позволяет получить конструкционный материал с повышенной прочностью и длительной водостойкостью, что позволит эффективно использовать его в строительных целях и иных сферах с переменными температурно-влажностными условиями.

#### Список литературы

1. *Оробченко, Е.В.* Фурановые смолы / Е.В. Оробченко, Н.Ю. Прянишникова. – Киев: Издательство технической литературы, 1963. – 166 с.
2. *Технология пластических масс* / Под ред. В.В. Коршака. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Химия, 1985. – 560 с.
3. *Угрюмов, С.А.* Фурановые смолы в производстве клееных древесных материалов / С.А. Угрюмов. – Кострома: КГТУ, 2012. – 142 с.
4. *Угрюмов, С.А.* Оценка влияния технологических факторов на свойства древесно-стружечных плит на основе фурановой смолы / С.А. Угрюмов, А.А. Федотов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – № 2 (16). – С. 36-42.
5. *Федотов, А.А.* Технология производства древесно-стружечных плит с повышенными физико-механическими свойствами на основе фурфуролацетонового мономера ФА / А.А. Федотов, С.А. Угрюмов // Энциклопедия инженера-химика. – 2013. – № 11. – С. 16-19.
6. *Кононов, Г.Н.* Химические процессы, протекающие при горячем прессовании в структуре древесно-стружечных плит на основе фурфуролацетонового мономера ФА / Г.Н. Кононов, А.А. Федотов, С.А. Угрюмов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 3 (19). – С. 65-72.
7. *Кононов, Г.Н.* Химическое взаимодействие древесных частиц со связующим на основе фуранового олигомера в структуре древесно-стружечных плит / Г.Н. Кононов, С.А. Угрюмов, А.А. Федотов // Энциклопедия инженера-химика. – 2014. – № 1. – С. 24-27.
8. *Федотов, А.А.* Химические процессы структурирования фурфуролацетонового мономера ФА / А.А. Федотов, С.А. Угрюмов // Клеи. Герметики. Технологии. – 2013. – № 4. – С. 25-28.

Статья поступила в редакцию 20.08.15.

#### Информация об авторах

*УГРЮМОВ Сергей Алексеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств, Костромской государственной технологической академии. Область научных интересов – техника и технологии производства синтетических олигомеров, клееных древесных материалов. Автор 330 публикаций.

*ФЕДОТОВ Александр Андреевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств, Костромской государственной технологической академии. Область научных интересов – технологические процессы производства клееных древесных материалов. Автор 70 публикаций.

*РЫЖОВ Сергей Алексеевич* – аспирант кафедры лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств, Костромской государственной технологической академии. Область научных интересов – технология и оборудование производства клееных древесных материалов.

UDC 674.8-036.61.8

# INFLUENCE OF THE TEMPERATURE OF PRESSING ON THE PROPERTIES OF PARTICLE BOARDS MADE WITH FURAN RESIN BINDERS

S. A. Ugryumov, A. A. Fedotov, S. A. Ryzhov

Kostroma State University of Technology,  
17, Dzerzhinskogo St., Kostroma, 156005, Russian Federation  
E-mail: ugr-s@yandex.ru; aafedotoff@yandex.ru

**Key words:** particle board; furan resin; furfural acetone monomer FA; pressing temperature; physical and mechanical properties.

## ABSTRACT

**Introduction.** Physical and mechanical properties of carbamide-formaldehyde-based and phenolformaldehyde-based boards do not meet requirements of consumers of construction sector and furniture industry. Water resistance is the major problem of the boards. One possible way for improving the performance properties of the boards is to use alternative water-resistant adhesives (e.g. oligomers of furan series) as a binder. Thermodynamic and physical and chemical properties of monomer FA can implement it in production of wooden boards. **The purpose** of the research is to assess the influence of pressing temperature on physical and mechanical properties of particle boards made with the use of furfural-acetone monomer FA. **Objectives:** definition of the efficient temperature of hot pressing of wood particle boards on the base of furfural-acetone monomer FA. **The technique of experimental studies.** The samples of particle boards were manufactured and tested. Pressing of boards was carried out at the temperatures 160 – 220°C. Special cut chips of deciduous and coniferous wood with a selection of fraction 10/2 and the adhesive composition on the base of furfural-acetone monomer FA in the mixture with 5% hardener – n-toluensulfonate were used. Production of boards was carried out in a laboratory hydraulic press under the following constant factors: thickness of the boards – 16 mm; calculated density – 800 kg/m<sup>3</sup>; compression molding pressure – 2 MPa; duration of holding pressure – 8 min; binder consumption – 12 % of weight of absolutely dry chip. **Results.** Strength characteristics of boards have a maximum value at the temperature of pressing 200°C. At the temperature above 200°C, there is a decrease in strength. After soaking the samples of the boards, their strength is reduced. Indicators of swelling and water absorption and mass loss during combustion are significantly reduced when the temperature of pressing boards grows. This phenomenon is explained by more complete curing of the binder. At the temperature above 200°C, swelling does not exceed 8,5 %, loss of weight – not more than 17 %. **Conclusion.** Production of wood boards on the base of furfural-acetone monomer FA at high temperatures of pressing allows to obtain a structural material with high strength and good water resistance that can be effectively used in construction and other areas of production with variable temperature and humidity conditions.

## REFERENCES

1. Orobchenko E.V., Pryanishnikova N.Yu. *Furanovye smoly* [Furan Resin]. Kyiv: Izdatelstvo tekhnicheskoy literatury, 1963. 166 p.
2. Tekhnologiya plasticheskikh mass: pod red. V.V.Korshaka. Izd.3-e, pererab. i dop. [Technology of Plastic Masses: under the editorship of V.V. Korshak. Ed. 3rd, rev. and extra]. Moscow: Khimiya, 1985. 560 p.
3. Ugryumov S.A. *Furanovye smoly v proizvodstve kleennykh drevesnykh materialov* [Furan Resins in Production of Glued Wood-Based Materials]. Kostroma: KSTU, 2012. 142 p.
4. Ugryumov S.A., Fedotov A.A. Otsenka vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov na svoystva drevesno-struzhechnykh plit na osnove furanovoy smoly [Evaluation of the Influence of Technological Factors on the Properties of Particle Boards on the Base of Furan Resins]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. Yoshkar-Ola: Volga Tech, 2012. No 2(16). Pp. 36 – 42.
5. Fedotov A.A., Ugryumov S.A. Tekhnologiya proizvodstva drevesno-struzhechnykh plit s povyshennymi fiziko-mekhanicheskimi svoystvami na osnove furfurolatsetonovogo monomera FA [Technology of Production of Particle Boards with Improved Physico-Mechanical Properties on the Base of Furfu-

ral-Acetone Monomer FA]. *Entsiklopediya inzhenera-khimika* [Encyclopedia of Chemical Engineer]. Moscow: Nauka i tekhnologiya, 2013. No. 11. Pp. 16-19.

6. Kononov G.N., Fedotov A.A., Ugryumov S.A. Khimicheskie protsessy, protekaushchie pri goryachem pressovanii v strukture drevesno-struzhechnykh plit na osnove furfurolatsetonovogo monomera FA [Chemical Processes Occurring during Hot Pressing in the Structure of Particle Boards on the Base of Furfural-Acetone Monomer FA]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. Yoshkar-Ola: Volga Tech, 2013. No 3(19). Pp. 65-72.

7. Kononov G.N., Ugryumov S.A., Fedotov A.A. Khimicheskoe vzaimodeystvie drevesnykh chastits so svyazuyushchim na osnove furanovogo oligomera v strukture drevesno-struzhechnykh plit [Chemical Reaction of Wood Particles with a Binder based on Furan Oligomer in Structure of Particle Boards]. *Entsiklopediya inzhenera-khimika* [Encyclopedia of Chemical Engineer]. Moscow: Nauka i tekhnologiya, 2014. No. 1. P. 24-27.

8. Fedotov A.A., Ugryumov S.A. Khimicheskie protsessy strukturirovaniya furfurolatsetonovogo monomera FA [Chemical Processes of Structuring Furfural-Acetone Monomer FA]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*. [Adhesives. Sealants. Technology]. Moscow: Nauka i tekhnologiya, 2013. No. 4. Pp. 25-28.

The article was received 20.08.15.

**Citation for an article:** Ugryumov S. A., Fedotov A. A., Ryzhov S. A. Influence of the temperature of pressing on the properties of particle boards made with furan resin binders. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2015. No 3 (27). Pp. 65-73.

#### Information about the authors

*UGRYUMOV Sergey Alexeyevich* – Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Chair of Timber Cutting and Wood Processing Industries, Kostroma State University of Technology. Research interests – techniques and technologies of production of synthetical oligomers, bounded wood products. The author of 330 publications.

*FEDOTOV Alexander Andreyevich* – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Chair of Timber Cutting and Wood Processing Industries, Kostroma State University of Technology. Research interests – production process for bounded wood products. The author of 70 publications.

*RYZHOV Sergey Alexeyevich* – Postgraduate student at the Chair of Timber Cutting and Wood Processing Industries, Kostroma State University of Technology. Research interests – techniques and technologies of production of synthetical oligomers, bounded wood products.

