



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

ВЕСТНИК

4(24)
2014

октябрь-декабрь

ПОВОЛЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный журнал

Издаётся с ноября 2007 года

Выходит четыре раза в год

СЕРИЯ «Лес. Экология. Природопользование»

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

Учредитель и издатель:

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»

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

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

Адрес редакции:

424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Тел. (8362) 68-78-46, 68-28-41

Факс (8362) 41-08-72

E-mail: vestnik@volgatech.net

Редактор *Т. А. Рыбалка*

Дизайн обложки *Л. Г. Маланкина*

Компьютерная верстка

А. А. Кислицын

Перевод на английский язык

М. А. Шалагина

Подписано в печать 26.12.14.

Формат 60×84 ¹/₈. Усл. п. л. 10,92.

Тираж 500 экз. Заказ

Дата выхода в свет: 30.12.14.

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

Редакционная коллегия

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

(*зам. гл. редактора*)

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

(Нижний Новгород)

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

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

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

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

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

(*отв. секретарь*)

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

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

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

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

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

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

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

VESTNIK

4(24)
2014

october-december

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. Shalagina

Passed for printing 26.12.14.

format 60×84 1/8. No. of press sheets 10,92.

Printing run 500 copies. Order No

Release date: 30.12.14.

Open price

Volga State University of Technology
424000, Yoshkar-Ola, 3, Pl. Lenina

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, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Ю. П. Демаков, А. В. Исаев, В. Л. Черных. Эколого-ресурсный потенциал древостоев лесобразующих пород Среднего Поволжья
А. В. Жигунов, Д. А. Шабунин, О. Ю. Бутенко. Лесные плантации триплоидной осины, созданные посадочным материалом *in vitro*
К. В. Дорохов, В. П. Шелуха. Изменение видового состава и популяционной структуры почвенной мезофауны в результате низовых пожаров и рубок леса

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ
ЛЕСНОГО ДЕЛА

С. А. Угрюмов, А. В. Шеин. Оценка прочности армированной композиционной фанеры

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ.
БИОТЕХНОЛОГИИ

В. Н. Карасев, М. А. Карасева, Н. Е. Серебрякова, С. М. Лазарева. Эколого-физиологическая оценка адаптации хвойных интродуцентов в Среднем Поволжье

Д. В. Кочкин, Е. С. Суханова, А. М. Носов. Закономерности накопления тритерпеновых гликозидов в цикле выращивания суспензионной культуры клеток *Polyscias fruticosa*

О. Г. Введенский. Организация миграционного цикла рыб в составе рыбоохранного комплекса гидроузла

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

Д. И. Мухортков, Т. В. Нуреева, А. В. Ушнурцев. О разработке новых технологий искусственного лесовосстановления

Указатель материалов, опубликованных в журнале в 2014 году
Информация для авторов

CONTENTS

FORESTRY

Yu. P. Demakov, A. V. Isaev, V. L. Chernykh. Stands ecological and resource potential of forest forming species in the Middle Volga region
A. V. Zhigunov, D. A. Shabunin, O. Yu. Butenko. Triploid aspen forest plantations of *in vitro* planting material
K. V. Dorokhov, V. P. Shelukho. Change of species composition and population structure of soil mesofauna caused by creeping fires and timber felling

FORESTRY TECHNOLOGIES
AND MACHINES

S. A. Ugryumov, A. V. Shein. Assessment of the reinforced composite plywood strength

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL
NATURE MANAGMENT.
BIOTECHNOLOGIES

V. N. Karasev, M. A. Karaseva, N. E. Serebryakova, S. M. Lazareva. Ecological and physiological assessment of adaptation of the introduced plants (coniferous trees) in the Middle Volga region

D. V. Kochkin, E. S. Sukhanova, A. M. Nosov. Their accumulation of triterpene glycosides in the growing cycle cell suspension cultures *Polyscias fruticosa*

O. G. Vvedenskiy. Organization of fish migration cycle within fish-protective construction of hydroelectric complex

DATES. EVENTS. COMMENTS

D. I. Mukhortov, T. V. Nureeva, A. V. Ushnurtsev. On elaboration of new technologies of artificial forest regeneration

List of materials published in the journal in 2014
Information for the authors

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*182.5

ЭКОЛОГО-РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДРЕВОСТОЕВ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Ю. П. Демаков¹, А. В. Исаев², В. Л. Черных¹

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

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

Проведена сравнительная оценка потенциальной производительности древостоев лесобразующих пород Среднего Поволжья, большинство параметров которой довольно точно и адекватно отображает высота деревьев, функционально связанная с ними и определяющая основную долю варьирования значений. Подобраны соответствующие математические модели, позволяющие проводить оценку и имитационное моделирование производительности древостоев с целью рационального использования и повышения их эколого-ресурсного потенциала путём оптимизации породного состава, наилучшим образом соответствующего целям ведения хозяйства и лесорастительным условиям.

Ключевые слова: *древостой; производительность; оценка; математические модели; оптимизация.*

Введение. Задача рационального использования и повышения эколого-ресурсного потенциала лесов была и остаётся одной из важнейших в научном и практическом аспектах. Для её успешного решения необходима, прежде всего, оптимизация методов его оценки и создание справочно-нормативной базы, включающей параметры, отражающие все разнообразные полезные функции насаждений. Сделать это можно лишь на основе очень большой базы экспериментальных данных, обобщением которых в России сейчас успешно занимаются некоторые коллективы учёных [1–11], а также широкого использования методов математического моделирования. Математическая модель должна рассматриваться при этом не столько как средство описания конкретных

эмпирических данных, **а как метод познания.** При переводе на язык математического формализма проблема становится часто гораздо ясней, так как математическая модель того или иного природного явления позволяет чётко выявить неоднородность исходного материала, а также недостатки в методике его сбора и обработки. Математическая модель природного процесса представляет собой строгое воплощение некоторой сформулированной исследователем гипотезы, поэтому в её основе должна лежать хорошая идея. Сопоставление модели и реального явления представляет собой проверку этой гипотезы. Неадекватность отражения моделью реальной действительности указывает на необходимость отказа от исходной гипотезы или, во всяком случае, её усовершенствования.

Целью работы является совершенствование методов оценки эколого-ресурсного потенциала древостоев и создание математических моделей, позволяющих решать задачи по оптимизации породного состава лесов, исходя из целей ведения хозяйства и почвенно-экологических условий.

Подходы к решению задачи и исходная гипотеза. Для решения задачи могут быть использованы два способа сбора исходной информации. Первый из них основан на натурной оценке состояния биогеоценозов с использованием пробных площадей и модельных деревьев. Второй – на логическом и математическом анализе цифровых материалов, собранных трудом многих исследователей и содержащихся в различных источниках, а также таксационных описаний насаждений, сведённых в электронные базы данных. Первый подход очень трудоёмок и не позволяет во многих случаях получить достаточно обширный и репрезентативный материал. Второй же подход в настоящее время более предпочтителен, о чём убедительно свидетельствуют полученные нами результаты [12–19].

Одним из важнейших таксационных показателей, используемых для оценки эколого-ресурсного потенциала лесов, является запас стволовой древесины, через который расчётным путём посредством установленных исследователями конверсионно-объёмных коэффициентов [2–7] можно вычислить значения всего комплекса показателей биологической продуктивности насаждений и степени выполнения ими экологических функций. Величина этого показателя, зависящая от многих природных и хозяйственных факторов, оценивается по формулам $M = G_{\text{факт.}} \cdot F \cdot H$ или $M = P \cdot G_{1,0} \cdot F \cdot H$, в которых M – запас стволовой древесины, м³/га; $G_{\text{факт.}}$ – фактическая сумма площади поперечного сечения стволов, м²/га; $G_{1,0}$ – сумма площади поперечного сечения стволов древостоя при полноте

1,0, м²/га; P – относительная полнота древостоя; F – видовое число, H – средняя высота древостоя, м. При проведении лесоустроительных работ все входящие в формулы параметры, кроме видового числа, которое является функцией от высоты древостоя, оцениваются таксаторами в основном глазомерно с той или иной погрешностью, величина которой во многом зависит от квалификации исполнителя и его личных качеств. Поэтому не случайно исследователями давно ведутся работы по совершенствованию методов натурной оценки биологической продуктивности насаждений и поиску параметров, позволяющих провести её с наименьшими затратами и погрешностью.

Ещё в начале XX столетия немецкий ученый Эйхгорн [цит. по: 20] установил, что запас стволовой древесины является функцией средней высоты древостоя и не зависит от его возраста и класса бонитета. Этот вывод был подтверждён в 1923 году Е. Герхардтом [цит. по: 21]. Н.В. Третьяков [цит. по: 22] для определения запаса сомкнутых насаждений предложил формулу $M = \alpha(H - \beta)$, в которой значения коэффициентов α и β сугубо специфичны для каждой древесной породы и класса бонитета древостоя (экологический смысл коэффициентов α и β автор не раскрыл). Тщательная проверка вывода Эйхгорна была проведена Г. Томазиусом [23], доказавшим на основе обширных экспериментальных данных наличие тесной зависимости запаса сомкнутых древостоев от их средней высоты, наилучшим образом аппроксимируемой степенной функцией $M = \alpha H^{\beta}$, коэффициенты которой не являются постоянными, а зависят от древесной породы, густоты древостоя, интенсивности и периодичности проведения в нём рубок ухода (экологический смысл коэффициентов α и β он также не раскрыл). В дальнейшем этот весьма перспективный подход к оценке эколого-ресурсного потенциала лесов не получил, к сожалению, дальнейшего развития и

был забыт. Исследователи увлеклись поиском связей между параметрами модельных деревьев, перенося полученные результаты на древостои в целом и не задумываясь о том, что эти подходы к решению задачи далеко не схожи, так как характер связи между средними таксационными параметрами насаждений, как самоорганизующихся и саморазвивающихся систем, может быть иной. В качестве исходной гипотезы нами выдвинуто положение о том, что по значениям средней высоты древостоев и их полноты можно с наименьшими затратами и погрешностью оценить не только запас стволовой древесины, но и все остальные параметры эколого-ресурсного потенциала лесов.

Материал и методика. Исходным материалом для расчётов служили таблицы биопродуктивности древостоев, созданные трудом многих исследователей [9, 24, 25], а также электронная база данных по 83 лесничествам Республики Марий Эл (более 200 тыс. выделов). Работа заключалась в математическом и логическом анализе характера связи параметров эколого-ресурсного потенциала предельно сомкнутых древостоев различных лесобразующих пород с их средней высотой.

Результаты и их обсуждение. Расчёты показали, что зависимость запаса стволовой древесины в сомкнутых древостоях от их средней высоты наилучшим образом описывает степенная функция $M = \alpha H^\beta$ ($R^2 > 0,99$; $p < 0,001$ при $0 < H < 35$ м), однако значения её коэффициентов сугубо специфичны не только для каждой древесной породы, но и, самое главное, для разных источников информации (табл. 1). Так, значение коэффициента α , количественно отражающего величину исходного импульса (скорости) потенциальных возможностей древесных растений к росту, изменяется от 0,78 до 9,31, а коэффициента β , характеризующего темп роста (ускорение) в градиенте высоты древостоя, т.е. его способности к использованию природных ресурсов – от 1,159 до 1,974. В уравнениях, полученных на основе эмпирического материала по Республике Марий Эл, по всем древесным породам, кроме липы и ольхи чёрной, отмечаются наиболее высокие значения коэффициента α и самые низкие значения коэффициента β . Введение в уравнение других параметров (диаметра древостоя и пропорции Н/Д) не увеличивает его точности, но затрудняет проведение сравнительного анализа.

Таблица 1

Значения параметров уравнения, описывающего зависимость запаса стволовой древесины сомкнутых древостоев от их средней высоты

Древесная порода	Значения параметров уравнения $M = \alpha H^\beta$ по разным источникам*							
	А		В		С		D	
	α	β	α	β	α	β	α	β
Сосна	3,66	1,501	9,63	1,159	4,91	1,425	9,31	1,179
Ель	5,28	1,448	4,52	1,420	3,15	1,607	6,75	1,308
Берёза	2,14	1,549	2,53	1,505	1,78	1,614	3,51	1,394
Осина	3,24	1,485	2,61	1,558	2,58	1,561	4,76	1,364
Липа	5,28	1,448	2,05	1,713	4,00	1,474	3,14	1,562
Дуб	3,21	1,464	3,20	1,480	3,40	1,509	6,29	1,311
Ольха (ч)	0,78	1,974	2,61	1,558	1,79	1,712	1,01	1,842

*Примечание: А – по таблице из справочника [24]; В – по таблице из справочника [25]; С – по таблицам из монографии В.А. Усольцева [9]; D – по материалам таксационных описаний насаждений лесного фонда Республики Марий Эл.

Существенно различен в использованных источниках информации и характер рангового распределения пород деревьев по значениям коэффициентов уравнений и по величине запаса древесины в градиенте средней высоты древостоя. Так, по материалам справочника Н. В. Третьякова, П. В. Горского и Г. Г. Самойловича [24] наивысший запас древостоя при его средней высоте 10 м имеют ельники, а по материалам Лесотаксационного справочника [25] и таксационных описаний насаждений лесного фонда Республики Марий Эл – сосняки, положение которых, по материалам этих источников, резко изменяется при достижении древостоем высоты 25 м (рис. 1). Причиной различий между древостоями разных пород по значениям коэффициентов уравнения являются особенности их роста и экологии, проявляющиеся в отношении растений к свету и другим

факторам среды. Причиной же расхождения между различными источниками данных могут являться, на наш взгляд, как различия в исходном материале по объёму выборки, пределам изменения таксационных параметров древостоя и природным условиям их произрастания, так и по методике оценки полноты насаждений, которая во многом определяет величину древесного запаса. Дело в том, что универсального эталона для оценки полноты насаждений, как это ни парадоксально, до сих пор не существует, поскольку в определении «нормы», выдвинутом еще в 1916 году М.М. Орловым, не приведено, как считают исследователи [26, 27], конкретных количественных значений, в результате чего величина суммы площади сечения стволов, которая зависит от состава древостоя, в различных источниках информации далеко не одинакова (табл. 2).

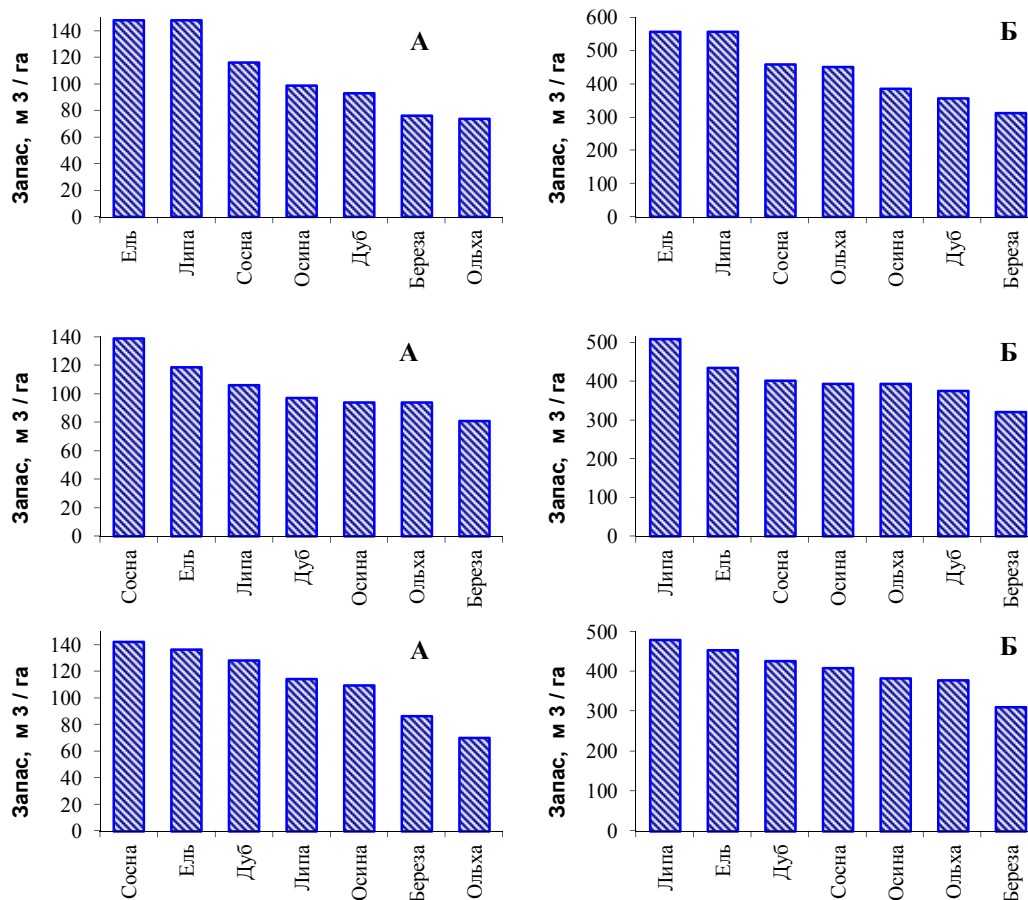


Рис. 1. Ранговое распределение древостоев разных пород деревьев по запасу стволовой древесины: верхний ряд – по материалам справочника [24]; средний ряд – по материалам справочника [25], нижний ряд – по материалам таксационных описаний насаждений Республики Марий Эл; А – при средней высоте древостоя 10 м; Б – при средней высоте 25 м

Таблица 2

Значения параметров уравнения, описывающего изменение суммы площадей сечения стволов в сомкнутых древостоях по градиенту значений их высоты

Древесная порода	Значения параметров уравнения $\Sigma G = \alpha (H - 1,3)^\beta$, вычисленные по материалам разных источников*							
	А		В		С		D	
	α	β	α	β	α	β	α	β
Сосна	6,03	0,600	14,74	0,287	13,01	0,321	12,48	0,336
Ель	6,93	0,599	6,70	0,545	9,62	0,437	9,57	0,439
Берёза	4,24	0,605	3,99	0,636	6,26	0,476	6,79	0,447
Осина	5,18	0,599	4,70	0,638	8,11	0,456	8,75	0,429
Липа	6,93	0,599	4,22	0,748	4,53	0,699	4,30	0,717
Дуб	5,42	0,549	4,87	0,602	8,75	0,435	9,17	0,419
Ольха (ч)	1,64	0,981	4,70	0,638	2,07	0,871	2,69	0,781

*Примечание: А – по таблице из справочника [24]; В – по таблице из справочника [25]; С – по таблицам из монографии В.А. Усольцева [9]; D – по материалам таксационных описаний насаждений лесного фонда Республики Марий Эл.

Как же найти истину при таком различии значений коэффициентов уравнений, описывающих характер изменения показателей производительности древостоев в градиенте их средней высоты? Нужно, прежде всего, чётко определиться с понятием «эталонного» древостоя, полнота которого принимается за единицу. Такими эталонами должны являться, по нашему мнению, древостои, которые, по сравнению с другими древостоями, будут иметь наивысшие значения суммы поперечных сечений стволов и запаса древесины в градиенте их средней высоты. Для решения этой задачи мы объединили все данные по имеющимся источникам информации и выбрали из них максимальные значения показателей по всему градиенту средней высоты древостоев. В результате проделанной работы были вычислены для всех доминирующих древесных пород параметры уравнений, описывающих зависимость значений суммы поперечных сечений стволов и запаса древесины предельно сомкнутых древостоев от их средней высоты (табл. 3). Наиболее высокие значения коэффициента α , количественно отражающего величину потенциальных возможностей древесной

породы к росту, имеют, как свидетельствуют приведённые данные, дуб и сосна, а коэффициента β , характеризующего их способности к использованию ресурсов среды при изменении средней высоты древостоя, – ольха чёрная. Самое же низкое значение коэффициента β имеет дуб. Совместное действие разных по величине коэффициентов уравнения обуславливает специфику изменения древесного запаса по градиенту высоты у древостоев разных пород: в начале градиента (до высоты 5–6 м) наиболее высокий запас древесины имеют дубняки, которые в дальнейшем уступают своё лидерство теневыносливым ельникам и липнякам, осваивающим ресурсы среды лучше других древостоев (рис. 2). Черноольшаники вначале имеют наименьший запас древесины, однако в результате высокого ускорения его в градиенте высоты постепенно повышают своё положение в ранговом ряду, что особенно чётко отражает приращение величины показателя в градиенте средней высоты древостоя (рис. 3). Наименьшие значения суммы поперечных сечений стволов и запаса древесины с высоты древостоя 5 м имеют, по сравнению с другими насаждениями, березняки.

Таблица 3

Значения параметров уравнений изменения суммы площади сечения стволов и запаса древесины сомкнутых древостоев разных пород деревьев в градиенте их средней высоты, вычисленные по максимальным значениям показателей

Параметр уравнения	Значения параметров уравнений у древостоев различных пород						
	Сосна	Ель	Берёза	Осина	Липа	Дуб	Ольха
Уравнение $\Sigma G_{sup} = \alpha (H - 1,3)^\beta$							
α	12,12	8,872	6,859	8,748	7,453	12,52	3,23
β	0,402	0,538	0,477	0,457	0,589	0,352	0,796
Уравнение $M_{sup} = \alpha H^\beta$							
α	7,011	5,582	3,764	4,949	5,081	8,724	1,395
β	1,322	1,442	1,401	1,376	1,461	1,240	1,803

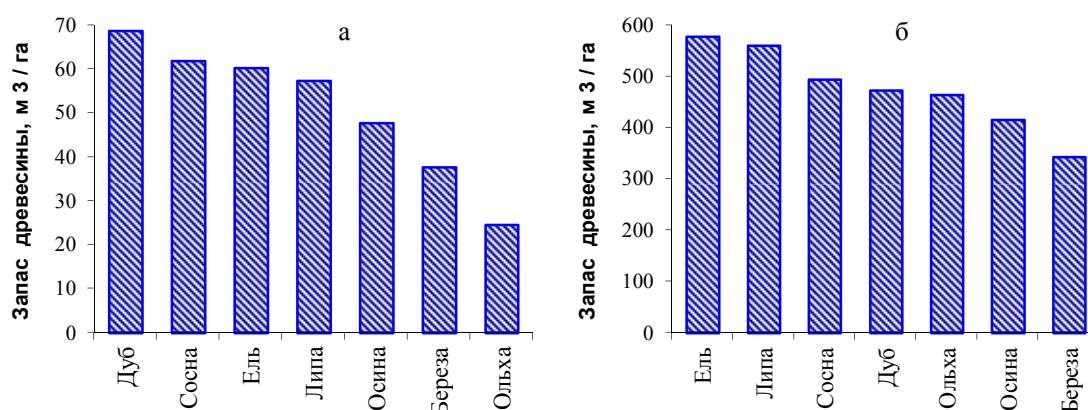


Рис. 2. Ранговое распределение древостоев разных пород деревьев по максимально возможному запасу древесины при средней высоте древостоя 5 м (а) и 25 м (б)

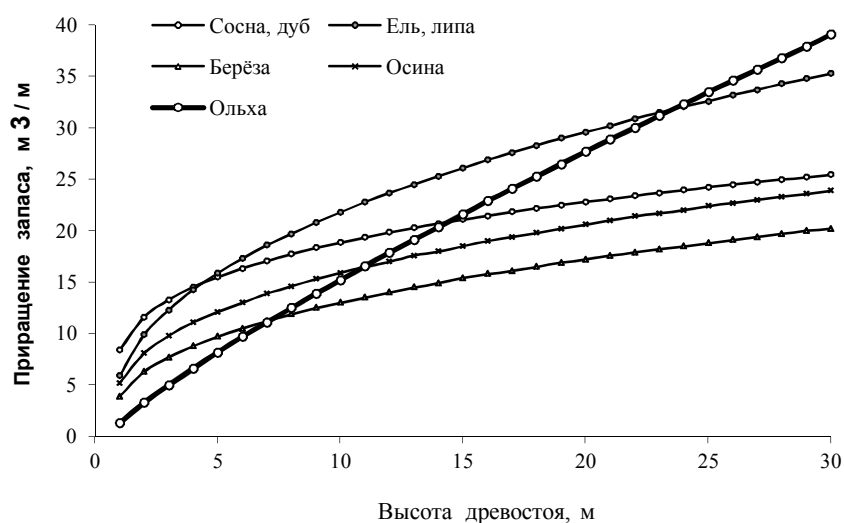


Рис. 3. Приращение максимально возможных значений запаса древостоев разных пород деревьев в градиенте значений их средней высоты

С высотой древостоя тесно связаны также значения среднего диаметра стволов, однако уравнения связи модельных и реальных древостоев несколько различаются между собой, а значения их коэффициентов сугубо специфичны у каждой древесной породы (табл. 4). Расчёты показали (рис. 4), что наибольший средний диаметр модельных древостоев в условиях Марий Эл имеют в пределах всего градиента их средней высоты дубняки, а наименьший – осинники и березняки, которые особенно требовательны к свету. Ранговое положение остальных древостоев меняется по мере увеличения их высоты. Так, в частности, сосняки и ельники постепенно снижают своё ранговое положение, уступая его черноольшаникам и липнякам.

Весьма значительное влияние на величину среднего диаметра древостоев оказывает не только их высота, но и густота. Так, в 20-летних опытных сосновых культурах средний диаметр деревьев при их исходной густоте 1 тыс. экз./га составил 12,0 см, а при густоте 11 тыс. экз./га – всего 5,7 см [28]. Средняя же высота деревьев составляла в них 6,8 и 6,2 м соответственно. Зависимость среднего диаметра деревьев (D , см) в сосновых культурах Марий Эл от их высоты (H , м) и исходной густоты (N , тыс. экз./га) отображается с высокой точностью ($R^2 = 0,952$), как было показано нами ранее [29], уравнением $D = 2,219 \cdot H^{0,940} \cdot (N + 1)^{-0,335}$. В модальных древостоях густота варьирует незначительно и её влиянием на средний диаметр деревьев можно пренебречь.

Таблица 4

Значения параметров уравнений изменения величины среднего диаметра деревьев «эталонных» и реальных древостоев в градиенте значений их средней высоты

Параметр уравнения	Значения параметров уравнений для различных древостоев:						
	сосны	ели	берёзы	осины	липы	дуба	ольхи
<i>Эталонные древостои - по материалам ТХР из монографии В.А. Усольцева [9]; $D = a \cdot (H - 1,3)^b$</i>							
a	0,643	0,860	0,628	0,529	0,576	0,353	0,530
b	1,213	1,118	1,165	1,216	1,278	1,445	1,301
R^2	0,979	0,990	0,979	0,963	0,969	0,941	0,990
<i>Реальные древостои - по материалам таксационных описаний; $D = a \cdot (H - 1,3)^{b \cdot H / 100 + c}$</i>							
a	2,854	2,685	1,508	1,053	1,214	2,670	3,034
b	0,745	0,767	0,439	0,311	0,622	1,156	1,115
c	0,551	0,563	0,780	0,959	0,867	0,588	0,465
R^2	0,999	0,999	0,999	0,990	0,994	0,987	0,998

Примечание: D – средний диаметр деревьев, см; H – средняя высота древостоя, м.