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК 630\*424.5:581.52: 504.5

### ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОЧВЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА НАПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ СОСНЯКА ЛИШАЙНИКОВО-ЗЕЛЕНОМОШНОГО В УСЛОВИЯХ ПОЛЕВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

**И. В. Лянгузова, В. В. Горшков, И. Ю. Баккал, М. С. Бондаренко**

Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук,  
Российская Федерация, 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 2  
E-mail: I.Lyanguzova@binran.ru

*В условиях полевого эксперимента по влиянию полиметаллической пыли, выбрасываемой в атмосферу комбинатом «Североникель» (г. Мончегорск, Кольский полуостров), на компоненты лесных экосистем северной тайги было исследовано состояние и видовое разнообразие нижних ярусов лишайниково-зеленомошного соснового леса (давность последнего пожара 80 лет), а также изучена миграция Ni, Cu, Co из загрязнённой почвы в надземные части доминирующих видов растений и лишайников. Установлено, что видовое разнообразие травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов не изменяется в интервале индекса техногенной нагрузки 2,0–45,5 отн. ед. Однако параметры напочвенного покрова в большей или меньшей степени изменены под воздействием тяжёлых металлов, а его послепожарное восстановление заторможено.*

**Ключевые слова:** лесные экосистемы; тяжёлые металлы; загрязнение окружающей среды; напочвенный покров; полевые эксперименты; Кольский полуостров.

**Введение.** Кольский полуостров, площадь которого составляет около 150 тыс. км<sup>2</sup>, занимает крайний северо-запад Европейской части России, располагаясь почти полностью за Полярным кругом. Биогеоценозы Кольского полуострова испытывают воздействие двойного стресса: с одной стороны, суровые климатические условия Крайнего Севера, с другой – аэротехногенное загрязнение окружающей среды.

Своеобразные природные условия, а также антропогенная деятельность (рубки, пожары, атмосферное загрязнение, открытая добыча полезных ископаемых и т.п.) определили особенности организации растительных сообществ данного региона. Характерной чертой растительного покрова этой территории является чередование равнинных редкостойных лесов (занимающих 23 % площади) и болот с растительностью возвышенностей и горных массивов [1, 2].

---

© Лянгузова И. В., Горшков В. В., Баккал И. Ю., Бондаренко М. С., 2015.

**Для цитирования:** Лянгузова И. В., Горшков В. В., Баккал И. Ю., Бондаренко М. С. Воздействие почвенного загрязнения тяжёлыми металлами на напочвенный покров сосняка лишайниково-зеленомошного в условиях полевого эксперимента // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 3 (27). – С. 74–86.

В современный период основными лесобразующими породами в равнинных лесах являются сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) и ель сибирская (*Picea obovata*). Берёза пушистая (*Betula pubescens*) встречается в составе еловых и сосновых лесов, а также образует производные сообщества. Сосновые сообщества занимают от 30 до 50 % территории, покрытой лесами, еловые формируют 33 % от общей лесопокрытой площади [2, 3]. Почвы в районе исследования представлены Al-Fe-гумусовыми подзолами, развитыми на ледниковых моренных песчаных отложениях [4].

Наиболее развитыми отраслями промышленности в Мурманской области являются горнодобывающая; цветная металлургия; рыбная промышленность; судоремонт [2]. Основным источником загрязнения природной среды центральной части Кольского полуострова является одно из главных предприятий ОАО «Норильский никель» — комбинат «Североникель» (г. Мончегорск), в состав атмосферных выбросов которого входят, в основном, диоксид серы и полиметаллическая пыль, содержащая тяжёлые металлы. На разных этапах технологического цикла в атмосферу поступает мелкодисперсная полиметаллическая пыль, содержащая смесь сульфидов и оксидов металлов: халькозина  $\text{Cu}_2\text{S}$ , халькопирита  $\text{CuFeS}_2$ , пирротина  $\text{Fe}_7\text{S}_8(\text{Ni}_x)$ , пентландита  $(\text{Ni}, \text{Fe})_9\text{S}_8$ , ковеллина  $\text{CuS}$ , куприта  $\text{Cu}_2\text{O}$ , тенорита  $\text{CuO}$ , а также металлических никеля и меди [5]. Кроме соединений тяжёлых металлов, в металлургической пыли присутствуют оксиды железа, силикаты кальция, магния, алюминия. Тонкие фракции обогащены соединениями свинца, цинка и мышьяка [5, 6]. В зависимости от размера и массы частиц, направления и силы ветра, а также других метеорологических факторов, пыль, содержащая металлы, оседает на почве, кроны деревьев, кустарников и кустарничков; цветковые растения, мхи и лишайники; крыши зданий и др. В результате в зоне воздействия промышленных

предприятий нарушается нормальное функционирование лесных экосистем вплоть до полного их разрушения и деградации, при этом сокращается видовое биоразнообразие, снижается продуктивность древостоев, разрушается напочвенный покров, происходит эрозия почвы [7–13]. Поллютанты оказывают как прямое токсическое действие на растительные организмы, так и косвенное; эти воздействия приводят к нарушению минерального питания растений, накоплению повышенных концентраций тяжёлых металлов в их органах, а также к торможению роста и развития [7, 14–19]. Однако при проведении натурных исследований в биогеоценозах, подвергающихся аэротехногенному загрязнению, крайне трудно оценить степень воздействия на растения конкретных загрязнителей, выделить вклад каждого из них, а также разделить влияние газообразных токсических веществ, в первую очередь, диоксида серы, и твёрдых выпадений, включающих тяжёлые металлы. Наиболее адекватным подходом для решения указанной проблемы является постановка вегетационных и полевых экспериментов [20–23]. В связи с этим, при сотрудничестве с Лапландским государственным биосферным заповедником в 1992 году в средневозрастных сосновых лесах фонового района Кольского полуострова, где отсутствуют визуально наблюдаемые повреждения растений, был заложен полевой эксперимент по исследованию влияния полиметаллической пыли, выбрасываемой в атмосферу комбинатом «Североникель», на компоненты лесных экосистем.

**Целью** настоящей работы является оценка воздействия почвенного загрязнения полиметаллической пылью на состояние и видовое разнообразие напочвенного покрова сосняка лишайниково-зеленомошного, а также анализ миграции ионов никеля и меди из загрязнённого органического горизонта Al-Fe-гумусового подзола в надземные части доминирующих видов растений и лишайников.

**Объекты и методика исследования.**

В настоящей работе представлены результаты для одного экспериментального участка в сосняке лишайниково-зеленомошном, давность последнего пожара в котором составляет 80 лет. Древостой представлен сосной обыкновенной с примесью ели сибирской, средний возраст деревьев сосны составляет около 60 лет, средняя высота – 8,6 м, диаметр на высоте 1,3 м – 12,3 см. Травяно-кустарничковый ярус в основном сформирован кустарничками: *Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus*, *Calluna vulgaris*, *Empetrum hermaphroditum*, в сложении мохово-лишайникового яруса принимают участие виды родов *Cladina* и *Cladonia* и различные виды мохообразных, из которых доминирует *Pleurozium schreberi*.

За период 1992–1997 гг. на поверхность снежного покрова экспериментального участка площадью 0,06 га было вручную рассыпано 33,8 кг полиметаллической пыли, отобранной с электрофильтров цеха рудной плавки комбината «Североникель». Полиметаллическая пыль была распределена пространственно неравномерно, что привело к формированию участков с разной степенью нарушенности напочвенного покрова. В 2014 году на экспериментальном участке было заложено 50 учётных площадок размером 50х50 см (0,25 м<sup>2</sup>) по грациям проективного покрытия мохово-лишайникового яруса: 0–10 % (максимальная степень разрушения напочвенного покрова), 10–30 %, 30–60 %, 60–80 %, 80–100 % (ненарушенный напочвенный покров). На каждой учётной площадке было измерено проективное покрытие всех слагающих напочвенный покров видов сосудистых растений, лишайников и мхов, а также были отобраны образцы органогенного горизонта (подстилки) Al-Fe-гумусового подзола и надземных частей брусники (*Vaccinium vitis-idaea*), мохообразных (*Pleurozium schreberi*) и лишайников (*Cladina stellaris*).

Оценка изменения видового разнообразия травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов произведена по среднему числу видов на учётных площадках в пределах граций индекса техногенной нагрузки.

Определение содержания кислоторастворимых форм металлов в подстилке (вытяжка 1,0 н HCl) проводили методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии [24, 25]. Для оценки уровня загрязнения почвы тяжёлыми металлами рассчитывали индекс техногенной нагрузки (I<sub>t</sub>), который представляет собой превышение суммарного содержания кислоторастворимых форм Ni, Cu и Co в подстилке над их суммарным фоновым содержанием, составляющим 16,2 мг/кг. Для удобства статистической обработки данных весь интервал индекса техногенной нагрузки был разбит на градации с шагом 5 отн. ед.

Образцы растительного материала (листья брусники, живые и отмершие части мха и лишайника) озоляли в муфельной печи при температуре 450°C, золу растворяли в 2,0 н HCl и в растворе определяли содержание Ni, Cu и Co методом атомно-абсорбционной спектрометрии в трёхкратной повторности [25].

Математическую обработку данных проводили в статистических пакетах программ с использованием описательной статистики, ANOVA, непараметрических методов и корреляционного анализа. Достоверность различий оценивали по критериям Фишера (F), Стьюдента (t) и Манна-Уитни (Z).

**Результаты и их обсуждение.** На учётных площадках экспериментального участка концентрации кислоторастворимых форм тяжёлых металлов в органогенном горизонте почвы варьируют: Ni – от 9,4 до 120 мг/кг, Cu – от 21,6 до 624 мг/кг, Co – от 1,0 до 8,4 мг/кг, а среднее содержание этих металлов в подстилке равно соответственно: Ni – 36,9±1,9, Cu – 214±14, Co – 3,2±0,1 мг/кг. Среднее значение индекса техногенной нагрузки на

экспериментальном участке равно 15,5 отн. ед., а интервал его варьирования составляет от 2,0 до 45,5 отн. ед., что соответствует суммарной концентрации кислоторастворимых форм Ni, Cu и Co в подстилке от 32,7 до 737 мг/кг.