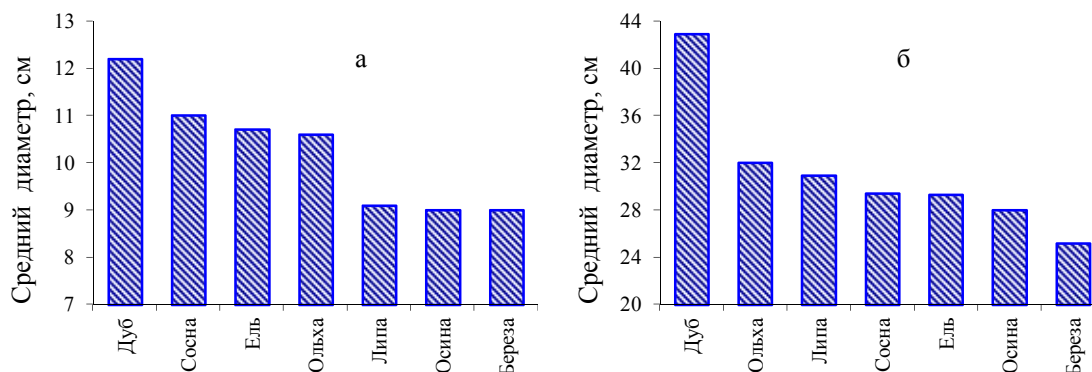


Рис. 4. Ранговое распределение различных древостоев по значениям среднего диаметра стволов при их средней высоте 10 (а) и 25 м (б)

По значениям суммы площади сечения стволов и их среднего диаметра, используя формулу $N = \Sigma G / [\pi \cdot (D/200)^2]$, вычисляется густота древостоя. Величина этого параметра, как и других параметров состояния древостоя, закономерно изменяется, согласно проведённым расчётам, в градиенте значений средней высоты деревьев. Для описания этой зависимости подходит функция $Y = K \cdot \exp[-a(H-2)^b]$, значения коэффициентов которой специфичны для каждой древесной породы (табл. 5), вследствие особенностей её биологии и способности к освоению ресурсов среды. Наиболее высокие значения коэффициентов K и a имеют осинники, а коэффициента b – черноольшаники, у которых отмечаются самые низкие значения коэффициентов K и a . Совместное действие разных по величине коэффициентов уравнения обуславливает специфику изменения густоты древостоев разных пород в градиенте значений их средней высоты, приводя, в конце концов, к чёткому вы-

страиванию их в ранговый ряд по степени светолюбия и требовательности к другим ресурсам среды (рис. 5). Самую низкую густоту древостоя во всём диапазоне значений его средней высоты имеют дубняки и черноольшаники.

Запас стволовой древесины, средний диаметр и густота древостоев далеко не в полной мере характеризуют их эколого-ресурсный потенциал. Наиболее адекватно отражает его их фитомасса, являющаяся мерой поглощения ими солнечной энергии, депонирования углерода, выделения кислорода, транспирации воды, поглощения элементов питания, обеспечения биотического круговорота и регуляции климата. Для перерасчёта объёма стволовой древесины в фитомассу древостоя и его отдельных фракций рядом исследователей [2–7] разработаны математические модели конверсионно-объёмных коэффициентов, предикторами (независимыми переменными) в которых являются возраст, высота и диаметр древостоев.

Таблица 5

Параметры уравнений зависимости густоты «эталонных» древостоев от их средней высоты

Параметр уравнения	Значения параметров уравнений для древостоев						
	сосна	ель	берёза	осина	липа	дуб	ольха
K	19761	20967	71773	210704	84324	33056	6649
a	0,631	0,641	1,176	1,479	1,027	0,866	0,389
b	0,540	0,527	0,481	0,509	0,523	0,548	0,588

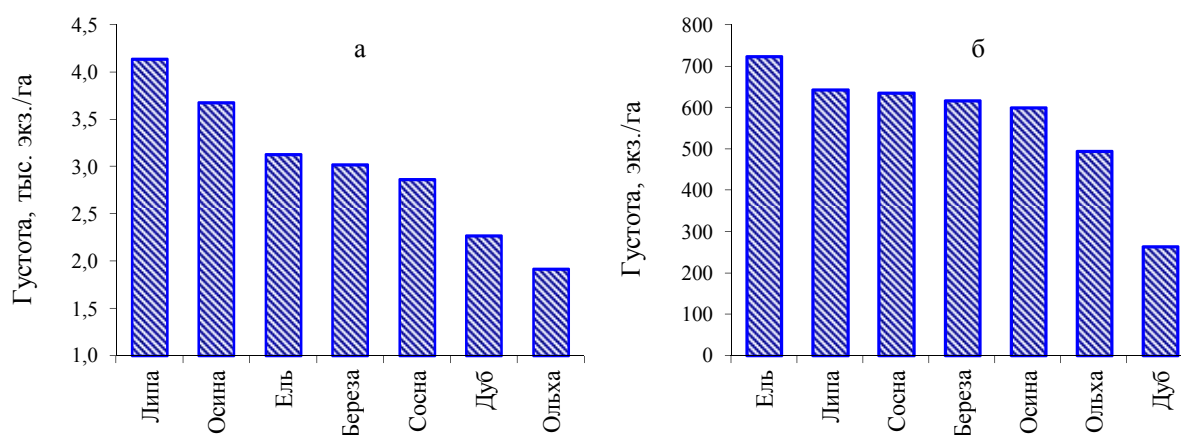


Рис. 5. Ранговое распределение различных древостоев по значениям густоты при их средней высоте 10 (а) и 25 м (б)

Мы, используя описанный выше подход, основанный на связи таксационных параметров древостоев с их средней высотой, провели соответствующие расчёты, в результате которых было установлено, что математической моделью в этом случае также является степенная функция $M = \alpha H^\beta$. Значения её коэффициентов, имеющие описанный выше конкретный биофизический смысл, оказались также специфичны для каждой древесной породы (табл. 6). Из приведённых данных видно, что наиболее сильно отличаются от других пород по значениям коэффициентов уравнения черноольшаники: коэффициент α у них самый низкий, а коэффициент β , наоборот, самый высокий. Наиболее высокие значения коэффициента α по массе древостоя в целом и по массе стволов имеют дубняки, по массе вет-

вей и ассимиляционного аппарата – ельники, а по массе корней – липняки. Самые низкие значения коэффициента β по общей фитомассе древостоя имеют липняки, по массе стволовой древесины и корней – дубняки, а по массе ветвей и ассимиляционного аппарата – сосняки. Лидером по массе ветвей и стволовой древесины в пределах всего оцененного нами градиента высоты древостоя (от 1 до 30 м) устойчиво являются дубняки, имеющие, как это ни парадоксально, наименьшую массу корней (рис. 6). Липняки имеют максимальную массу корней. Наименьшую массу стволовой древесины в древостоях высотой до 16 м имеют черноольшаники, а при большей высоте – осинники. Масса ветвей в древостоях высотой до 13 м меньше всего в березняках, а при большей высоте – в осинниках.

Таблица 6

Значения параметров уравнений изменения значений абсолютно сухой массы различных фракций предельно сомкнутых древостоев в градиенте их средней высоты

Параметр уравнения	Значения параметров уравнения $M = \alpha H^\beta$ для древостоев*						
	сосны	ели	берёзы	осины	липы	дуба	ольхи
<i>Общая фитомасса древостоя</i>							
α	4,377	3,740	2,293	3,409	5,159	5,637	0,837
β	1,332	1,396	1,466	1,340	1,318	1,340	1,840
<i>Масса стволовой древесины</i>							
α	2,240	1,457	1,320	1,382	1,320	3,245	0,509
β	1,439	1,578	1,562	1,531	1,593	1,433	1,890
<i>Масса ветвей</i>							
α	0,871	1,069	0,175	0,488	0,787	0,683	0,153
β	0,982	1,006	1,486	1,102	1,209	1,419	1,563
<i>Масса корней</i>							
α	0,985	0,690	1,016	2,856	5,159	3,778	0,143
β	1,281	1,347	1,066	0,845	0,901	0,548	1,888
<i>Масса ассимиляционного аппарата (листвы / хвои)</i>							
α	3,727	4,853	0,708	1,268	1,384	3,062	0,698
β	0,196	0,427	0,495	0,268	0,325	0,207	0,524

*Примечание: М – абсолютно сухая фитомасса древостоя в целом и его отдельных фракций, т/га; Н – средняя высота древостоя, м.

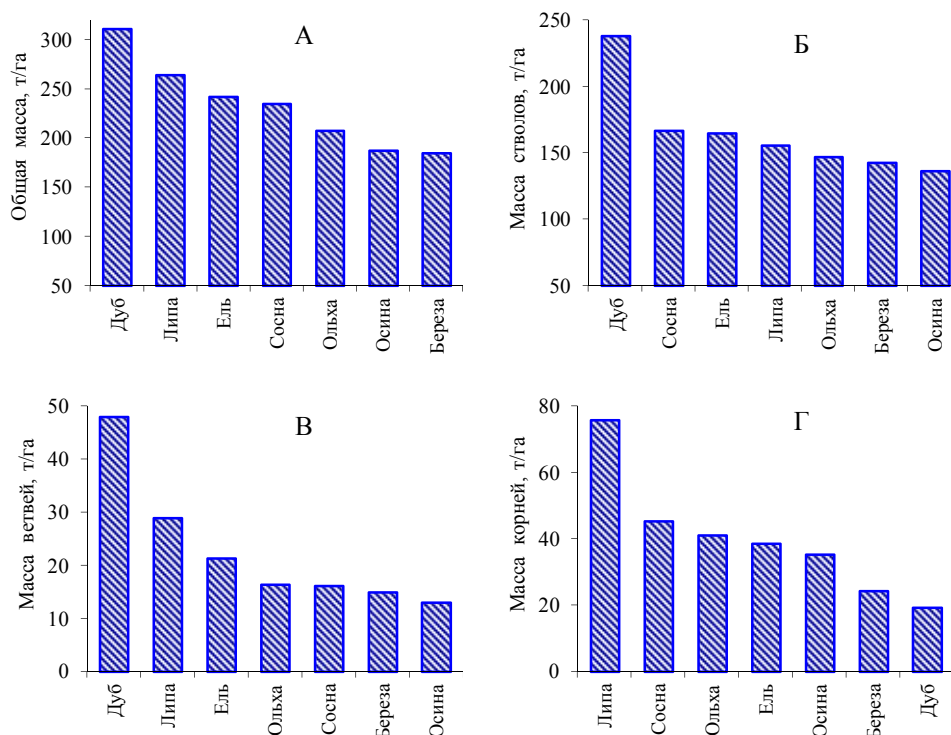


Рис. 6. Ранговое распределение разных пород деревьев по значениям абсолютно сухой фитомассы разных фракций древостоя при его средней высоте 20 м: А – общая масса древостоя; Б – масса стволов с корой; В – масса ветвей; Г – масса корней

Наибольшую массу ассимиляционного аппарата во всём диапазоне высоты древостоя имеют ельники, за которыми с большим отставанием следуют сосняки и дубняки (рис. 7). При высоте древостоя до 12 м масса листьев меньше всего в березняках и черноольшаниках, а при большей высоте – в осинниках. Особенно сильно возрастают в градиенте значений средней высоты древостоя значения показателя в ельниках, черноольшаниках и березняках. В сосняках, дубняках и осинниках величина массы ассимиляционного аппарата изменяется сла-

бо, стабилизируясь при достижении древостоем средней высоты 12–15 м. По величине листового индекса, корректнее отражающего, по сравнению с их массой листьев, поглощение деревьями солнечной энергии [30], лидером во всём градиенте значений средней высоты древостоя являются, как показали расчёты, проведённые по конверсионным коэффициентам [2], ельники (рис. 8). Величина листового индекса в осинниках самая низкая, а остальные породы слабо различаются между собой по величине этого показателя.

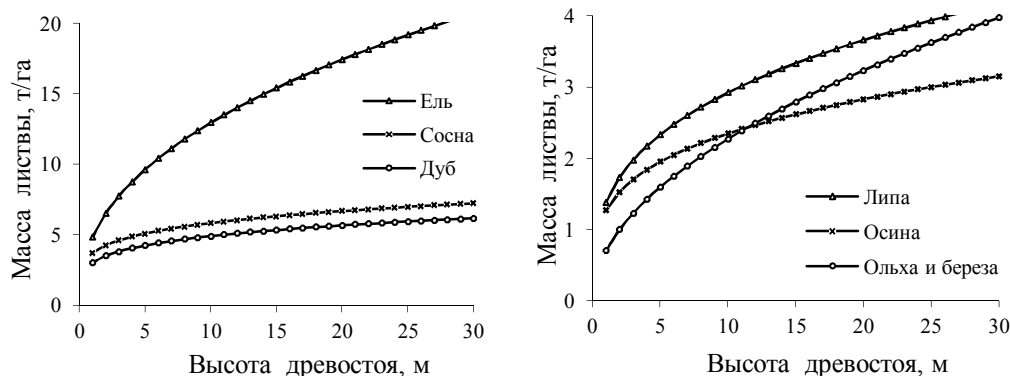


Рис. 7. Закономерности изменения массы ассимиляционного аппарата различных древостоев в градиенте значений их средней высоты

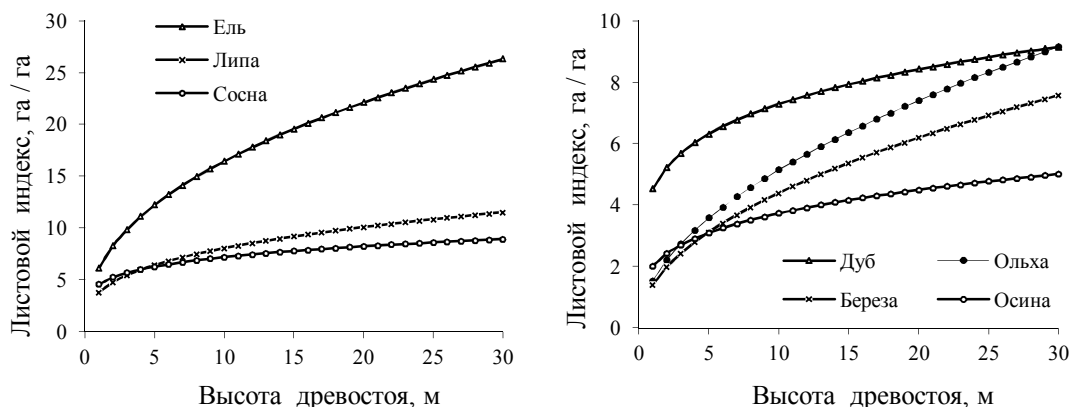


Рис. 8. Изменения величины листового индекса древостоев в градиенте значений их средней высоты

Таблица 7

Значения параметров уравнений, описывающих изменение удельных значений запаса стволовой древесины и массы различных фракций древостоев в градиенте значений их высоты

Параметр уравнения	Значения параметров уравнений для различных древостоев						
	сосны	ели	берёзы	осины	липы	дуба	ольхи
<i>Удельный объем стволовой древесины $Y = a(H - 1,3) + b$, м³/м²</i>							
<i>a</i>	0,419	0,425	0,404	0,408	0,404	0,445	0,443
<i>b</i>	1,466	1,781	1,443	1,486	2,063	1,800	1,043
<i>Удельная общая фитомасса древостоя $Y = a(H - 1,3) + b$, т/м²</i>							
<i>a</i>	0,270	0,230	0,319	0,242	0,222	0,425	0,304
<i>b</i>	0,942	1,381	0,729	1,106	2,182	0,907	0,589
<i>Удельная масса стволовой древесины $Y = a(H - 1,3) + b$, т/м²</i>							
<i>a</i>	0,213	0,192	0,267	0,211	0,179	0,353	0,228
<i>b</i>	0,268	0,264	0,156	0,145	0,383	0,173	0,165
<i>Удельная масса ветвей $Y = a(H - 1,3) + b$, т/м²</i>							
<i>a</i>	0,012	0,012	0,026	0,013	0,021	0,070	0,018
<i>b</i>	0,183	0,284	0,049	0,153	0,301	0,050	0,162
<i>Удельная масса корней $Y = a(H - 1,3) + b$, т/м²</i>							
<i>a</i>	0,050	0,035	0,026	0,021	0,026	0,005	0,064
<i>b</i>	0,218	0,240	0,395	0,672	1,330	0,453	0,047
<i>Удельная масса листвы(хвои) $Y = (K - m) \cdot \exp[-a(H - 2)^b] + m$, т/м²</i>							
<i>K</i>	0,407	0,897	0,173	0,206	0,290	0,320	0,423
<i>m</i>	0,142	0,370	0,112	0,072	0,071	0,141	0,082
<i>K - m</i>	0,265	0,527	0,061	0,134	0,219	0,179	0,341
<i>a</i>	0,493	0,629	0,865	0,532	0,594	0,487	0,702
<i>b</i>	0,527	0,506	0,615	0,518	0,514	0,522	0,498

Примечание: Y – величина оцениваемого показателя древостоя, H – средняя высота древостоя, м.