На экспериментальном участке среднее число видов травяно-кустарничкового яруса варьирует от 2 до 6 видов. Наиболее часто встречаются кустарнички: *Vaccinium vitis-idaea* (встречаемость 100 %), *Calluna vulgaris* Hull (62 %), *Vaccinium myrtillus* (52 %), *Empetrum hermaphroditum* (42 %), встречаемость травянистых растений существенно меньше: *Avenella flexuosa* Drej. (35 %), *Luzula pilosa* Willd. (25 %), *Melampyrum pratense* (17 %). Среднее число видов травяно-кустарничкового яруса достоверно различается по грациям индекса техногенной нагрузки ( $F=2,47$ ,  $p=0,03$ ) (рис. 1), однако коэффициент корреляции между этими параметрами незначим ( $r=0,08$ ,  $p>0,05$ ), что свидетельствует об отсутствии однонаправленного изменения видового разнообразия травяно-кустарничкового яруса с увеличением уровня загрязнения почвы тяжёлыми металлами.

На экспериментальном участке среднее значение общего проективного покрытия травяно-кустарничкового яруса составляет  $15,1 \pm 1,4$  % (диапазон варьирования – 4,0–45,1 %), и оно достоверно не изменяется по грациям индекса техногенной нагрузки, так же, как и отсутствуют достоверные различия в проективном покрытии отдельных видов кустарничков ( $F=0,53$ –1,18,  $p=0,38$ –0,78). Отсутствие связи проективного покрытия яруса и отдельных видов кустарничков с уровнем загрязнения почвы тяжёлыми металлами подтверждено корреляционным анализом ( $r=-0,26$ –0,08,  $p>0,05$ ).

Таким образом, в условиях полевого эксперимента общее проективное покрытие и среднее число видов травяно-кустарничкового яруса существенно не изменяются, при этом изменение всех исследуемых параметров не коррелирует с уровнем загрязнения почвы тяжёлыми металлами. Следовательно, можно заключить, что травяно-кустарничковый ярус лишайниково-зеленомошного сосняка устойчив к загрязнению почв тяжёлыми металлами в исследованном интервале индекса техногенной нагрузки (2,0–45,5 отн. ед.).

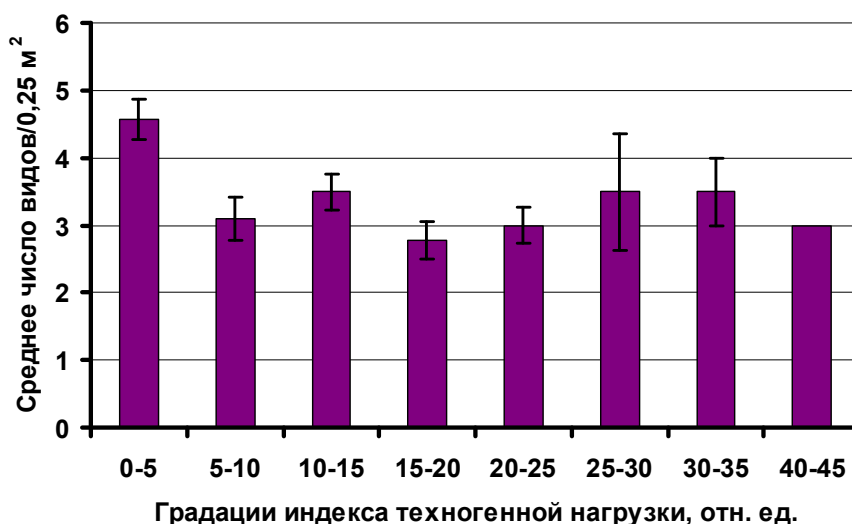


Рис. 1. Среднее число видов травяно-кустарничкового яруса на учётных площадках по градиенту уровня загрязнения почвы тяжёлыми металлами

Число видов мохово-лишайникового яруса на учётных площадках экспериментального участка в среднем составляет 10 и варьирует от 3 до 16, при этом по грациям индекса техногенной нагрузки регистрируются достоверные различия ( $F=2,53$ ,  $p=0,03$ ) (рис. 2), однако однонаправленного снижения среднего числа видов мохово-лишайникового яруса с увеличением уровня загрязнения почвы не выявлено, что подтверждается отсутствием корреляции между этими параметрами ( $r=0,24$ ,  $p>0,05$ ). В лишайниковом покрове абсолютно доминирует и по проективному покрытию, и по встречаемости *Cladina rangiferina* (встречаемость на учётных площадках 100 %). Другими доминирующими видами по встречаемости являются *Cl. mitis* (81 %), *Cl. stellaris* (38 %) и раннесукцессионные виды р. *Cladonia*, встречаемость которых варьирует от 44 % (*Cladonia deformis*) до 71 % (*Cladonia crispata*), но их проективное покрытие невелико, в основном, 0,01–3 %, и лишь у *Cladonia uncialis* оно может достигать 10 %. В моховом покрове наибольшей встречаемостью обладает *Pleurozium schreberi* (90 %) и виды р. *Dicranum* (65 %), а также *Pohlia nutans* (35 %).

Общее проективное покрытие мохово-лишайникового яруса на площадках с ненарушенным напочвенным покровом составляет в среднем  $80 \pm 2$  %. С увеличением уровня загрязнения почвы тяжёлыми металлами наблюдается тенденция к снижению

общего покрытия яруса с 55 до 17 %, которая статистически не подтверждается (рис. 3). Различия в проективном покрытии яруса недостоверны вследствие очень значительного варьирования этого параметра по градиенту техногенной нагрузки, коэффициент вариации в большинстве случаев превышает 50 % (50–90 %). Корреляционный анализ данных не выявил значимой связи между общим проективным покрытием мохово-лишайникового яруса и индексом техногенной нагрузки ( $r=-0,21$ ,  $p>0,05$ ), что обусловлено существенным варьированием обоих параметров на учётных площадках.

Общее проективное покрытие лишайников на экспериментальном участке составляет в среднем  $28 \pm 3$  %, варьирует в достаточно узких пределах 16–35 %, достоверно не различаясь с увеличением индекса техногенной нагрузки, и не связано с уровнем загрязнения почвы тяжёлыми металлами ( $r=0,05$ ,  $p>0,05$ ). В лишайниковом покрове наибольшее проективное покрытие отмечено у *Cladina rangiferina*, что характерно для данной стадии восстановительной сукцессии в лишайниково-зеленомошных сосновых лесах. На экспериментальном участке оно составляет в среднем  $18,4 \pm 2,6$  %, интервал его варьирования достаточно узок 14,5–22,3 %, и средние значения этого показателя достоверно не различаются на площадках с разным уровнем загрязнения почвы тяжёлыми металлами ( $F=0,20$ ,  $p=0,98$ ).

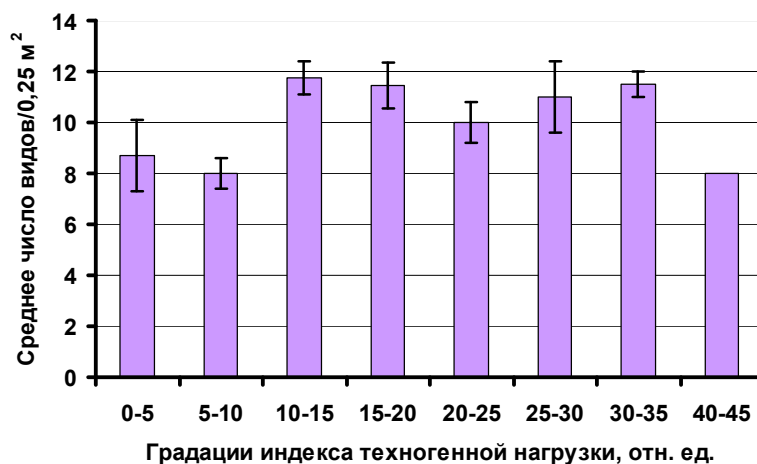


Рис. 2. Среднее число видов мхов и лишайников мохово-лишайникового яруса на учётных площадках по градиенту уровня загрязнения почвы тяжёлыми металлами

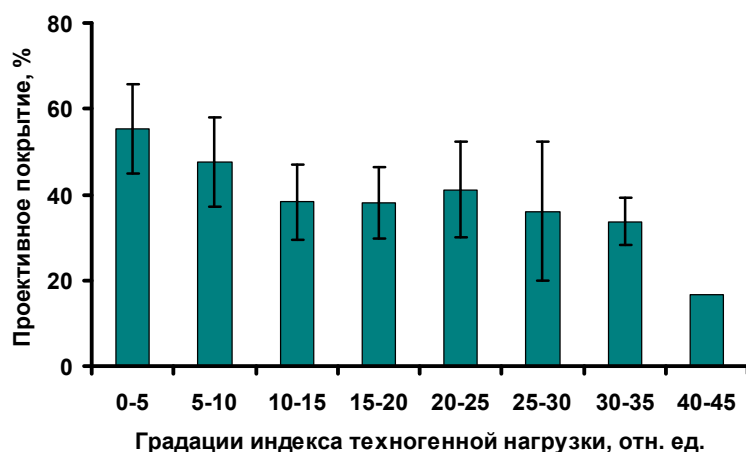


Рис. 3. Общее проективное покрытие мохово-лишайникового яруса по градиенту уровня загрязнения почвы тяжёлыми металлами

Следует особо остановиться на участии раннесукцессионных видов лишайников р. *Cladonia* в сложении мохово-лишайникового яруса на экспериментальном участке сосняка лишайниково-зеленомошного. Их проективное покрытие в среднем составляет  $4,5 \pm 0,6$  %, с увеличением индекса техногенной нагрузки оно достоверно возрастает с 1,1 до 8,6 % ( $F=3,56$ ,  $p=0,004$ ) и значимо коррелирует с уровнем загрязнения почвы тяжёлыми металлами ( $r=0,39$ ,  $p=0,005$ ).

Общее проективное покрытие мохообразных на экспериментальном участке в среднем равно  $14 \pm 3$  %, размах варьирования – от 0 до 87 %. Проективное покрытие мхов достоверно не различается по градациям индекса техногенной нагрузки ( $F=1,44$ ,  $p=0,22$ ) из-за значительного варьирования обоих показателей, при этом оно отрицательно связано с уровнем загрязнения почвы тяжёлыми металлами, правда, коэффициент корреляции невелик ( $r=-0,30$ ,  $p=0,04$ ). Из мохообразных наибольшее проективное покрытие имеет *Pleurozium schreberi*, которое в среднем составляет  $13,1 \pm 3,6$  %, варьируя от 0 до 86 % и достоверно не различаясь на площадках с разным уровнем загрязнения почвы ( $F=1,55$ ,  $p=0,19$ ).

Таким образом, в условиях полевого эксперимента в сложении мохово-

лишайникового яруса участвуют от 3 до 16 видов, при этом число видов мхов и лишайников достоверно различается по градациям индекса техногенной нагрузки, но значимо не связано с уровнем загрязнения почвы. Общее проективное покрытие яруса существенно не изменяется в исследованном интервале индекса техногенной нагрузки (2,0–45,5 отн. ед.) вследствие высокой степени варьирования обоих параметров. Более благоприятный режим влагообеспеченности в лишайниково-зеленомошных сосновых лесах по сравнению с более сухими лишайниковыми сосняками, по-видимому, препятствует разрушению мохово-лишайникового яруса под воздействием загрязнения почвы тяжёлыми металлами. Однако возрастание доли участия раннесукцессионных видов р. *Cladonia* в лишайниковом покрове свидетельствует о нарушении структуры мохово-лишайникового яруса под воздействием загрязнения почвы тяжёлыми металлами.

В фоновых лишайниково-зеленомошных сосновых лесах при давности пожара 80 лет общее проективное покрытие травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов составляет в среднем 22 и 75 %, а проективное покрытие диагностических видов (*Pleurozium schreberi*) и групп видов (р. *Cladonia* и

р. *Cladonia*) – 33, 35 и 2,5 % соответственно [26]. Сопоставление этих данных и соответствующих средних значений на экспериментальном участке (15, 42, 13, 26 и 4,5 %) показывает, что последние практически во всех случаях меньше, за исключением проективного покрытия видов р. *Cladonia*.

Результаты химического анализа листьев брусники с экспериментального участка показали, что диапазон варьирования содержания тяжёлых металлов довольно узкий: Ni – 2,0–7,5; Cu – 1,5–5,9; Co – 0,02–0,2 мг/кг сух. в-ва, причём концентрации никеля достоверно больше меди ( $t=2,49$ ,  $p=0,014$ ;  $Z=2,21$ ,  $p=0,027$ ). Значимая связь между содержанием тяжёлых металлов в листьях кустарничка и подстилке выявлена только для Ni, однако коэффициент корреляции невелик ( $r=0,29$ ,  $p<0,05$ ). Отсутствие взаимосвязи между содержанием тяжёлых металлов в почве и листьях кустарничка, скорее всего, обусловлено биологическими особенностями данного вида. Брусника – вечнозелёный вегетативно подвижный кустарничек, относящийся к

явнополицентрическому типу биоморф [27]. В связи с этим площадь питания отдельных парциальных кустов брусники достаточно велика и вследствие пространственной неравномерности уровня загрязнения подстилки тяжёлыми металлами их накопление в ассимиляционных органах кустарничка весьма ограничено.

Содержание Ni и Cu в живых частях мха *Pleurozium schreberi* на учётных площадках варьирует в пределах 5,9–27,9 и 3,8–15,8 мг/кг сух. в-ва соответственно, а Co не превышает 1,3 мг/кг сух. в-ва, причём концентрации располагаются в ряду убывания:  $Ni > Cu > Co$  (рис. 4). Содержание тяжёлых металлов в мёртвых частях мха достоверно больше по сравнению с таковым в живых частях [ $t=-(2,10-4,54)$ ,  $p=0,0001-0,039$ ;  $Z=-(2,04-2,92)$ ,  $p=0,003-0,04$ ] и в среднем составляет: Ni –  $17,4 \pm 1,4$ ; Cu –  $7,6 \pm 0,6$ ; Co –  $0,9 \pm 0,1$  мг/кг сух. в-ва. Выявлены значимые связи между содержанием тяжёлых металлов в живых и мёртвых частях *Pl. schreberi* и концентрациями их кислоторастворимых форм в подстилке ( $r=0,59-0,74$ ,  $p<0,05$ ).

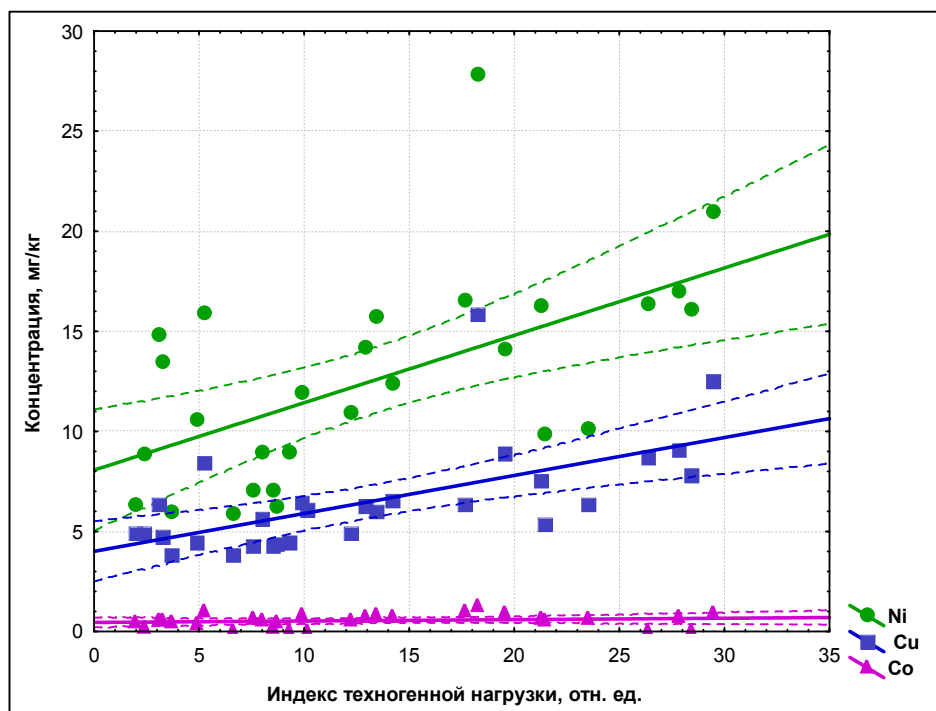


Рис. 4. Зависимость содержания никеля, меди и кобальта в живых частях мха *Pleurozium schreberi* от индекса техногенной нагрузки.

На территории экспериментального участка наименьшими интервалами варьирования содержания тяжёлых металлов характеризовался лишайник *Cladina stellaris*. В живых частях талломов концентрации варьировали в следующих пределах: Ni – 1,9–4,8; Cu – 1,2–3,9; Co – 0,1–1,4 мг/кг сух. в-ва. Содержание первых двух металлов в мёртвых частях было достоверно больше [ $t=-(4,36-5,05)$ ,  $p=0,00003-0,0002$ ;  $Z=-(3,55-3,64)$ ,  $p=0,003-0,004$ ] и в среднем составляло: Ni –  $6,5 \pm 1,5$ ; Cu –  $5,8 \pm 1,7$  мг/кг сух. в-ва, а концентрации Co в живых и мёртвых частях талломов достоверно не различались и в среднем были равны  $0,2 \pm 0,1$  и  $0,3 \pm 0,2$  мг/кг сух. в-ва соответственно. Между содержанием тяжёлых металлов в мёртвых частях лишайника и подстилке существуют значимые связи, коэффициенты корреляции варьируют от 0,61 до 0,77 ( $p < 0,05$ ), при этом для живых частей талломов такие связи незначимы. Это подтверждает гипотезу о том, что поступление тяжёлых металлов в талломы лишайника контролируется капиллярными силами. Известно, что мёртвые части подстилки выполняют функции капилляров, по которым происходит поднятие водно-минерального раствора из субстрата к живой части [28, 29].

Сопоставление средних концентраций Ni, Cu и Co, регистрируемых в листьях брусники, живых частях мха и лишайника на экспериментальном участке, с их фоновым содержанием показывает лишь 1,3–3-кратное его увеличение, что не превышает порога токсичности тяжёлых металлов для растительных организмов. Это свидетельствует о незначительной миграции тяжёлых металлов из загрязнённой почвы в надземные части растительных организмов. Таким образом, в условиях полевого эксперимента повышенные концентрации тяжёлых металлов в ассимиляционных органах растений и живых частях талломов лишайника не являются летальными для их жизнедеятельности.