При оценке потенциальной производительности древостоев целесообразно оперировать, на наш взгляд, не абсолютными значениями показателей на 1 га, а удельными, т.е. относительно 1 м² площади сечения стволов, которые выполняют роль конверсионных коэффициентов и отражают эффективность работы корней по снабжению надземных частей дерева водой и питательными веществами. Вели-

чина удельных показателей всех параметров производительности древостоев, кроме фитомассы ассимиляционного аппарата, изменяется в градиенте их средней высоты, как показали проведённые нами расчёты, линейно. Эту закономерность описывает функция $Y = a(H - 1,3) + b$, значения коэффициентов которой специфичны для каждой древесной породы (табл. 7). Наиболее высокие значения ко-

эффициента a по всем оцениваемым параметрам эколого-ресурсного потенциала имеют дубняки, а коэффициента b – липняки. Самые же низкие значения коэффициента a имеют липняки, а коэффициента b – ольшаники. Лидером по удельной массе стволовой древесины и ветвей являются дубняки, имеющие наименьшую удельную массу корней. По удельной массе стволовой древесины следом за ними с большим отставанием идут березняки, черноольшаники и сосняки. Наименьшую удельную массу стволовой древесины имеют липняки, значительно превосходящие все остальные древостои по удельной массе корней. Наибольшую удельную массу ассимиляционного аппарата имеют ельники, а замыкают ранговый ряд осинники и березняки. Удельная же масса ветвей меньше всего в древостоях сосны и осины.

Большинство приведённых выше математических уравнений характеризует изменение параметров предельно сомкнутых древостоев, т.е. описывает верхний биологический предел их возможностей. Эти модели предназначены в большей степени для имитационного моделирования эколого-ресурсного потенциала древосто-

ев, но могут быть использованы при его оценке по материалам таксационных описаний насаждений. По мере накопления материала эти модели должны уточняться.

Выводы

1. Все параметры производительности древостоев можно достаточно надёжно оценить расчётным путём по их средней высоте, полноте и породному составу, используя соответствующие математические модели.

2. При оценке эколого-ресурсного потенциала древостоев целесообразно оперировать удельными показателями, отнесёнными к 1 м^2 площади сечения стволов, которые выполняют роль конверсионных коэффициентов.

3. Наибольшей удельной массой стволовой древесины и ветвей обладают дубняки, за ними с большим отставанием идут березняки, черноольшаники и сосняки. Наименьшую удельную массу стволовой древесины имеют липняки, значительно превосходящие все остальные древостои по удельной массе корней. Наибольшую удельную массу ассимиляционного аппарата имеют ельники, а наименьшую – осинники и березняки. Удельная масса ветвей минимальна в древостоях сосны и осины.

Список литературы

1. Уткин, А. И. Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты) / А.И. Уткин // Итоги науки и техники. Серия: Лесоведение и лесоводство. – М.: ВИНТИ, 1975. – Т. 1. – С. 9-189.
2. Уткин, А. И. Конверсионные коэффициенты для определения площади листовой поверхности насаждений основных лесообразующих пород России / А. И. Уткин, Л. С. Ермолова, Д. Г. Замолодчиков // Лесоведение. – 1997. – № 3. – С. 74-78.
3. Уткин, А. И. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы и осины в европейской части России / А. И. Уткин, Д. Г. Замолодчиков, Т. А. Гульбе, Я. И. Гульбе // Лесоведение. – 1996. – № 6. – С. 36-46.
4. Уткин, А. И. Определение запасов углерода по таксационным показателям древостоев: метод поучастковой аллометрии / А. И. Уткин, Д. Г. Замолодчиков, Т. А. Гульбе, Я. И. Гульбе, Л. С. Ермолова // Лесоведение. – 1998. – № 2. – С. 38-54.
5. Замолодчиков, Д. Г. Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объемным коэффициентам / Д. Г. Замолодчиков, А. И. Уткин, Г. Н. Коровин // Лесоведение. – 1998. – № 3. – С. 84-93.
6. Замолодчиков, Д. Г. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений / Д. Г. Замолодчиков, А. И. Уткин, Г. Н. Коровин // Лесоведение. – 2000. – № 6. – С. 54-63.
7. Замолодчиков, Д. Г. Конверсионные коэффициенты фитомасса/запас в связи с дендометрическими показателями и составом древостоев / Д. Г. Замолодчиков, А. И. Уткин, Г. Н. Коровин // Лесоведение. – 2005. – № 6. – С. 73-81.
8. Усольцев, В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география / В. А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 708 с.

9. Усольцев, В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии / В. А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 763 с.
10. Усольцев, В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения / В. А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 637 с.
11. Усольцев, В. А. Фитомасса и первичная продукция лесов Северной Евразии / В. А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 570 с.
12. Демаков, Ю. П. Структура лесов и земель заповедника / Ю. П. Демаков // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – Вып. 2. – С. 9-49.
13. Демаков, Ю. П. Математические модели хода роста культур сосны для различных типов леса Марийского Заволжья / Ю. П. Демаков, И. А. Козлова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2007. – № 2 (6). – С. 83-91.
14. Демаков, Ю. П. Методика использования таксационных описаний насаждений для анализа структуры и динамики древостоев / Ю. П. Демаков // Наука в условиях современности. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. С. 6-8.
15. Демаков, Ю. П. Динамика производительности и состава древостоев в различных экотопах заповедника «Большая Кокшага» / Ю. П. Демаков, А. В. Исаев // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». – Йошкар-Ола: МарГУ, 2009. – Вып. 4. – С. 24-67.
16. Демаков, Ю. П. Энергетический потенциал лесных культур Марийского нагорного Предволжья / Ю. П. Демаков, А. А. Казекина // Лесное хозяйство России: состояние, проблемы, перспективы инновационного развития. – Казань: РИЦ ВНИИЛМ, 2011. – С. 50-56.
17. Демаков, Ю. П. Структура, продуктивность и динамика осинников Республики Марий Эл / Ю. П. Демаков, А. Е. Смыков, Н. Н. Гаврицкова // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2011. – № 2. – С. 24-38.
18. Демаков, Ю. П. Структура молодняков искусственного происхождения сосны и ели в Марийском ополье и пути ее оптимизации / Ю. П. Демаков, Т. В. Нуреева, А. А. Белоусов // Научный электронный журнал Кубанского аграрного университета. – 2013. – № 93. – С. 1-16.
19. Демаков, Ю. П. Распространение и производительность ельников в различных экотопах Республики Марий Эл / Ю. П. Демаков, А. А. Симанова // Научный диалог. Естествознание. Экология. Науки о Земле. – 2013. – № 3 (15). – С. 26-42.
20. Орлов, М. М. Лесная таксация / М. М. Орлов – М.-Л.: Новая деревня, 1929. – 532 с.
21. Анучин, Н. П. Лесная таксация / Н. П. Анучин. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1960. – 531 с.
22. Третьяков, Н. В. Закон единства в строении насаждений / Н. В. Третьяков. – М.-Л.: Новая деревня, 1927. – 113 с.
23. Thomasius, H. Untersuchungen über die Brauchbarkeit einiger Wachstumsgrößen von Bäumen und Beständen für die quantitative Standortsbeurteilung / H. Thomasius // Archiv Forst. – 1963. – Bd. 12, H 12. – S. 1267-1323.
24. Третьяков, Н. В. Справочник таксатора / Н. В. Третьяков, П. В. Горский, Г. Г. Самойлович. – М.: Гослесбумиздат, 1965. – 459 с.
25. Лесотаксационный справочник / Б. И. Грошев, С. Г. Сеницын, П. И. Мороз, И. П. Сеперович. – 2-е изд. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 288 с.
26. Багинский, В. Ф. Метод приведения древостоев к единой полноте / В. Ф. Багинский // Современное лесоустройство и таксация леса. – М.: ВНИИЛМ, 1974. – Вып. 4. – С. 54-59.
27. Загреев, В. В. Исследование Д/Н и установление критерия «нормальности» сосновых насаждений / В. В. Загреев // Современное лесоустройство и таксация леса. – М.: ВНИИЛМ, 1974. – Вып. 4. – С. 12-24.
28. Экологический подход к оптимизации исходной густоты культур сосны / Ю. П. Демаков, К. К. Калинин, А. И. Шургин и др. // Экология и леса Поволжья. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – С. 277-293.
29. Демаков, Ю. П. Математические модели возрастной динамики древостоев в культурах сосны разной исходной густоты / Ю. П. Демаков // Современные проблемы создания молодых лесов в Среднем Поволжье. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. – С. 127.
30. Романовский, М. Г. Листовой индекс в исследованиях продукционного процесса / М. Г. Романовский // Продукционный процесс и структура лесных биогеоценозов: теория и эксперимент. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. – С. 129-160.

Статья поступила в редакцию 28.08.14.

Ссылка на статью: Демаков Ю. П., Исаев А. В., Черных В. Л. Эколого-ресурсный потенциал древостоев лесобразующих пород Среднего Поволжья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 4 (24). – С. 5-20.

Информация об авторах

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры экологии, почвоведения и природопользования, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – биогеоценология, дендрохронология. Автор 200 научных и учебно-методических работ, в том числе пяти монографий. E-mail: DemakovYP@volgatech.net

ИСАЕВ Александр Викторович – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, государственный природный заповедник «Большая Кокшага». Область научных интересов – биогеоценология, лесное почвоведение. Автор 32 публикаций, в том числе одной монографии. E-mail: nauka_gpz@yolamail.ru

ЧЕРНЫХ Валерий Леонидович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоустройства и лесной таксации, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – проблемы лесной таксации, математического моделирования, информационных и ГИС-технологий в лесном хозяйстве. Автор 250 научных и учебно-методических работ, в том числе пяти монографий. E-mail: ChernyhVL@volgatech.net

**STANDS ECOLOGICAL AND RESOURCE POTENTIAL OF
FOREST FORMING SPECIES IN THE MIDDLE VOLGA REGION**

Yu. P. Demakov¹, A. V. Isaev², V. L. Chernykh¹

¹Volga State University of Technology,

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

E-mail: DemakovJP@volgatech.net

State natural reserve «Bolshaya Kokshaga»,

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

E-mail: nauka_gpz@yolamail.ru

Key words: stand; productivity; assessment; mathematical models; optimization.

ABSTRACT

*The goal of the research is to make a comparative assessment of parameters of potential productivity of stands of the main forest forming species in the Middle Volga region; development and analysis of mathematical model, allowing to compare, rationally manage and improve ecological and resource potential of forests, depending on the purposes of forest management and sites. In accordance with the printed sources and e-database of mensurational description of plantations in the Mari El Republic, a comparative assessment of potential productivity of stands of forest forming species of the Middle Volga region was carried out, trees height represents most parameters accurately and adequately. The height of trees is functionally connected with the parameters and it determines most variation of the values. Corresponding mathematical models were selected. The models allow to carry out an assessment and simulation of stands productivity with the aim to rationally manage and improve their ecological and resource potential by means of optimization of species composition, which corresponds best to the purposes of forest management and natural environment. Results. It was shown that in assessment of ecological and resource potential of stands it is desirable to operate with absolute values, not the specific ones, i.e. the values which are referred to 1 m² of the basal area of stems, which show effectiveness of roots functioning in supply of water and nutrients to the aerial portion of a tree. It was determined that Oak groves take the 1st place in specific phytomass of stem timber and branches but they have the least specific weight of roots. Birch, Sticky Alder and Pine forests take the second place in specific phytomass of stem timber. However, a vast difference in figures is observed between the first and second place. Lime forests have the least specific phytomass of stem timber, but they surpass by far all the other stands in specific weight of roots. Fir forests have the largest specific weight of assimilatory system. Asp and Birch forests take the last place in this parameter. **Conclusion.** The developed mathematical models are mainly meant for simulation of ecological and resource potential of stands, but they may be used in its assessment by the data of mensurational description of plantations.*