Следует особо остановиться на соотношении концентраций Ni:Cu в подстилке и растительном материале, которое принципиально различается в надземных частях растений и лишайников и лесной подстилке. Как было отмечено выше, содержание кислоторастворимых форм Cu в органогенном горизонте почвы всегда существенно больше по сравнению с таковым Ni, что в большой степени определяется химической природой металлов: медь – сильный комплексообразователь и образует прочные комплексы с органическим веществом почвы; прочность аналогичных комплексов с никелем значительно меньше и его подвижность в почве намного меньше [11, 19]. В то же время в растительном материале отмечается обратное соотношение концентраций этих металлов: в листьях брусники, надземных частях мха и лишайника во всех случаях содержание Ni превышает таковое Cu. Известно, что поступление ионов никеля в надземную часть растения из среды (почвы или питательного раствора) с повышенным его содержанием происходит быстрее по сравнению с ионами меди, а уровень его накопления в надземной части растения обычно значительно выше по отношению к ионам меди [19, 30].

**Закключение.** В условиях полевого эксперимента по искусственному внесению полиметаллической пыли, выбрасываемой в атмосферу комбинатом «Североникель» (Мурманская обл.), на поверхность снежного покрова в сосняке лишайниково-зеленомошном регистрируется пространственно неоднородное загрязнение верхнего органогенного горизонта Al-Fe-гумусового подзола техногенными соединениями Ni, Cu, Co, суммарная концентрация кислоторастворимых форм которых варьирует в пределах от 32,7 до 737 мг/кг, что соответствует интервалу индекса техногенной нагрузки 2,0–45,5 отн. ед. Почвенное загрязнение тяжёлыми металлами приводит к 1,3–3-кратному увеличению суммарного содержания Ni, Cu, Co в

ассимиляционных органах брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) и мха (*Pleurozium schreberi*), а также живых частях талломов лишайника *Cladina stellaris*, при этом концентрации металлов располагаются в ряду убывания  $Ni > Cu > Co$ . Столь незначительное повышение концентраций тяжёлых металлов в растительных организмах не достигает токсического порога и не является летальным для их жизнедеятельности.

В пределах экспериментального участка лишайниково-зеленомошного сосняка травяно-кустарничковый ярус устойчив к загрязнению почв тяжёлыми металлами в интервале индекса техногенной нагрузки 2,0–45,5 отн. ед., т. к. общее проективное покрытие и среднее число видов травяно-кустарничкового яруса существенно не изменяются и отсутствует корреляция исследуемых параметров с уровнем загрязнения почвы тяжёлыми металлами.

На территории экспериментального участка в сложении мохово-лишайникового яруса участвуют от 3 до 16 видов, при этом число видов мхов и лишайников достоверно различается по грациям индекса техногенной нагрузки, но значимо не связано с уровнем загрязнения почвы. Вследствие высокой степе-

ни варьирования общее проективное покрытие яруса изменяется незначительно в исследованном интервале индекса техногенной нагрузки. Более благоприятный режим влагообеспеченности в лишайниково-зеленомошных сосновых лесах по сравнению с более сухими лишайниковыми сосняками, по-видимому, препятствует разрушению мохово-лишайникового яруса под воздействием загрязнения почвы тяжёлыми металлами. Однако возрастание доли участия раннесукцессионных видов р. *Cladonia* в лишайниковом покрове экспериментального участка свидетельствует о нарушении структуры мохово-лишайникового яруса под воздействием загрязнения почвы тяжёлыми металлами.

Сниженные значения общего проективного покрытия нижних ярусов, диагностического вида мохообразных *Pleurozium schreberi* и диагностической группы лишайников р. *Cladina*, а также повышенная величина покрытия раннесукцессионных видов р. *Cladonia* свидетельствуют о торможении процесса восстановления напочвенного покрова сосняка лишайниково-зеленомошного под воздействием загрязнения почвы тяжёлыми металлами в ходе постпирогенной сукцессии.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты №14-04-01394-а и №14-04-10112-к).

#### Список литературы

1. Цветков, В.Ф. Классификационные типологические схемы и лесорастительное районирование Мурманской области / В.Ф. Цветков, В.Г. Чертовской. – Архангельск: Архангельский институт леса и лесохимии, 1978. – 35 с.
2. Кольская энциклопедия. Мурманск, 2008. <http://kolaenc.gov-murman.ru>
3. Цветков, В.Ф. Сосняки Крайнего Севера / В.Ф. Цветков, И.В. Семенов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 116 с.
4. Переверзев, В.Н. Почвообразование в лесной зоне Кольского полуострова / В.Н. Переверзев // Вестник КНЦ РАН. – 2011. – № 2. – С. 74–82.
5. Баркан, В.Ш. Загрязнение почвы никелем и медью от промышленного источника металлургических пылей / В.Ш. Баркан // Экологические проблемы Северных регионов и пути их решения: Материалы Всеросс. науч. конф. с международным участием. – Апатиты: КНЦ РАН, 2008. – Ч. 1. – С. 46–51.
6. Barcan, V. Leaching of nickel and copper from a soil contaminated by metallurgical dust / V. Barcan // Environmental International. – 2002. – Vol. 28, N 1–2. – Pp. 63–68.
7. Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова / Под ред. Б.Н. Норина, В.Т. Ярмишко. – Л.: Наука, 1990. – 195 с.
8. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / Под ред. В.А. Алексеева. – Л.: Наука, 1990. – 200 с.
9. Проблемы экологии растительных сообществ Севера / Под ред. В.Т. Ярмишко. – СПб.: ООО «ВВМ», 2005. – 450 с.
10. Лукина, Н.В. Техногенные сукцессии в лесах Кольского полуострова / Н.В. Лукина, Т.В. Черненко // Экология. – 2008. – № 5. – С. 329–337.

11. Динамика лесных сообществ Северо-Запада России / Под ред. В.Т. Ярмишко. – СПб.: ВВМ, 2009. – 276 с.
12. Хански, И. Ускользящий мир: экологические последствия утраты местообитаний / И. Хански. – М.: Мир, 2010. – 340 с.
13. Черненко, Т.В. Биоразнообразие лесного покрова при техногенном загрязнении / Т.В. Черненко // Экология. – 2014. – № 1. – С. 3–13.
14. Лукина, Н.В. Биогеохимические циклы в лесах севера в условиях аэротехногенного загрязнения / Н.В. Лукина, В.В. Никонов. – Апатиты: КНЦ РАН, 1996. – Ч. 1. – 213 с.; Ч. 2. – 192 с.
15. Лукина, Н. В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты / Н.В. Лукина, В.В. Никонов. – Апатиты: КНЦ РАН, 1998. – 316 с.
16. Лянгузова, И.В. Химический состав растений при атмосферном и почвенном загрязнении / И.В. Лянгузова, О.Г. Чертов // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – Л.: Наука, 1990. – С. 75–86.
17. Лянгузова, И.В. Тяжелые металлы в системе почва–растение: подвижность, поступление и распределение / И.В. Лянгузова // Проблемы экологии растительных сообществ Севера. – СПб.: ООО «ВВМ», 2005. – С. 175–189.
18. Лянгузова, И.В. Динамика содержания никеля и меди в растениях сосновых лесов Кольского полуострова в условиях аэротехногенного загрязнения / И.В. Лянгузова // Растительные ресурсы. – 2008. – Т. 44, вып. 4. – С. 91–98.
19. Лянгузова, И.В. Динамика атмосферных выбросов предприятия по производству цветных металлов и накопление токсических веществ в растениях и почве / И.В. Лянгузова // Динамика лесных сообществ Северо-Запада России / Под ред. В.Т. Ярмишко. – СПб.: ВВМ, 2009. – С. 25–58.
20. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
21. Титов, А.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам / А.Ф. Титов, В.В. Таланова, Н.М. Казнина, Г.Ф. Лайдинен. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. – 172 с.
22. Елькина, Г.Я. Поведение меди в системе почва–растение в условиях Европейского Северо-Востока / Г.Я. Елькина // Агрохимия. – 2008. – № 6. – С. 72–79.
23. Костюк, В.И. Устойчивость овса к тяжелым металлам / В.И. Костюк. – Апатиты: КНЦ РАН, 2009. – 117 с.
24. Практикум по агрохимии. – М.: МГУ, 2001. – 689 с.
25. Методы изучения лесных сообществ / Под ред. В.Т. Ярмишко, И.В. Лянгузовой. – СПб.: НИИХимии, 2002. – 240 с.
26. Горшков, В.В. Травяно-кустарничковый и мохово-лишайниковый ярусы в сосновых лесах / В.В. Горшков, И.Ю. Баккал // Динамика лесных сообществ Северо-Запада России. – СПб.: ВВМ, 2009. – С. 73–87.
27. Смирнова, О.В. Объем счетной единицы при изучении ценопопуляций растений различных биоморф / О.В. Смирнова // Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). – М.: Наука, 1976. – С. 72–80.
28. Андреев, В.Н. Прирост кормовых лишайников и приемы его регулирования / В.Н. Андреев // Труды БИН АН СССР. Сер. 3. Геоботаника. – 1954. – Вып. 9. – С. 11–74.
29. Малышева, Т.В. Влияние искусственного изменения влажности почвы на рост лесных наземных мхов и лишайников / Т.В. Малышева // Экология. – 1981. – № 4. – С. 12–18.
30. Тэмп, Г.А. Никель в растениях в связи с его токсичностью (Обзор) / Г.А. Тэмп // Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов. – Л.: Наука, 1991. – С. 139–146.

Статья поступила в редакцию 20.08.15

#### Информация об авторах

**ЛЯНГУЗОВА Ирина Владимировна** – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук. Область научных интересов – экология, охрана окружающей среды, аналитическая химия. Автор 85 публикаций, в том числе пяти коллективных монографий.

**ГОРШКОВ Вадим Викторович** – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук. Область научных интересов – биогеоценология, лесоведение, охрана окружающей среды. Автор 155 публикаций, в том числе четырех коллективных монографий.

**БАККАЛ Ирина Юрьевна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук. Область научных интересов – биогеоценология, экология, охрана окружающей среды. Автор 60 публикаций, в том числе трех коллективных монографий.

**БОНДАРЕНКО Маргарита Сергеевна** – аспирант, Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук. Область научных интересов – экология, охрана окружающей среды. Автор пяти публикаций.

UDC 630\*424.5:581.52: 504.5

# INFLUENCE OF SOIL POLLUTION (HEAVY METALS) ON THE LICHEN PINE FOREST SOIL COVER IN CONDITIONS OF FIELD EXPERIMENT

**I. V. Lyanguzova, V. V. Gorshkov, I. Yu. Bakka, M. S. Bondarenko**

Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences,  
2, Professora Popova St., Saint-Petersburg, 197376, Russian Federation  
E-mail: ILyanguzova@binran.ru

**Key words:** forest ecosystems; heavy metals; environment pollution; soil cover; field experiments; Kola Peninsula.

## ABSTRACT

The results of a long-term field experiment of the polymetallic dust influence, vented by «Severonikel» (Monchegorsk, Kola Peninsula), on the condition and species composition of soil cover in lichen pine forest as well as migration of Ni, Cu, Co out from the polluted soil into the dominant herbs and lichens were reflected. In case of hand application of the polymetallic dust on the surface of snow cover in lichen pine forest, spatially heterogeneous pollution of the upper organic horizon with manmade compounds of heavy metals (total concentration of acid-soluble forms of which varies within 32,7 – 737 mg/kg) was observed. The grass-shrub layer of lichen pine forest is sustainable to soil pollution with Ni, Cu and Co within the index of manmade load 2,0–45,5 of relative units (no strong changes of projective cover and species diversity as well as no correlation of the studied parameters with the level of soil pollution with heavy metals prove the idea). Lichenous-moss carpet is very sensitive to the polymetallic dust application, causing the change in species composition and lowering of projective cover. Soil pollution with heavy metals leads to 1,3–3-times increase of the total composition of Ni, Cu, Co in the assimilatory body of red bilberry (*Vaccinium vitis-idaea*) and moss (*Pleurozium schreberi*), as well as living parts of lichen thallus *Cladonia stellaris*, which is significantly lower than toxic boundary and is not fatal for living. Decrease of projective cover in lower layers of lichen pine forest, the muscoid *Pleurozium schreberi* and the lichens of *Cladonia* family as well as increase of *Cladonia* family is the evidence of slowing down of the process of soil cover recovery under the influence of biogeocenose pollution with heavy metals in the course of postpyrogenic succession.

The research was carried out with some support of Russian Foundation for Basic Research (grants №14-04-01394-a and №14-04-10112-к).

## REFERENCES

1. Tsvetkov V.F., Chertovskiy V.G. *Klassifikatsionnye tipologicheskie skhemy i lesorastitelnoe rayonirovanie Murmanskoy oblasti* [Classification and Typological Schemes and Forest Growth Zoning in the Murmansk Oblast]. Arkhangelsk: Arkhangelskiy institut lesa i lesokhimii, 1978. 35 p.
2. Kolskaya entsiklopediya [Kola Encyclopedia]. Murmansk, 2008. URL : <http://kolaenc.gov-murman.ru>.
3. Tsvetkov V.F., Semenov I.V. *Sosnyaki Kraynego severa* [Pine Forest in the Far North Region]. Moscow: Agropromizdat, 1985. 116 p.
4. Pereverzev V.N. Pochvoobrazovanie v lesnoy zone Kolskogo poluostrova [Soil Formation in the Kola Peninsula Forests]. *Vestnik KNTS RAN* [Vestnik of Kola Research Center, RAS.]. 2011. № 2. Pp. 74–82.
5. Barkan V.Sh. Zagryaznenie pochvy nikelom i medyu ot promyshlennogo istochnika metallurgicheskikh pyley [Soil Pollution with Nickel and Copper Caused by the Industrial Source (Metallurgical Dust)]. *Ekologicheskie problemy Severnykh regionov i puti ikh resheniya: Materialy Vseross. nauch. konf. s mezhdunarodnym uchastiem* [Ecological Problems in the Northern Regions and the Ways to Solve Them: proceedings of Russian research conference with international participation]. Apatity: KNTS RAN, 2008. P. 1. Pp. 46–51.
6. Barcan V. Leaching of nickel and copper from a soil contaminated by metallurgical dust. *Environmental International*. 2002. Vol. 28, N 1–2. Pp. 63–68.
7. Vliyanie promyshlennogo atmosfernogo zagryazneniya na sosnovye lesa Kolskogo poluostrova: pod red. B.N. Norina, V.T. Yarmishko [Influence of Industrial Pollution on the Pine Forests of the Kola Peninsula: under the editorship of B.N. Norin and V.T. Yarmishko]. Leningrad: Nauka, 1990. 195 p.

8. Lesnye ekosistemy i atmosfernoe zagryaznenie: pod red. V.A. Alekseeva [Forest Ecosystems and Air Pollution: under the editorship of V.A. Alekseev]. Leningrad: Nauka, 1990. 200 p.
9. Problemy ekologii rastitelnykh soobshchestv Severa: pod red. V.T. Yarmishko [Ecological Problems of Northern Plant Societies under the editorship of V.T. Yarmishko]. Saint-Petersburg: LLC «VVM», 2005. 450 p.
10. Lukina N.V., Chernenkova T.V. Tekhnogennye suksessii v lesakh Kolskogo poluostrova [Manmade Successions in the Kola Peninsula Forests]. *Ekologiya* [Ecology]. 2008. № 5. Pp. 329–337.
11. Dinamika lesnykh soobshchestv Severo-Zapada Rossii: pod red. V.T. Yarmishko [Forest Societies Dynamics in Russian North-West: under the editorship of V.T. Yarmishko]. Saint-Petersburg: VVM, 2009. 276 p.
12. Khanski I. *Uskolzaushchiy mir: ekologicheskie posledstviya utraty mestoobitaniy* [Escaping World: Ecological Consequences of the Loss of the Habitat]. Moscow: Mir, 2010. 340 p.
13. Chernenkova T.V. *Bioraznoobrazie lesnogo pokrova pri tekhnogennom zagryaznenii* [Biodiversity of Forest Cover when Manmade Pollution]. *Ekologiya* [Ecology]. 2014. № 1. Pp. 3–13.
14. Lukina N.V., Nikonov V.V. *Biogekhimicheskie tsikly v lesakh severa v usloviyakh aerotekhnogennoho zagryazneniya* [Biogeochemical Cycles in the Northern Forests in Conditions of Manmade Pollution]. Apatity: KNTS RAN, 1996. Pt. 1. 213 p.; Pt. 2. 192 p.
15. Lukina N.V., Nikonov V.V. *Pitatelnyy rezhim lesov severnoy taygi: prirodnye i tekhnogennyye aspekty* [Nutritive Regime in Northern Taiga Forests: Natural and Manmade Aspects]. Apatity: KNTS RAN, 1998. 316 p.
16. Lyanguzova I.V., Chertov O.G. Khimicheskii sostav rasteniy pri atmosfernom i pochvennom zagryaznenii [Chemical Composition of Plants when Air and Soil Pollution]. *Lesnye ekosistemy i atmosfernoe zagryaznenie* [Forest Ecosystems and Air Pollution]. Leningrad: Nauka, 1990. Pp. 75–86.
17. Lyanguzova I.V. Tyazhelye metally v sisteme pochva–rastenie: podvizhnost, postuplenie i raspredelenie [Heavy Metals in the System Soil-Plant: Mobility, Entry and Distribution]. *Problemy ekologii rastitelnykh soobshchestv Severa* [Ecological Problems of Northern Plant Societies]. Saint-Petersburg: LLC «VVM», 2005. Pp. 175–189.
18. Lyanguzova I.V. Dinamika soderzhaniya nikelya i medi v rasteniyakh sosnovykh lesov Kolskogo poluostrova v usloviyakh aerotekhnogennoho zagryazneniya [Dynamics of Nickel and Cuprum Content in the Plants of the Kola Peninsula Pine Forests in Conditions of Air Pollution]. *Rastitelnye resursy* [Plant Resources.]. 2008. Vol. 44, Issue 4. Pp. 91–98.
19. Lyanguzova I.V. Dinamika atmosfernykh vybrosov predpriyatiya po proizvodstvu tsvetnykh metallov i nakoplenie toksicheskikh veshchestv v rasteniyakh i pochve [Dynamics of Air Emission of a Manufacturer of Nonferrous Metals and Accumulation of Toxins in Plants and Soil]. *Dinamika lesnykh soobshchestv Severo-Zapada Rossii: pod red. V.T. Yarmishko* [Dynamics of Forest Societies in the Russian North-West: under the editorship of V.T. Yarmishko]. Saint-Petersburg: VVM, 2009. Pp. 25–58.
20. Ilin V.B. *Tyazhelye metally v sisteme pochva–rastenie* [Heavy Metals in the Soil-Plant System]. Novosibirsk: Nauka, 1991. 151 p.
21. Titov A.F., Talanova V.V., Kaznina N.M., Laidinen G.F. *Ustoychivost rasteniy k tyazhelym metallam* [Plants Resistance to Heavy Metals]. Petrozavodsk: KarNTS RAN, 2007. 172 p.
22. Elkina G.Ya. Povedenie medi v sisteme pochva–rastenie v usloviyakh Evropeyskogo Severo-Vostoka [Cuprum Behaviour in the Soil-Plant System in the European North-East]. *Agrokimiya* [Agrochemistry]. 2008. № 6. Pp. 72–79.
23. Kostyuk V.I. *Ustoychivost ovsa k tyazhelym metallam* [Oat Resistance to Heavy Metals]. Apatity: KNTS RAN, 2009. 117 p.
24. Praktikum po agrokhimii [Practical Guide on Agrochemistry]. Moscow: MSU, 2001. 689 p.
25. Metody izucheniya lesnykh soobshchestv: pod red. V.T. Yarmishko, I.V. Lyanguzovoy [Methods for Forest Society Study: under the editorship of V.T. Yarmishko, I.V. Lyanguzova]. Saint-Petersburg: NIIKhimii, 2002. 240 p.
26. Gorshkov V.V., Bakkal I.Yu. Travyanokustarnichkovyy i mokhovo-lishaynikovyy yarusy v sosnovykh lesakh [Grass-Shrub and Moss-Lichen Layers in Pine Forests]. *Dinamika lesnykh soobshchestv Severo-Zapada Rossii* [Forest Societies Dynamics in Russian North-Western Regions]. Saint-Petersburg: VVM, 2009. Pp. 73–87.
27. Smirnova O.V. Obem schetnoy edinitsy pri izuchenii tsenopopulyatsiy rasteniy razlichnykh biomorf [The Size of the Unit of Time when Studying Plants Cenopopulation of Various Biomorphes]. *Tsenopopulyatsii rasteniy (osnovnye ponyatiya i struktura)* [Plants Cenopopulations (basic ideas and structure)]. Moscow: Nauka, 1976. Pp. 72–80.
28. Andreev V.N. Prirost kormovykh lishaynikov i priemy ego regulirovaniya [Accretion of Forage Lichens and the Ways for its Regulation]. *Trudy BIN AN SSSR. Ser.3. Geobotanika* [Transactions of Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, USSR. Ser. 3. Geobotany]. 1954. Issue 9. Pp. 11–74.
29. Malysheva T.V. Vliyanie iskusstvennogo izmeneniya vlazhnosti pochvy na rost lesnykh nazemnykh mkhov i lishaynikov [Influence of Manmade Soil Moisture Change on the Growth of Forest Moss and Lichens]. *Ekologiya* [Ecology]. 1981. № 4. Pp. 12–18.