REFERENCES

1. Utkin A. I. Biologicheskaya produktivnost lesov (metody izucheniya i rezultaty) [Forests Biological Productivity (methods of study and results)]. *Itogi nauki i tekhniki. Seriya Lesovedenie i lesovodstvo* [Results of Science and Technology. Series Forestry]. Moscow: VINITI, 1975. T. 1. Pp. 9-189.
2. Utkin A. I., Ermolova L. S., Zamolodchikov D. G. Konversionnye koeffitsienty dlya opredeleniya ploshchadi listovoy poverkhnosti nasazhdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Rossii [Conversion Rate to Determine Leaf-Area Duration of Plantations of the Main Forest Forming Species in Russia]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1997. № 3. Pp. 74-78.
3. Utkin A. I., Zamolodchikov D. G., Gulbe T. A., Gulbe Ya. I. Allometricheskie uravneniya dlya fitomassy po dannym derevev sosny, eli, berezy i osiny v evropeyskoy chasti Rossii [Allometric Equations for Phytomass Definition by the Data of Pine, Fir, Birch and Aspen in European Part of Russia]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1996. № 6. Pp. 36-46.
4. Utkin A. I., Zamolodchikov D. G., Gulbe T. A., Gulbe Ya. I., Ermolova L. S. Opredelenie zapasov ugleroda po taksatsionnym pokazatelyam drevostoev: metod pouchastkovoy allometrii [Calculation of Carbon Reserves by Inventory Data: Method of Lot-by-Lot Allometry]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1998. № 2. Pp. 38-54.
5. Zamolodchikov D. G., Utkin A. I., Korovin G. N. Opredelenie zapasov ugleroda po zavisimym ot vozrasta nasazhdeniy konversionno-obemnymi koeffitsientami [Calculation of Carbon Reserves by Depending of the Age Plantations by Conversion-Volume Coefficients]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1998. № 3. Pp. 84-93.
6. Zamolodchikov D. G., Utkin A. I. Sistema konversionnykh otnosheniy dlya rascheta chistoy pervichnoy produktsii lesnykh ekosistem po zapasam nasazhdeniy [A System of Conversion Relations for Calculation of Net Primary Production of Forest Ecosystems by Stand Volumes]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2000. № 6. Pp. 54-63.
7. Zamolodchikov D. G., Utkin A. I., Korovin G. N. Konversionnye koeffitsienty fitomassa/zapas v svyazi s dendometricheskimi pokazatelyami i sostavom drevostoev [Conversion Coefficients of Phytomass / Stock in Connection Because of Inventory Data and Stand Composition]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2005. № 6. P. 73-81.
8. Usoltsev V. A. *Fitomassa lesov Severnoy Evrazii: baza dannykh i geografiya* [Phytomass of Forests Northern Eurasia: data base and geography]. Ekaterinburg: YrO RAN, 2001. 708 p.
9. Usoltsev V. A. *Fitomassa lesov Severnoy Evrazii: normativy i elementy geografii* [Phytomass of Forests Northern Eurasia: standards and elements of geography]. Ekaterinburg: YrO RAN, 2002. 763 p.
10. Usoltsev V. A. *Biologicheskaya produktivnost lesov Severnoy Evrazii: metody, baza dannykh i ee prilozheniya* [Biological Productivity of Northern Eurasia Forests: methods, data base and its applications]. Ekaterinburg: YrO RAN, 2007. 637 p.
11. Usoltsev V. A. *Fitomassa i pervichnaya produktsiya lesov Severnoy Evrazii* [Phytomass and Primary Production of Northern Eurasia Forests]. Ekaterinburg: YrO RAN, 2010. 570 p.
12. Demakov Yu. P. Struktura lesov i zemel zapovednika [Structure of Forests and Lands of a Natural Reserve]. *Nauchnye trudy gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Bolshaya Kokshaga»* [Scientific papers of state natural reserve «Bolshaya Kokshaga»]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2007. Iss. 2. Pp. 9-49.
13. Demakov Yu. P., Kozlova I. A. Matematicheskie modeli khoda rosta kultur sosny dlya razlichnykh tipov lesa Mariyskogo Zavolzhya [Mathematical Models of Growth of Pine Plantations for Different Types of Forest in Mari Trans-Volga Region]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Vestnik of Kazan State Agrarian University]. 2007. № 2 (6). Pp. 83-91.
14. Demakov Yu. P. Metodika ispolzovaniya taksatsionnykh opisaniy nasazhdeniy dlya analiza struktury i dinamiki drevostoev [A Methods for the Use of Inventory Description of Stands to Analyze the Structure and Dynamics of Stands]. *Nauka v usloviyakh sovremennosti* [Science Today]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2009. Pp. 6-8.
15. Demakov Yu. P., Isaev A. V. Dinamika proizvoditelnosti i sostava drevostoev v razlichnykh ekotopakh zapovednika «Bolshaya Kokshaga» [Dynamics of Productivity and Stands Composition in Different Ecotopes of «Bolshaya Kokshaga» Natural Reserve]. *Nauchnye trudy gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Bolshaya Kokshaga»* [Scientific papers of state natural reserve «Bolshaya Kokshaga»]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2009. Iss. 4. Pp. 24-67.
16. Demakov Yu. P., Kazekina A. A. Energeticheskii potentsial lesnykh kultur Mariyskogo nagornogo Predvolzhya [Energetic Potential of Plantations in Mari Upland Region (close to the Volga)]. *Lesnoe khozyaystvo Rossii: sostoyanie, problemy, perspektivy innovatsionnogo razvitiya* [Forestry in Russia: Conditions, Problems, Perspectives of Innovative Development]. Kazan: RITS VNIILM, 2011. Pp. 50-56.
17. Demakov Yu. P., Smykov A. E., Gavritskova N. N. Struktura, produktivnost i dinamika osinnikov Respubliki Mariy El [Structure, Productivity and Dynamics of Aspen Forests in Mari El Republic]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2011. № 2. Pp. 24-38.

18. Demakov Yu. P., Nureeva T. V., Belousov A. A. Struktura mladnyakov iskusstvennogo proiskhozhdeniya sosny i eli v Mariyskom opole i puti ee optimizatsii [Structure Young Pine and Fir Plantations in Mari High Plains and Ways for its Optimization]. *Nauchnyy elektronnyy zhurnal Kubanskogo agrarnogo universiteta* [Scientific E-Journal of the Kuban Agrarian University]. 2013. № 93. Pp. 1-16.
19. Demakov Yu. P., Simanova A. A. Rasprostraneniye i proizvoditelnost elnikov v razlichnykh ekotopakh Respubliki Mariy El [Distribution and Productivity of Fir Forests in Different Ecotopes of Mari El Republic]. *Nauchnyy dialog. Estestvoznaniye. Ekologiya. Nauki o Zemle* [A Research Dialog. Natural Science. Ecology. Earth Sciences]. 2013. № 3 (15). Pp. 26-42.
20. Orlov M. M. *Lesnaya taksatsiya* [Forest Inventory]. Moscow – Leningrad: Novaya derevnya, 1929. 532 p.
21. Anuchin N. P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest Inventory]. Moscow – Leningrad: Goslesbumizdat, 1960. 531 p.
22. Tretyakov N. V. *Zakon edinstva v stroenii nasazhdeniy* [The Rule of Unity in Plantations Structure]. Moscow – Leningrad: Novaya derevnya, 1927. 113 p.
23. Thomasius H. Untersuchungen über die Brauchbarkeit einiger Wachstumsgrößen von Bäumen und Beständen für die quantitative Standortsbeurteilung. *Archiv Forst.* 1963. Bd. 12, H 12. Pp. 1267-1323.
24. Tretyakov N. V., Gorskiy P. V., Samoylovich G. G. *Spravochnik taksatora* [A Handbook of a Taxator]. Moscow: Goslesbumizdat, 1965. 459 p.
25. Groshev B. I., Sinitsyn S. G., Moroz P. I., Seperovich I. P. *Lesotaksatsionnyy spravochnik: 2-e izd.* [Forest Inventory Handbook: 2d edition]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1980. 288 p.
26. Baginskiy V. F. Metod privedeniya drevostoev k edinoy polnote [A Method of Reduction of Stands to the Single Density]. *Sovremennoye lesoustroystvo i taksatsiya lesa* [Forest Surveying and Forest Estimation Today]. Moscow: VNIILM, 1974. Iss. 4. Pp. 54-59.
27. Zagreev V. V. Issledovanie D/N i ustanovleniye kriteriya «normalnosti» sosnovykh nasazhdeniy [Study of D/N and Standard-Setting of «Normality» of Pine Plantations]. *Sovremennoye lesoustroystvo i taksatsiya lesa* [Forest Surveying and Forest Estimation Today]. Moscow: VNIILM, 1974. Iss. 4. Pp. 12-24.
28. Demakov Yu. P., Kalinin K. K., Shurgin A. I., et al. Ekologicheskiy podkhod k optimizatsii iskhodnoy gustomy kultur sosny [An Ecological Approach to the Optimization of the Original Density of Pine Plantations]. *Ekologiya i lesa Povolzhya* [Ecology and Forests of the Middle Volga Region]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2002. Pp. 277-293.
29. Demakov Yu. P. Matematicheskie modeli vozrastnoy dinamiki drevostoev v kulturakh sosny raznoy iskhodnoy gustomy [Mathematical Models of Age Dynamics of Stands in Pine Plantations of Diverse Density]. *Sovremennyye problemy sozdaniya molodykh lesov v Srednem Povolzhe* [Present-Day Problems of Establishment of New Forests in the Middle Volga Region]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 1999. P. 127.
30. Romanovskiy M. G. Listovoy indeks v issledovaniyakh produktsionnogo protsessa [A Leaf-Area Index in the Researches of the Production Process]. *Produktsionnyy protsess i struktura lesnykh biogeotsenozov: teoriya i eksperiment* [Production Process and Structure of Forest Geobiocoenosis: theory and experiment]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2009. Pp. 129-160.

The article was received 28.08.14.

Citation for an article: Demakov Yu. P., Isaev A. V., Chernykh V. L. Stands ecological and resource potential of forest forming species in the Middle Volga region. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2014. No 4 (24). Pp. 5-20.

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, dendrochronology. The author of 200 research works and study guides, including five monographs. E-mail: DemakovYP@volgatech.net

ISAEV Alexander Victorovich – Candidate of Agricultural Sciences, Deputy Director for Research Work, state natural reserve «Bolshaya Kokshaga». Research interests – biogeocenology, forest pedology. The author of 32 publications, including one monograph. E-mail: nauka_gpz@yolamail.ru

CHERNYKH Valeriy Leonidovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Chair of Forest Surveying and Forest Inventory, Volga State University of Technology. Research interests – problems of forest taxation, mathematic simulation, IT and GIS technologies in forestry. The author of 250 research works and study guides, including five monographs. E-mail: ChernykhVL@volgatech.net

УДК 30*237.2:630*232

ЛЕСНЫЕ ПЛАНТАЦИИ ТРИПЛОИДНОЙ ОСИНЫ, СОЗДАННЫЕ ПОСАДОЧНЫМ МАТЕРИАЛОМ IN VITRO

А. В. Жигунов¹, Д. А. Шабунин², О. Ю. Бутенко²

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова,
Российская Федерация, 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5
E-mail: a.zhigunov@bk.ru

²Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства,
Российская Федерация, 194021, Санкт-Петербург, Институтский пр., 21
E-mail: ds1512@mail.ru

Приводятся сведения о технологии микроразмножения триплоидной осины, разработанной в ФБУ «СПбНИИЛХ». Рассматривается рост посадочного материала, полученного из регенерантов, выращенных в торфяном субстрате и адаптированных к изменившейся влажности окружающей среды в условиях летней теплицы в культуре. Показана зависимость скорости роста культур от способа обработки почвы. Развитие напочвенного покрова является ограничивающим фактором роста культур триплоидной осины до четырёхлетнего возраста.

Ключевые слова: *in vitro*; осина; клоны; лесные культуры; обработка почвы; микроклональное размножение; сердцевинная гниль.

Введение. Осина, или тополь дрожащий (*Populus tremula* L.), является одной из широко распространённых древесных пород. В России она является лесообразующей и встречается от скандинавских стран и Чёрного моря до Дальнего Востока и Сахалина. Наиболее часто осина встречается в средней части России, где отличается лучшим ростом [1]. Она вполне морозостойка и засухоустойчива, более требовательна к свету и менее к плодородию почвы, чем другие тополя.

Однако достичь высоких показателей роста и качества древесины можно только при использовании наиболее продуктивных и устойчивых к болезням генотипов растений и при надлежащем уходе за плантациями [2].

Обследование клонов исполинской осины (*P. tremula gigas*) в Костромской области (генетический резерват) показало, что запас в возрасте 73 лет составлял 500 м³/га и более [3]. В Воронежской области лучшие клоны осины и осино-тополевые гибриды в возрасте 33 лет имели объём 1,1–1,8 м³, запас – 550–880 м³/га. Скрещивание различных форм осины и

белых тополей позволило получить в 24 года объём ствола 0,6–1,1 м³ и запас 360–730 м³/га [4]. По данным О. С. Машкиной [5], высота пятилетних клонированных растений триплоидной осины в Воронежской области в среднем составила 3,9 м, при этом растения семенного происхождения имели высоту 3,0 м. Исследования по Республике Татарстан свидетельствуют о том, что в четыре года культура триплоидной осины росла вдвое быстрее диплоидной [6]. В Ленинградской области высаженные на вырубку растения триплоидной осины в трёхлетнем возрасте достигли 1,3 м [7]. Так, большой интерес вызывает комплексное исследование, выполненное в Новосибирской области по изучению триплоидного клона осины, обнаруженного в естественных условиях. Средний объём его ствола в 91 год составлял 1,87 м³, что в 1,7 раза больше, чем у диплоидного клона [8]. В Эстонии были обнаружены экземпляры триплоидной осины, имеющие диаметр более 90 см, а запас 18 осин верхнего яруса (247 м³/га) был в 1,3 раза больше, чем у 91 ели того же яруса (192 м³/га) [9].

Основной недостаток осины, произрастающей в естественных насаждениях, это почти полное поражение стволов сердцевинной гнилью, которая вызывается трутовым грибом *Phellinus tremulae* ((Bondartsev) Bondartsev & P.N. Borisov) [10–12] и может проявляться на самых ранних этапах онтогенеза дерева.

Особенно подвержено заболеванию порослевое потомство (рис. 1), но поскольку этот гриб не наносит дереву никакого ущерба и оно прекрасно проходит все фазы своего развития, а также даёт семенное и вегетативное потомство, то у подавляющего большинства естественных популяций нет устойчивости против этого паразита. В этом случае взаимоотношения гриба и растения находятся на грани симбиоза.