30. Temp G.A. *Nikel v rasteniyakh v svyazi s ego toksichnostu (Obzor) [Nikel in Plants and its Toxicity (review)]. Ustoychivost k tyazhelym metallam dikorastushchikh vidov [Resistance to Heavy Metals of Wild-Growing Species]*. Leningrad: Nauka, 1991. Pp. 139–146.

The article was received 20.08.15.

**Citation for an article:** Lyanguzova I. V., Gorshkov V. V., Bakkal I. Yu., Bondarenko M. S. Influence of soil pollution (heavy metals) on the lichen pine forest soil cover in conditions of field experiment. Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2015. No 3 (27). Pp. 74-86.

#### Information about the authors

*LYANGUZOVA Irina Vladimirovna* – Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences. Research interests – ecology, environment protection, analytical chemistry. The author of 85 publications, including five multi-authored monographs.

*GORSHKOV Vadim Victorovich* – Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences. Research interests – biogeocenology, forestry, environment protection. The author of 155 publications, including four multi-authored monographs.

*BAKKAL Irina Yuriyevna* – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences. Research interests – biogeocenology, ecology, environment protection. The author of 60 publications, including three multi-authored monographs.

*BONDARENKO Margarita Sergeyevna* – Postgraduate student, Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences. Research interests – ecology, environment protection. The author of five publications.

## ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

УДК 630\*2

### **ИТОГИ III-й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА» И ОЧЕРЕДНОЙ СЕССИИ РКСД**

21–23 сентября 2015 года в Костромском государственном технологическом университете прошла III-я Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса» и очередная сессия Регионального координационного совета по современным проблемам древесиноведения.

К началу работы конференции был издан сборник научных трудов, содержащих результаты теоретических и экспериментальных работ в областях исследования строения и свойств древесины и древесных материалов, современных технологических процессов получения изделий из древесины, прогрессивных технологий и техники лесозаготовительного и лесовосстановительного производств, экологических и экономических аспектов технологии лесовосстановительных, лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств.

Началась конференция с минуты молчания, слов памяти и фильма о председателе координационного совета по современным проблемам древесиноведения, заслуженного деятеля науки РФ, академика Международной академии наук о древесине, почётного члена РАЕН, доктора технических наук, профессора Бориса Наумовича Уголева, ушедшего из жизни в этом году. С 1990 года он возглавлял Координационный совет по древесиноведе-

нию (РКСД) под эгидой Международной академии наук о древесине, внёс неоспоримый вклад в развитие древесиноведческой науки, опубликовал известные учебники для студентов вузов. Его исследования в области физики и механики древесины заложили основы таких научных направлений, как реология, внутренние напряжения, неразрушающие методы контроля состояния древесины, были развиты его учениками и последователями.

В работе конференции приняли участие представители ведущих российских и зарубежных лесотехнических вузов – Московского государственного университета леса, Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета, Поволжского государственного технологического университета, Уральского государственного лесотехнического университета, Казанского национального исследовательского технологического университета, Ухтинского государственного технического университета, Воронежского государственного лесотехнического университета, Северного (Арктического) федерального университета, Брянской государственной инженерно-технологической академии, Московского государственного строительного университета, Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук, Национального университета биоресурсов и природопользования Украины,

университетов и исследовательских институтов Венгрии, Словакии, Бангладеш, проектных институтов и промышленных предприятий отрасли.

В очной работе конференции от Поволжского государственного технологического университета приняли участие профессор В.И. Федюков с докладом «Особенности диагностики, отбора и целевого использования резонансной древесины»; ст. преподаватель Е.М. Цветкова с докладом «Комплексная неразрушающая диагностика технических свойств древесины на корню», доцент Е.Ю. Салдаева с докладом «Экономическое обоснование методики проведения ранней диагностики резонансных свойств подроста ели». В заочной работе конференции с публикацией материалов приняли участие доцент А.А. Колесникова, магистр Е.Г. Ялпаева, магистрант Е.В. Милютин, доцент В.Ю. Чернов, доцент Е.С. Шарапов, профессор А.С. Торопов, аспирант Е.В. Смирнова, магистрант Д.А. Павлов, доцент И.П. Демитрова, студенты М.В. Алексеев, М.А. Береснев, В.Э. Калинина, Е.Н. Караваев, доцент Е.Ю. Разумов, магистрант Е.Н. Староверова, профессор А.Н. Чемоданов, магистрант Е.А. Минина, бакалавр С.А. Казанцев, доцент О.Г. Тарасова, магистрант М.С. Елисеева, доцент Т.В. Мочаева, доцент В.Г. Котлов, аспирант М.А. Иванова.

В ходе работы конференции были представлены и обсуждены доклады, отражающие фундаментальные вопросы строения и свойств древесины и древесных материалов; вопросы совершенствования технологических процессов получения изделий из древесины, разработки клеевых композиций и древесно-полимерных композиционных материалов; прогрессивные технологии и техника лесозаготовительного и лесовосстановительного производства; экологические аспекты технологии лесовосстановительных, лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств; вопросы управления предприятиями лесопромышленного комплекса. Все

представленные доклады отличались научной новизной, актуальностью и практической значимостью для лесной и деревообрабатывающей отрасли.

Представители Администрации Костромской области, Департамента лесного хозяйства РФ, присутствующие ведущие учёные и производственники отметили актуальность и значимость проведённой конференции. Было отмечено, что на сегодняшний день вопросы рационального природопользования и комплексной переработки древесного сырья, модернизации и разработки высокопроизводительного оборудования, технологических и химических процессов в деревообработке, снижения производственных затрат приобретают особую актуальность. В реалиях настоящего времени имеется острая необходимость в создании новых древесных материалов с требуемым для потребителей комплексом эксплуатационных свойств – повышенной прочностью, долговечностью, водостойкостью, экологической безопасностью. Решение вопросов, рассмотренных в рамках конференции, способствует развитию лесной и деревообрабатывающей отрасли, а также повышению конкурентоспособности выпускаемой продукции.

По итогам работы конференции были намечены совместные направления развития научных исследований, проектных разработок, а также подготовки инженерных кадров для лесопромышленного комплекса.

Параллельно с работой конференции под эгидой Международной академии наук о древесине прошло заседание очередной сессии Регионального координационного совета по современным проблемам древесиноведения, который представляет интересы 14 европейских стран в области наук о древесине и способствует широкому обмену современной древесиноведческой информацией среди учёных и производственников, а также улучшению профессиональной подготовки специалистов.

Были заслушаны сообщения членов РКСД о проделанной работе, избраны но-

вые члены совета. Отмечена необходимость проработки и гармонизации Устава в соответствии с нормативными документами Международной академии наук о древесине. Предложено продолжать Реестр экспертов высшей квалификации по древесине, лесоматериалам, конструкциям и изделиям из древесины, технологии лесозаготовок и деревообработки.