Рис. 1. Сердцевинная гниль молодой поросли осины

Интересна динамика заражённости быстрорастущих клонов осины стволовой гнилью, вызываемой ложным осиновым трутовиком, представленная С. Н. Багаевым и др. [3, 13]. По этим данным до 36–38-летнего возраста встречались единичные экземпляры с наличием стволовой гнили, а в возрасте 73 лет было поражено около половины всех растущих деревьев. Это же подтверждают и исследования, выполненные В. Т. Бакулиным, показывающие, что начало массового поражения сердцевинной гнилью происходило примерно в том же возрасте [8].

Техническое применение стволов с центральной гнилью практически невоз-

можно или экономически крайне не выгодно. Использование же здоровой, быстрорастущей осины позволяет получать продукцию гораздо более ценную, даже по сравнению с хвойной древесиной. Так, пиловочник из этой породы, в зависимости от конъюнктуры рынка, может стоить в семь раз дороже хвойного [12].

Для решения обозначенной проблемы возможно использование клонов здоровой осины, которые были найдены А. С. Яблочковым и С. Н. Багаевым в лесах Костромской области. Среди них особенно выделяются триплоидные формы. Отобранные растения были собраны там же в тремулете. В ряде работ представлено их описание [13, 14]. Чтобы потомство полностью унаследовало свойства этих выдающихся форм, следует использовать вегетативное размножение. К сожалению, осина очень плохо черенкуется и имеет низкий коэффициент размножения. В связи с этим перспективным является использование технологии *in vitro*, которой посвящён ряд научных публикаций [5, 10, 11, 15, 16].

Методы и объекты исследования. Лучшие клоны осины Костромской ЛОС были введены в культуру микропобегов и поддерживаются в коллекции в условиях *in vitro* в лаборатории лесной селекции и биотехнологии ФБУ «СПБНИИЛХ» (рис. 2).



Рис. 2. Культура микропобегов осины

Клоны, использованные при создании культур, представлены следующими линиями: f. 2, f. 5 (клон 34), f. 3, f. 4 (клон 35), f. 6 (клон 36) – культура микропобегов получена методом индукции органо-генеза в каллусной культуре; f. 11 (клон 35) – культура микропобегов получена методом индукции органо-генеза на первичном экспланте. На основе этого материала было создано два моноклональных опытных участка и четыре поликлональных.

В начале весны проводилась адаптация микрочеренков к изменившейся после пересадки в торфяной субстрат влажности окружающей среды. Известно, что близкая к насыщающей влажность воздуха и отсутствие градиента водного потенциала между испаряющей поверхностью листа и атмосферой, дефицит CO_2 в условиях культуральных сосудов приводит к ингибированию транспирации, появлению нефункционирующих устьиц и плохо развитой кутикулы, снижению осмотического давления, обезвоживанию корней на агаре, нарушению водного баланса [17]. Всё это указывает на важность данного этапа для выживания растений. В условиях летней теплицы растения находились 1–3 месяца.

Разработанная агротехника выращивания посадочного материала дала нам возможность заложить опытные участки лесных культур в Бокситогорском, Вологовском и Гатчинском лесничествах Ленинградской области.

Учёт растений проводился ежегодно осенью: измеряли их общую высоту (Н), прирост по высоте и диаметр ($D_{1,3}$) на высоте 1,3 м от уровня корневой шейки. Для сравнения определяли параметры корнеотпрысковой осины. Статистический анализ производился с применением MS Excel, 2007 [18]. Вычисляли следующие показатели: среднее значение и ошибка среднего значения.

В данной статье представлены результаты исследования хода роста триплоидной осины на 6 опытных участках лесных культур в Гатчинском районе Ленинградской области (Гатчинское лесничество) в различных лесорастительных условиях с различной обработкой почвы (табл. 1).

На всех участках, кроме 3, в качестве посадочного материала использовали однолетние саженцы; на участке № 3 – двухлетние саженцы. Данные по состоянию культур до восьмилетнего возраста нами были рассмотрены в предыдущей публикации [7].

Таблица 1

Перечень опытных участков

№ участка	Тип леса	Категория участка	Год создания	Расстояние, м		Способ обработки почвы	Размещение посадочных мест
				между рядами	между растениями		
1	Ельник черничник	Свежая вырубка	2006	1,0-1,5	1,5	ПКЛ-70	шахматное
2	Ельник кисличник	Свежая вырубка	2005	3,0-3,5	0,8-1,0	без обработки	прямоугольное
3	Ельник кисличник	Старая вырубка	2006	3,0-3,5	0,8-1,0	без обработки	прямоугольное
6	—	Заброшенная пашня	2003	3,5	1,5	ППШ-1	шахматное
7	Ельник кисличник	Свежая вырубка	2001	3,0-3,5	1,5	ОРМ-1,5	прямоугольное
8	—	Заросшая прогалина	2005	3,0-3,5	0,8-1,0	без обработки	прямоугольное

Результаты исследования и их обсуждение. Разработанный способ с использованием метода микрочеренкования обеспечивал пятикратное увеличение ростовых пропагул за 1,5 месяца [12]. В этот же срок укладывалось получение регенерантов из микрочеренков; ризогенез происходил спонтанно. На первом этапе проводилось размножение и поддержание культуры микропобегов осины методом микрочеренкования с использованием питательной среды Мурасиге и Скуга с добавкой аденина (MS+20 мг/л аденина) [19]. На втором, при укоренении микрочеренков и формировании регенерантов, использовалась питательная среда Чу с добавкой индолилмасляной кислоты (Чу+0,01 мг/л ИМК) [20].

Разработанная технология адаптации регенерантов, полученных в условиях *in vitro* в теплице летнего типа, и агротехника выращивания из них посадочного материала с закрытой корневой системой рассматривались в работе [21].

Интенсивность роста культур определялась категорией лесного участка, лесорастительными условиями и способом об-

работки почвы (табл. 2). Большой интерес представляли данные по участкам № 6 и № 7, которые указывали на важность такого технологического мероприятия, как качественная обработка почвы. На первом, несмотря на меньший возраст (10 лет), высота культур на 30 % больше, чем на втором, что привело к увеличению среднего объема ствола на 20 %.

Корневая система посадочного материала при выращивании в теплице была ограничена размерами контейнера, поэтому растениям для начала быстрого роста, сопоставимого с ростом корнеотпрысковой осины, необходимо было её нарастить. Это хорошо иллюстрируется табл. 3. В восемь лет растения линии f. 6 и f. 11 по диаметру и высоте незначительно отличались от контроля, а линии f. 4 были на 50 % меньше; к 10-летнему возрасту этот разрыв значительно сократился, а растения линии f. 6 стали расти лучше, чем растения контроля, на 5–10 %.

На срезах модельных деревьев триплоидной осины, взятых нами на данном участке, центральная гниль отсутствовала (рис. 3).

Таблица 2

Биометрические показатели культур триплоидной осины различного возраста

№ участка	Способ подготовки посадочного места	Возраст, лет	D _{1,3} , см	H, м	Объем, м ³
7	Микроповышения ОРМ-1,5	12	7,5±1,08	5,8±0,66	0,0161
6	Пласты плуга ПШ-1	10	7,4±0,39	8,2±0,24	0,0196
2	Посадка по целине	9	5,2±0,25	6,8±0,24	0,0085
8	– // –	8	2,0±0,13	2,5±0,01	0,0008
3	– // –	8	4,3±0,23	5,8±0,21	0,0054
1	Пласты плуга ПКЛ-70	8	4,5±1,32	6,2±0,14	0,0060

Таблица 3

Показатели роста триплоидной и корнеотпрысковой (контроль) осины

Линия	8 (2011)		9 (2012)		10 (2013)	
	D _{1,3} , см	H, м	D _{1,3} , см	H, м	D _{1,3} , см	H, м
f. 6	6,2±0,32	7,4±0,38	7,7±0,49	8,0±0,38	8,6±0,63	9,9±0,43
f. 11	5,6±1,04	6,7±0,20	7,1±0,16	7,1±0,28	8,3±0,20	9,0±0,06
f. 4	3,4±0,19	4,3±0,16	4,5±0,29	4,9±0,24	5,3±0,33	5,8±0,22
Контроль	6,2±0,27	8,0±0,27	6,9±0,32	8,4±0,25	7,5±0,38	9,5±0,33



Рис. 3. Срезы модельных деревьев триплоидной осины на участке № 6

На участке № 1 посадочный материал был высажен в боковину пласта, где гумусовый горизонт был смещён и, следовательно, корни оказались в обеднённом минеральном горизонте (табл. 4), что и сказалось на их росте. Сравнение таксационных показателей культур, посаженных по пластам и без обработки почвы, показало, что в восемь лет они не сильно различались между собой, хотя первые немного превышали (в пределах 7–8 %) вторые.

Растения корнеотпрысковой осины с первого же года имели приросты в высоту, значительно превышающие таковые у высаженных растений триплоидной осины. Это связано с тем, что при пересадке из

контейнеров на вырубку последние испытывают депрессию в связи с изменившимися условиями выращивания. Но уже начиная с шести лет, прирост культуры триплоидной осины начинал увеличиваться и к семи–восемью годам был больше почти в два раза (табл. 5). При этом разница в высотах к этому возрасту составила всего 10 %.

Посадочный материал, высаженный на пустырях и прогалинах, мало конкурентоспособен по отношению к травяному покрову, сформировавшему мощную корневую систему, что сразу привело к резкому снижению роста (табл. 6). Растения на участке № 8 в восьмилетнем возрасте имеют показатели ($D_{1,3}$ и H) в два раза ниже, чем на участке № 2.

Таблица 4

Ход роста восьмилетних культур триплоидной осины в зависимости от способов обработки почвы

№ участка	Способ обработки посадочного места	H, м	$D_{1,3}$, см	Прирост в высоту по годам, см				
				4	5	6	7	8
1	пласты плуга ПКЛ-70	$6,2 \pm 0,14$	$4,5 \pm 1,32$	61	133	74	120	110
2	посадка по целине	$5,8 \pm 0,25$	$4,0 \pm 0,21$	42	67	150	103	110
3		$5,8 \pm 0,21$	$4,3 \pm 0,23$	62	83	85	120	140

Таблица 5

Сравнение роста восьмилетних культур триплоидной и корнеотпрысковой осины

№ участка	H, м	$D_{1,3}$, см	Прирост в высоту по годам, см				
			4	5	6	7	8
2	$5,8 \pm 0,25$	$4,0 \pm 0,21$	42	67	150	103	110
3	$5,8 \pm 0,21$	$4,3 \pm 0,23$	62	83	85	120	140
–	$5,3 \pm 0,21$	$3,1 \pm 0,21$	56	90	90	60	80

Таблица 6

Показатели восьмилетних культур триплоидной осины, созданных по необработанной почве

№ участка	Линия	D _{1,3} , см	H, м
8	f. 11	1,9±0,16	2,4±0,18
	f. 2	2,1±0,25	2,7±0,23
2	f. 11	4,3±0,23	5,8±0,21

Таблица 7

Сравнение роста триплоидной осины с данными, представленными в различных литературных источниках

Участок № 1 Ленинградская область		По данным [5] Воронежская область		По данным [6] Республика Татарстан	
Высота, м	Прирост, м	Высота, м	Прирост, м	Высота, м	Прирост, м
4-летние культуры					
1,8	0,6	2,7	1,3	3,2	0,6
5-летние культуры					
3,2	1,4	3,9	1,3	—	—

Сравнение роста культур триплоидной осины в Ленинградской, Воронежской областях и Республике Татарстан (табл. 7) показало, что в четырёхлетнем возрасте высота растений в Ленинградской области была ниже на 30 %, чем в Воронежской, и на 40 %, чем в Республике Татарстан. При этом прирост по высоте между деревьями Ленинградской области и Татарстана одинаков.

В пять лет разница в высоте культур при посадке по пластам плуга ПКЛ-70 однолетними саженцами в Ленинградской области и в культурах Воронежской области уже составляет 18 %, при этом культуры показали одинаковый средний прирост.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования метода культуры тканей для размножения хозяйственно ценных генотипов осины, которые с трудом размножаются традиционными методами.

На основании проведённых исследований установлено, что использование посадочного материала, созданного по технологии *in vitro*, даёт возможность создавать высокопродуктивные культуры осины, темпы роста которых обеспечивают высокую конкурентоспособность с нежелательной растительностью, что позволяет выращивать их на самых богатых по почвенному плодородию участках (тяжёлых для лесокультурного освоения хвойными породами) и за счёт этого получать максимальную отдачу.

Начиная с шести лет, прирост по высоте растений триплоидной осины в культурах значительно увеличивается и к восьми годам в два раза превосходит корнеотпрысковую осину по данному показателю.

Необходима качественная обработка почвы, которая позволяет значительно увеличить таксационные характеристики искусственных древостоев триплоидной осины.

Список литературы

1. Михайлов, Л.Е. Осина / Л.Е. Михайлов. — М.: Агропромиздат, 1982. — 72 с.
2. Богданов, П.Л. Тополя и их культура / П.Л. Богданов. — 2-е изд., перераб. — М.: Лесная промышленность, 1965. — 104 с.
3. Багаев, С.Н. Особенности формирования быстрорастущих клонов в генетическом резервате исполинской осины / С.Н. Багаев, И.А. Коренев, С.С. Багаев, Д. Н. Зонтиков // Лесное хозяйство. — 2013. — № 2. — С. 26-28.