В 2018 году отмечается 50-летие со дня основания РКСД, на этот год намечено

проведение Симпозиума «Строение, свойства и качество древесины», основанного профессором Б.Н. Уголевым.

В ходе культурной программы участники конференции и сессии РКСД посетили Свято-Троицкий Ипатьевский монастырь, Богоявленско-Анастасиинский монастырь, познакомились с достопримечательностями центральной части Костромы, посетили Сумароковскую ло-сеферму.

*С. А. Угрюмов*

---

UDC 630\*2

**RESULTS OF III INTERNATIONAL RESEARCH AND TECHNICAL CONFERENCE  
«CURRENT PROBLEMS AND PERSPECTIVES FOR DEVELOPMENT  
OF FOREST-INDUSTRIAL COMPLEX» AND REGULAR SESSION OF REGIONAL  
COORDINATION COUNCIL ON PRESENT PROBLEMS IN WOOD TECHNOLOGY**

*On September 21–23, 2015 Kostroma State University of Technology hosted III International research and technical conference «Current Problems and Perspectives for Development in Forest-Industrial Complex» and regular session of Regional Coordination Council on Present Problems in Wood Technology.*

*S. A. Ugryumov*

УДК 630\*2

## РОССИЙСКО-ГЕРМАНСКИЙ СИМПОЗИУМ ПО ВОПРОСАМ ЛЕСНОЙ ГЕНЕТИКИ, ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ, ЛЕСОВОДСТВА И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

30–31 июля 2015 года в Поволжском государственном технологическом университете (г. Йошкар-Ола) состоялся Российско-германский симпозиум по вопросам лесной генетики, лесовосстановления, лесоводства и изменения климата, проводимый в рамках двустороннего сотрудничества России и Германии. Организаторами симпозиума являлись Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральное агентство лесного хозяйства, филиал ФБУ «Рослесозащита» – «ЦЗЛ Республики Марий Эл», Поволжский государственный технологический университет при участии и поддержке Министерства лесного и охотничьего хозяйства Республики Марий Эл.

В работе симпозиума приняли участие ведущие специалисты Федерального агентства лесного хозяйства Российской Федерации, Поволжского государственного технологического университета, Росле-

созащиты, ВНИИЛГИСбиотех, ВИПКЛХ, ВНИИЛМ, Министерства лесного и охотничьего хозяйства Республики Марий Эл, из зарубежных участников – представители Федерального департамента лесной генетики и лесовосстановления Германии, а также учёные и исследователи университетов Германии, в т.ч. Института им. Тюнена, Геттингенского университета Георга-Августа, Технического университета Дрездена, Европейского института леса (г. Фрайбург), Северо-Западного Германского научно-исследовательского института леса (рис. 1).

Программа симпозиума была очень насыщенной, несмотря на короткий период времени проведения и включала следующие направления:

- лесная генетика и ДНК-анализ;
- лесовосстановление;
- лесопатологический мониторинг;
- лесозащита;
- лесная биотехнология.



Рис. 1. Президиум симпозиума (слева направо Самосудов А.Е., директор филиала ФБУ «Рослесозащита»–«ЦЗЛ Республики Марий Эл»; Романов Е.М., ректор Поволжского государственного технологического университета; Дмитриев В.В., начальник Управления науки, образования и международного сотрудничества Федерального агентства лесного хозяйства; Шургин А.И., министр лесного и охотничьего хозяйства Республики Марий Эл; Шахтук Тильман Йоханес, начальник отдела Федеральной службы сельского хозяйства и продовольствия Федеративной Республики Германия)

Работа симпозиума была организована в форме пленарных выступлений с докладами и включала посещение научных и производственных объектов института леса и природопользования, экскурсию на научно-производственные объекты лесовосстановления Учебно-опытного лесхоза ПГТУ. В работе симпозиума приняли участие более 60 человек, из них 20 участников выступили с докладами.

В представленных докладах были затронуты проблемы лесопатологического мониторинга, прогнозирования состояния и инвентаризации лесов в России и Германии. Часть докладов была посвящена перспективам развития селекции и внедрения лесных биотехнологий, применения ДНК-маркирования в селекции и решении практических задач лесного хозяйства. Были рассмотрены вопросы снижения лесных рисков, результаты применения технологий лесовосстановления в России, плантационного лесовыращивания и подготовки кадров для интенсивного ведения лесного хозяйства. Участниками симпозиума были обсуждены перспективы совместных германо-российских исследований в лесной генетике и геномике.

Участники симпозиума посетили научно-производственные объекты филиала ПГТУ «Учебно-опытный лесхоз», в том числе участки устойчивых высокопродуктивных культур сосны обыкновенной, со-

зданные с использованием ресурсосберегающих технологий (рис. 2), и быстрорастущие плантации ели европейской.

На пленарном заседании российские и немецкие учёные и специалисты органов управления лесным хозяйством, обсудив проблемы лесной генетики, лесовосстановления, лесоводства и изменения климата, отметили своевременность затронутых на симпозиуме проблем, которые актуальны как для России, так и для Германии. Анализ результатов проведения симпозиума служит подтверждением результативности российско-германского сотрудничества в области лесного хозяйства.

Участники симпозиума отметили важное значение интеграции научных исследований в направлении лесной генетики, лесовосстановления, лесоводства и изменения климата России и Германии. Они базируются на взаимовыгодном сотрудничестве и способствуют развитию инновационных технологий сохранения лесов и преумножения лесных ресурсов на европейском континенте. Россия и Германия обладают огромным опытом в области лесного хозяйства и имеют высокий потенциал в решении вопросов повышения эффективности использования, защиты и восстановления леса на основе современных технологий с использованием достижений селекции, генетики и лесной биотехнологии.



Рис. 2. Обсуждение вопросов искусственного восстановления лесов на опытном участке устойчивых высокопродуктивных культур сосны обыкновенной



Рис. 3. Встреча учёных и практиков лесоводов прошла в теплой, дружественной обстановке

Ознакомившись во время международного симпозиума с институтом леса и природопользования, его научной и образовательной базой, основными направлениями исследований, участники симпозиума положительно оценили работу коллектива ПГТУ по научной и образовательной деятельности в области лесного хозяйства с использованием современных технологий.

По результатам работы симпозиума было принято постановление:

1. Считать приоритетными направлениями развитие прикладных и фундаментальных исследований в области лесной генетики, лесовосстановления, лесоводства и изменения климата, биоресурсной и материально-технической базы, подготовку высококвалифицированных кадров для интенсивного ведения лесного хозяйства.

2. Для повышения качества научных исследований в области лесного хозяйства необходимо развивать международное сотрудничество, обмен идеями и сотрудниками в рамках совместных российско-германских проектов.

3. Для развития научного потенциала России в области лесной генетики, лесовосстановления, лесоводства и измене-

ния климата считать необходимым укрепление и расширение внутрисерийских связей между научно-образовательными учреждениями на основе выполнения совместных исследований, обмена мнениями и дискуссий в рамках конференций, симпозиумов и конгрессов различного уровня.

4. Активизировать развитие научных исследований и опытно-производственных работ по использованию ДНК-маркеров для решения научных и практических задач, разработке промышленных технологий ускоренного восстановления леса, в том числе с использованием методов микрореклонального размножения древесных и кустарниковых растений, биологических методов защиты лесов от вредных организмов, совершенствованию мониторинга лесов с применением существующих и перспективных космических систем дистанционного зондирования Земли.

5. Уделять повышенное внимание развитию инновационной инфраструктуры, обеспечивающей проведение научных изысканий на мировом уровне и позволяющей выполнять подготовку высококлассных специалистов лесного профиля, в том числе по направлению «Лесная биотехнология».

**Д. И. Мухортов**

UDC 630\*2

**RUSSIAN-GERMAN SYMPOSIUM ON FOREST GENETICS, REFORESTATION,  
FORESTRY AND CLIMATE CHANGE**

*On July 30–31, 2015 Volga State University of Technology hosted the Russian-German Symposium on Forest Genetics, Reforestation, Forestry and Climate Change. The event was a part of the bilateral cooperation between the Federal Republic of Germany and the Russian Federation. The symposium was organized by the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, Russian Federal Forestry Agency, the Branch of the Federal Budgetary Institution «Russian Forest Protection» – Center for Forest Protection of Mari El Republic, Volga State University of Technology, and supported by the Ministry of Forestry and Hunting of Mari El Republic.*

*Resolution of the conference*

1. To focus efforts on the prioritized development of applied and fundamental research in forest genetics, timber origin identification, reforestation, and climate change, to focus on the improvement of resource base for research and education in forestry, training of highly qualified experts for intensive forestry.
2. To intensify the international academic cooperation in the field of forestry, including exchange of ideas and faculty exchange within joint German-Russian projects.
3. To promote academic mobility and re-search cooperation within the Russian Federation for exchange of ideas, promotion of academic and professional discussions, conducting joint studies, conferences, symposiums and congresses at different levels.
4. To promote the development of research and experiment works in order to solve scientific and practical problems including adaptation measures to climate change, to elaborate industrial technologies of accelerated reforestation with the methods of microclonal propagation of trees and shrubs and with the biological methods for forest protection from pests, to improve forest monitoring.
5. To pay greater attention to the development of innovative infrastructure, ensuring international standards and to train the highly qualified experts in forestry. To establish regular exchange of experts between the two countries for the provision of skill and technology transfer.

***D. I. Mukhortov***

## 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, лесостроительство 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>