4. Русин, Н.С. Повышение продуктивности лесов путем создания плантационных культур быстрорастущих пород / Н.С. Русин // Лесохозяйственная информация. – 2008. – № 3-4. – С. 27-28.
5. Машкина, О.С. Микрклональное размножение хозяйственно ценных генотипов осины / О.С. Машкина, Ю.Н. Исаков // Сохранение, изучение и воспроизводство генетических ресурсов лесных древесных растений : Сб. науч. тр. – Воронеж: НИИЛГиС, 2007. – С. 47-58.
6. Газизуллин, А.Х. Результаты исследования четырехлетних опытных культур осины, созданных в Республике Татарстан методами биотехнологии / А.Х. Газизуллин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2011. – Т. 21, № 3. – С. 118-120.
7. Жигунов, А.В. Рост триплоидной осины в лесных культурах, созданных посадочным материалом, полученным по технологии *in vitro* / А.В. Жигунов и др. // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2009. – Вып. 1 (18). – С. 143-152.
8. Бакулин, В.Т. Триплоидный клон осины в лесах Новосибирской области / В.Т. Бакулин // Генетика. – 1966. – № 11. – С. 58-68.
9. Тамм, Ю.А. Результаты поисков триплоидной осины в Эстонской ССР / Ю.А. Тамм, Л.Я. Ярвекюльг // Лесоведение. – 1975. – № 6. – С. 19-26.
10. Зонтиков, Д.Н. Оценка способа стерилизации и минерального состава питательных сред на эффективность культивирования *Populus tremula* L. в условиях *in vitro* / Д.Н. Зонтиков [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 91, № 91-91. – С. 1183-1193.
11. Зонтиков, Д.Н. Морфолого-анатомическое исследование ценных форм триплоидной осины / Д.Н. Зонтиков и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 90. – № 90-90 (10). – С. 259-268.
12. Шабунин, Д.А. Перспективы микрклонального размножения лиственных пород для плантационного лесовыращивания / Д.А. Шабунин // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2011. – Вып. 1 (24). – С. 49-55.
13. Зонтиков, Д.Н. Рост и продуктивность *Populus tremula* L. в Костромской области / Д.Н. Зонтиков [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 91. – № 91-91. – С. 1204-1215.
14. Багаев, С.Н. Генетический резерват осины исполинской / С.Н. Багаев, Е.С. Багаев // Лесное хозяйство. – 1990. – № 4. – С. 45-48.
15. Зонтиков, Д.Н. Факторы, влияющие на морфогенез триплоидной осины в культуре *in vitro* / Д.Н. Зонтиков // Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова. – 2012. – № 1. – С. 8-10.
16. Королева, Ю.А. Микрклональное размножение видов рода *Populus* / Ю.А. Королева и др. // Вестник Удмуртского университета. – 2012. – Вып. 3. – С. 50-54.
17. Гигалошвили, Т.С. Условия микрклонирования формируют специфический культуральный фенотип / Т.С. Гигалошвили, О.И. Родькин, В.Г. Реуцкий // Биология клеток растений *in vitro*, биотехнология и сохранение генофонда: Тезисы докладов VII Международной конференции. – М., 1997. – С. 413.
18. Жигунов, А.В. Статистическая обработка материалов лесокультурных исследований / А.В. Жигунов, И.А. Маркова, А.С. Бондаренко. – СПб.: ЛТА, 2002. – 86 с.
19. Murashige, T.P. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture / T.P. Murashige, F. Skoog // Physiologia Plantarum. – 1962. – Vol. 15 (3). – Pp. 473-497.
20. Chu, C.C. Establishment of an efficient medium for another culture of rice through comparative experiments on the nitrogen sources / C.C. Chu et al. // Scientia Sinica. – 1975. – Vol. 18. – Pp. 659-668.
21. Столярова, Н.А. Выращивание посадочного материала триплоидной осины, полученного по технологии *in vitro*, и закладка плантаций / Н.А. Столярова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2010. – Вып. 193. – С. 62-71.

Статья поступила в редакцию 20.10.14.

Ссылка на статью: Жигунов А.В., Шабунин Д.А., Бутенко О.Ю. Лесные плантации триплоидной осины, созданные посадочным материалом *in vitro* // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 4 (24). – С. 21-30.

Информация об авторах

ЖИГУНОВ Анатолий Васильевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова. Область научных интересов – применение биотехнологий в лесном хозяйстве, способы получения субстратов для посадочного материала, технологии лесовосстановления. Автор 200 публикаций. E-mail: a.zhigunov@bk.ru

ШАБУНИН Дмитрий Александрович – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела лесной селекции и биотехнологии, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства. Область научных интересов – применение биотехнологий в лесном хозяйстве, микроклональное размножение древесных пород и выращивание лесных культур из них. Автор 57 публикаций. E-mail: ds1512@mail.ru

БУТЕНКО Олеся Юрьевна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела лесной селекции и биотехнологии, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства. Область научных интересов – применение биотехнологий в лесном хозяйстве, плантационное лесовыращивание. Автор 17 публикаций. E-mail: din_don@bk.ru

TRIPLOID ASPEN FOREST PLANTATIONS OF IN VITRO PLANTING MATERIAL

A. V. Zhigunov¹, D. A. Shabunin², O. Yu. Butenko²

¹Saint-Petersburg State Forestry Technical University named after S.M. Kirov,
5, Institutskiy per., Saint-Petersburg, 194021, Russian Federation
E-mail: a.zhigunov@bk.ru

²Saint Petersburg Forest Research Institute
21, Institutskiy pr., Saint-Petersburg, 194021, Russian Federation
E-mail: ds1512@mail.ru

Key words: *in vitro*; aspen; clones; plantation; soil preparation; clonal micropropagation; heart wood rot.

ABSTRACT

Introduction. *Aspen (Populus tremula)* is one of the most widespread tree species in Russia. It is frost and drought resistant; it requires more light but it does not need fertile land as compared with other poplars. However, the main problem with aspen growing in natural habitat is heart rot caused by *Phellinus tremulae*. For this reason, only disease-resistant genotypes can provide high growth rate and high-quality wood. A. S. Yablokov and S. N. Bagaev found such genotypes in the forests of the Kostroma region. Triploid forms that are most resistant to heart rot are of particular interest. Unfortunately, aspen cuttings do not develop roots, but when seeded, aspen progeny loses the properties of fast growth and heart rot resistance. In this situation, *in vitro* technology is rather promising for aspen reproduction. The **goal** of the research is to study the growth course of triploid aspen in different forest growth conditions with different soil preparation. **Methods.** The best aspen clones from the Kostroma region were introduced into tissue culture in Saint-Petersburg Forest Research Institute. After microcutting, the propagules grew 5 times larger over 6 weeks, this time is enough to obtain plantlets. The research has shown that the tissue culture method can be used for reproduction of aspen genotypes that can be hardly obtained by standard methods. In early spring the plantlets were planted into peat substrate in a greenhouse for the transplants to adapt to ambient environment within 1–3 months. Experiment plantations were established with the triploid aspen planting material in the Leningrad region. The analysis has shown that the grow rate of the plantations depends on the category and type of forest growth conditions as well as the method of soil preparation. **Research results.** The planting material obtained with *in vitro* technology makes it possible to establish high-productive aspen plantations, the growth rate of which provides their high competitive ability with herbaceous cover. Therefore, aspen plantations can be established on fertile land with maximum benefit. Height increment of triploid aspen plantations increased considerably starting from the age of 6 years and at the age of 8, it was twice as high as that of coppice aspen forest. Proper soil preparation greatly increases the yield of triploid aspen plantations.

REFERENCES

1. Mikhaylov L.E. *Osina* [Aspen]. Moscow: Agropromizdat, 1982. 72 p.
2. Bogdanov P.L. *Topolya i ikh kultura* [Poplars and Poplar Plantations]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1965. 103 p.
3. Bagaev S.N., Korenev I.A., Bagaev S.S., Zontikov D.N. Osobennosti formirovaniya bystrorastushchikh klonov v geneticheskom rezervate ispolinskoj osiny [Features of Formation of Fast-Growing Clones in the Genetics Reserves of *Populus tremula* gigas]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 2013. No 2. Pp. 26-28.
4. Rusin N.S. Povyshenie produktivnosti lesov putem sozdaniya plantatsionnykh kultur bystrorastushchikh porod [Improvement of Forest Productivity by Creating a Fast-Growing Forest Plantation]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information]. 2008. No 3-4. Pp. 27-28.
5. Mashkina O.S., Isakov Yu.N. Mikroklonalnoe razmnzhenie khozyaystvenno tsennykh genotipov osiny [Microclonal Propagation of Economically Valuable Genotypes of Aspen]. Sokhranenie, izuchenie i vosproizvodstvo geneticheskikh resursov lesnykh drevesnykh rasteniy: sbornik nauchnykh trudov [Preservation, Study and Reproduction of Forest Tree Genetic Resources of Plants]. Voronezh: Research Institute of Forest Genetics and Breeding, 2007. Pp. 47-58.
6. Gazizullin A.H., Garipov N.P., Puryaev A.S., Yatmanova N.M., Khakimova Z.G., Chernov V.I., Ismagilov P.I. Rezultaty issledovaniya chetyrekhletnikh opytnykh kultur osiny, sozdannykh v respublike Tatarstan metodami biotekhnologii [Four-Year Results of Experimental Plantations of Aspen Established by Biotechnology Methods in the Tatarstan Republic]. *Vestnik Kazanskogo agrarnogo universiteta* [Vestnik of the Kazan State Agrarian University]. 2011. Vol. 21. No 3. Pp. 118-120.
7. Zhigunov A.V., Shabunin D.A., Bovicheva N.A., Antonov O.I., Butenko O.Yu. Rost triploidnoy osiny v lesnykh kulturakh, sozdannykh posadochnym materialom, poluchennym po tekhnologii in vitro [Triploid Aspen Growth in Forest Plantations, Created of in vitro Planting Material]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo NII lesnogo khozyaystva* [Proceedings of Saint-Petersburg Forestry Research Institute]. Saint-Petersburg, 2009. Issue 1(18). Pp. 143-152.
8. Bakulin V.T. Triploidnyy klon osiny v lesakh Novosibirskoy oblasti [Triploid Clone of Aspen in the Forests of the Novosibirsk Region]. *Genetika* [Genetics]. 1966. No 11. Pp. 58-68.
9. Tamm Yu.A., Yrvekyulg L.Ya. Rezultaty poiskov triploidnoy osiny v Estonskoy SSR [Results of Researches for Triploid Aspen in the Estonian Republic]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1975. No 6. Pp. 19-26.
10. Zontikov D.N., Zontikova S.A., Sergeev P.V., Novikov P.S., Shurgin A.I. Otsenka sposoba sterilizatsii i mineralnogo sostava pitatelnykh sred na effektivnost kultivirovaniya *Populus tremula* L. v usloviyakh in vitro [Assessment Method of Sterilization and Mineral Composition of Nutrient Medium on Efficient Cultivation of *Populus tremula* L. in Tissue Culture]. *Politamatcheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic Online Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University]. 2013. Vol. 91. No 91-91. Pp. 1183-1193.
11. Zontikov D.N., Zontikova S.A., Novikov P.S., Sergeev P.V., Shurgin A.I. Morfolo-go-anatomicheskoe issledovanie tsennykh form triploidnoy osiny [Morphological and Anatomical Studies of the Triploid Forms of Aspen]. *Politematcheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic Online Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University]. 2013. Vol. 90. No 90-90 (10). Pp. 259-268.
12. Shabunin D.A. Perspektivy mikroklonalnogo razmnzheniya listvennykh porod dlya plantatsionnogo lesovyrashchivaniya [Prospects of Clonal Micropropagation of Deciduous Species for Forest Plantation.]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo NII lesnogo khozyaystva* [Proceedings of Saint-Petersburg Forestry Research Institute]. Saint-Petersburg, 2011. Issue 1 (24). Pp. 49-55.
13. Zontikov D.N., Zontikova S.A., Bagaev E.S., Bagaev S.S., Sergeev P.V., Novikov P.S., Shurgin A.I. Rost i produktivnost *Populus tremula* L. v Kostromskoy oblasti [Growth and Productivity of *Populus tremula* L. in the Kostroma Region]. *Politematcheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic Online Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University]. 2013. Vol. 91. No 91-91. Pp. 1204-1215.
14. Bagaev S.N., Bagaev T.S. Geneticheskiy rezervat osiny ispolinskoj [The Genetics Reserves of *Populus Tremula Gigas*]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1990. No 4. Pp. 45-48.
15. Zontikov D.N. Faktory, vliyayushchie na morfogenezu triploidnoy osiny v kulture in vitro [Factors Affecting Morphogenesis of Triploid Aspen in Culture in Vitro]. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta imeni N.A. Nekrasova* [Vestnik of the Kostroma State University named after N.A.Nekrasov]. 2012. No 1. Pp. 8-10.
16. Koroleva Yu.A., Smolin A.M., Boboshina I.V., Svetlakova T.N., Boronnikova S.V. Mikroklonalnoe razmnzhenie vidov roda *Populus* [Clonal Microreproduction of *Populus*]. *Vestnik udmurtskogo universiteta* [Vestnik of the Udmurt University]. 2012. Iss. 3. Pp. 50-54.

17. Gigaloshvili T.S., Rodkin O.I., Peutskiy V.G. Usloviya mikroklonirovaniya formiruyut spetsificheskiy kulturalnyy fenotip [Clonal Conditions Form Specific Culture Phenotype]. *Biologiya kletok rasteniy in vitro, biotekhnologiya i sokhranenie genofonda: tezisy dokladov VII Mezhdunarodnoy konferentsii* [Biology of Plant Cells in Vitro, Biotechnology and Conservation of the Gene Pool]. Moscow, 1997. P. 413.
18. Zhigunov A.V., Markova I.A., Bondarenko A.S. Statisticheskaya obrabotka materialov lesokulturnykh issledovaniy [Statistical Processing of the Materials of Silvicultural Research]. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State Forest Technical Academy, 2002. 86 p.
19. Murashige T.P., Skoog F.A. Revised Medium for Rapid Growth and Bioassays with Tobacco Tissue Culture. *Physiologia Plantarum*. 1962. Vol. 15 (3). Pp. 473-497.
20. Chu C.C., Wang C.S., Sun C.S., Hsu C., Yin K.C., Chu C.Y., Bi F.Y. Establishment of an Efficient Medium for Another Culture of Rice through Comparative Experiments on the Nitrogen Sources. *Scientia Sinica*. 1975. Vol. 18. Pp. 659-668.
21. Stolyarova N.A. Vyrashchivanie posadochnogo materiala triploidnoy osiny, poluchennogo po tekhnologii in vitro i zakladka plantatsiy [Growing of Planting Material of Triploid Aspen with *in Vitro* Technology Using and Establishment of Plantations]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of St. Petersburg Forest Technical Academy]. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State Forest Technical Academy, 2010. Iss. 193. Pp. 62-71.

The article was received 20.10.14.

Citation for an article: Zhigunov A.V., Shabunin D.A., Butenko O.Yu. Triploid aspen forest plantations of *in vitro* planting material. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2014. No 4 (24). Pp. 21-30.

Information about the authors

ZHIGUNOV Anatoliy Vasiliyevich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Chair of Forest Plantations, Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov. Research interests – biotechnologies in forestry, methods and techniques of producing substrates for planting material, technologies of forest restoration. The author of 200 publications.

E-mail: a.zhigunov@bk.ru

SHABUNIN Dmitriy Aleksandrovich – Candidate of Biological Sciences, Leading researcher of the Division of Research in Forest Breeding and Biotechnology, Saint-Petersburg Forest Research Institute. Research interests – biotechnologies in forestry, microclonal propagation of wood species and growing of plantations. The author of 57 publications.

E-mail: ds1512@mail.ru

BUTENKO Olesya Yuryevna – Candidate of Agricultural Sciences, Leading researcher of Division of Research in Forest Breeding and Biotechnology, Saint-Petersburg Forest Research Institute. Research interests – biotechnologies in forestry, plantations cultivation. The author of 17 publications.

E-mail: din_don@bk.ru

УДК 630*114.6 : 630*22

ИЗМЕНЕНИЕ ВИДОВОГО СОСТАВА И ПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОЙ МЕЗОФАУНЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ И РУБОК ЛЕСА

К. В. Дорохов, В. П. Шелухо

Брянская государственная инженерно-технологическая академия,
Российская Федерация, 241050, Брянск, проспект Ленина, 26
E-mail: dorokhovkirill@mail.ru

Изучено влияние устойчивых низовых пожаров различной давности и интенсивности, а также рубок леса различной интенсивности на компоненты лесного биогеоценоза в лесном фонде Калужской области. Произведён анализ видового состава и трофической структуры комплексов почвенной мезофауны, установлены её изменения в связи со степенью и направленностью воздействия изучаемых факторов. Рекомендованы виды-индикаторы степени изменения лесных сообществ антропогенными воздействиями.

Ключевые слова: видовое разнообразие; почвенная мезофауна; живой напочвенный покров; антропогенное воздействие; рубки леса; лесные пожары.

Введение. Биологическое разнообразие является ключевым элементом, определяющим устойчивость и равновесие природных систем. Изменения экосистем человечеством за последние полвека прошли быстрее и более широкомасштабно, чем в любой другой сравнимый отрезок времени, что привело к значительному снижению биоразнообразия на нашей планете [1].

Высокие антропогенные нагрузки привели к значительным изменениям среды обитания многих видов биоты. Почвенная мезофауна, являясь важным компонентом организации круговорота веществ в лесных экосистемах, также испытывает значительные изменения в процессе антропогенной деятельности, чаще снижая эффективность своего участия в трансформации вещества и энергии. Снижение биоразнообразия, эффективности функционирования почвенной биоты ведёт к снижению продуктивности и устойчивости лесных сообществ.

Изучалась фауна и экологическая структура почвенной и напочвенной мезофауны при воздействии рекреационных нагрузок [2, 3], влияние лесных пожаров [4–6]. Ранее в наших широтах не прово-

дилось работ по целевому изучению воздействия лесохозяйственных мероприятий и пожаров на функционирование и динамику мезофауны.

Формирование видового разнообразия животного населения под воздействием различных экологических факторов имеет важное теоретическое и практическое значение.

Реакции сообществ почвенных беспозвоночных на антропогенные нарушения часто проявляются значительно раньше и отчётливее, чем изменения химических и физических параметров почвы, определяемые существующими методами [7].

Целью работы являлось изучение влияния различных антропогенных воздействий, включая лесохозяйственную деятельность, на динамику видового состава и трофической структуры почвенной мезофауны сосняков.

Объекты и методика исследования. Динамика видового состава и численности мезофауны при всех других равных условиях (состав, возраст, полнота насаждений и др.) имеет для каждого конкретного типа леса индивидуальные свойства и особенности [8]. Для уменьшения зависимости от физико-механических свойств

почв наши работы проводились в сосновых лесах на свежих песчаных среднеподзолистых почвах на флювиогляциальных песках в условиях однообразия экотопов. Исследования проведены в насаждениях с участием сосны в составе древостоя 8...10 единиц как естественного, так и искусственного происхождения, полнотой 0,5...0,9, III...VI классов возраста, преимущественно брусничного типа леса в типах лесорастительных условий А₂, В₂. Таксационная характеристика объектов исследования приведена в табл. 1.

Детальные исследования состояния почвенной мезофауны на пробных площадях (ПП) выполнялись с использованием

стандартных почвенно-зоологических методов [9]. На подлежащей обследованию площадке выбирали наиболее типичные точки и закладывали на них почвенные пробы. Площадки для учёта почвенной мезофауны закладывали в количестве 12...15 на каждую пробную площадь, располагая их по диагоналям размерных площадей или на ленте безразмерных, на равном удалении друг от друга. Использовался метод ручной разборки почвенных проб – прямой метод учёта, позволяющий получить данные по количеству учитываемых объектов на единицу площади поверхности почвы. Размер почвенной пробы принимался равным 0,25 м² [10].

Таблица 1

Таксационные характеристики насаждений, в которых заложены пробные площади

№ ПП	Фактор воздействия		Таксационные показатели					
	Устойчивый низовой пожар (интенсивность, давность)	Вид рубок, интенсивность, (%)	Состав	Средний возраст, лет	Класс бонитета	Тип леса	ТЛУ	Относительная полнота
1	Сильная, 2 года	Сплошная	–	–	–	Бр	А ₂	–
2	Контрольные условия		лк 7С3С	1 ярус: 89 2 ярус: 57	I	Бр	А ₂	0,8
3	Сильная, 2 года	–	лк 10С	50	I	Бр	А ₂	0,9
4	Сильная, 2 года	–	10С+Б	95	I	Бр	А ₂	0,5
5	Средняя, 3 года	–	10С	59	I	Бр	В ₂	0,7
6	Средняя, 3 года	–	лк 8С2Б	61	I	Сл	С ₃	0,7
7	Сильная, 4 года	–	10С+Б	90	I	Бр	А ₂	0,6
8	Контрольные условия		10С+Б	95	I	Бр	А ₂	0,5
9	Сильная, 2 года	–	6С4С+Б	115	II	Бр	А ₂	0,6
10	Контрольные условия		лк 9С1Б	56	I	Бр	А ₂	0,9
11	–	Выборочная 15%	8С1Е1Б	90	II	Бр	В ₂	0,6
12	Контрольные условия		8С1Е1Б	90	II	Бр	В ₂	0,6
13	–	Выборочная 20%	9С1Б	85	I	Бр	В ₂	0,7
14	Контрольные условия		9С1Б	85	I	Бр	В ₂	0,7
15	–	Выборочная 20%	10С	85	I	Бр	В ₂	0,7
16	Контрольные условия		10С	85	I	Бр	В ₂	0,7
17	–	Сплошная	–	–	–	Сл	С ₂	–
18	Контрольные условия		8С1Е1Б	90	I	Сл	С ₂	0,7
19	Сильная, 3 года	Сплошная	–	–	–	Бр	А ₂	–
20	Контрольные условия		лк 7С3С	1 ярус: 90 2 ярус: 58	I	Бр	А ₂	0,8
21	Сильная, 3 года	–	лк 10С	51	I	Бр	А ₂	0,9
22	Сильная, 5 лет	–	10С+Б	90	I	Бр	А ₂	0,6
23	Контрольные условия		10С+Б	95	I	Бр	А ₂	0,5
24	Контрольные условия		лк 9С1Б	57	I	Бр	А ₂	0,9
25	Сильная, 3 года	–	10С+Б	95	I	Бр	А ₂	0,5
26	Средняя, 4 года	–	10С	60	I	Бр	В ₂	0,7
27	Средняя, 4 года	–	лк 8С2Б	62	I	Сл	С ₃	0,7
28	Сильная, 3 года	–	6С4С+Б	115	II	Бр	А ₂	0,6

Всех учтённых беспозвоночных делили на систематические группы и три трофических класса по способам питания (зоофаги, фитофаги и сапрофаги). Влияние антропогенных воздействий на состояние комплекса мезофауны изучалось на основе анализа популяционных и видовых показателей почвенной биоты. Сравнительную оценку видового разнообразия проводили с использованием индексов разнообразия Симпсона и Шеннона-Уивера. Выравненность определяли с использованием отношения Хилла.

В течение полевых сезонов 2012–2013 гг. было заложено 28 пробных площадей и 385 учётных почвенных площадок для учёта влияния лесных пожаров и рубок леса на динамику почвенной мезофауны.

Анализ результатов. При изучении влияния антропогенных воздействий на естественные экосистемы необходимо рассматривать любую человеческую деятельность применительно к отдельным элементам биогеоценоза с экологической точки зрения.

Лесные пожары – мощнейший фактор комплексного преобразования лесных сообществ. Затрагивая древостой, огонь также нарушает живой напочвенный покров (ЖНП) и изменяет свойства почвы вместе с её компонентами.

Огневое поражение от пожара при одном и том же его виде и силе не одинаково при различном возрасте древостоев. Отпад деревьев вследствие пожара происходит в наиболее тонких ступенях, снижаясь с увеличением диаметра деревьев. В результате сильных низовых пожаров в первые три года происходит интенсивное усыхание и отпад погибших стволов. Через три года после низового пожара средней интенсивности санитарное состояние древостоя соответствует слабой степени повреждения и практически не имеет тенденции к дальнейшему ослаблению [11].

На основе изучения живого напочвенного покрова как фактора в динамике

численности почвенной мезофауны нами установлено [12], что с увеличением давности лесного пожара происходит постепенное увеличение коэффициента общности его видового состава (по Сьеренсену) с контролем.

Часть ЖНП является кормовой базой и средообразователем для почвенной мезофауны. Пожарища изменяют кислотность почвенных растворов и видовой состав ЖНП, что изменяет кормовой спектр и условия обитания для представителей почвенных фитофагов. Для участков, пройденных огнём, с использованием экологических коэффициентов Элленберга [13] установлено снижение показателя кислотности почвы в связи с давностью пожара и восстановлением лесной среды со значительным участием кислого хвойного опада.

Основной вид лесохозяйственной деятельности – рубки леса – важный фактор в развитии и изменении лесных сообществ. Рубки леса всегда сопровождаются изменением экологических условий, влияющих в разной степени на жизненный цикл почвенной биоты. Биологическая активность почв, способствующая выполнению лесным сообществом его биосферных функций, находится под контролем внешних условий и неизбежно реагирует на происходящие изменения лесной среды [14].

Изменения, происходящие в лесном сообществе после рубок леса, отчасти похожи на послепожарные. В результате изреживания древостоя снижается сомкнутость крон и увеличивается освещённость всех ярусов насаждения, изменяется влажность воздуха. Создаются благоприятные условия для светолюбивых представителей живого напочвенного покрова и одновременно появляется угроза усыхания древесных, кустарниковых и травянистых видов, получающих излишнее количество солнечной радиации. В случае проведения сплошных рубок кардинально меняются экологические условия всего биогеоценоза. Оголённые верхние слои

почвы наиболее интенсивно подвергаются влиянию ветровой эрозии, солнечной инсоляции и выпадающих осадков. Как результат, после рубок леса изменяются химизм и скорость реакций в почве, приводящие к нарушению биологической активности почв. Нами установлено, что рубки леса приводят к уменьшению влажности почвы. Наиболее заметное снижение показателя влажности (на 14 %) вызвано сплошными рубками. После проведения рубок отмечен рост обеспеченности почвы минеральным азотом [15].

На территории двух участковых лесничеств Калужской области нами были изучены изменения, происходящие в комплексах почвенной мезофауны при антропогенном воздействии. Мы считаем, что для целей биомониторинга и диагностики нарушения лесных сообществ наибольшую значимость имеют данные, полученные для типичных (фоновых) видов оби-

тателей почвы. В наших исследованиях они представлены личинками насекомых, олигохетами и многоножками.

В табл. 2 представлены статистические данные учёта почвенной мезофауны по трофическим классам.

Вариация показателя плотности мезофауны максимальна для всех групп мезофауны через пять лет после пожара, что отражает восстановление α -разнообразия мезофауны и снижение плотности отдельных групп. Также значения вариации по многим биотопам значительны ввиду небольшой плотности мезофауны. Точность опыта определения средней для зоофагов – до 29,0, для фитофагов – до 96,3 и для сапрофагов – до 69,7 %.

Влияние пожаров на почвенную мезофауну выражается, прежде всего, в снижении общей численности беспозвоночных (в сравнении с показателями контрольных ПП), что прослеживается на рис. 1.

Таблица 2

Данные учёта трофических классов мезофауны в сосняках, ослабленных различными антропогенными воздействиями

Фактор воздействия	№ ПП	Количество площадок, шт.	Плотность функциональных групп мезофауны, шт./м ²								
			зоофаги			фитофаги			сапрофаги		
			M±m	C, %	P, %	M±m	C, %	P,%	M±m	C, %	P, %
Пожары:											
2-хлетней давности	3, 4, 9	40	13,3 ±3,25	42,5	24,6	3,7 ±1,68	79,07	45,6	0,5 ±0,32	116,9	67,5
3-хлетней давности	5, 6, 19, 21, 25, 28	69	25,4 ±5,02	44,2	19,8	8,2 ±2,88	78,20	35,0	2,9 ±2,05	155,9	69,7
Рубки леса:											
4-хлетней давности	7, 26, 27	41	32,1 ±6,98	37,7	21,8	14,5 ±5,34	63,60	36,7	7,20 ±2,11	50,8	29,3
5-илетней давности	22	13	35,1 ±10,15	104,4	29,0	7,1 ±6,82	347,3	96,3	5,5 ±3,41	222,3	61,6
Контроль	2, 8, 10, 20, 23, 24	78	32,8 ±4,21	31,5	12,8	14,3 ±8,05	137,9	56,3	9,0 ±2,08	56,9	23,2
Выборочные 15-20 %	11, 13, 15	44	8,3 ±1,12	23,2	13,4	10,4 ±2,11	35,0	20,2	0,8 ±0,40	86,6	50,0
Сплошные	1, 17, 19	42	19,9 ±3,80	33,1	19,1	6,0 ±4,44	128,	74,2	2,6 ±0,69	45,9	26,5
Контроль	12, 14, 16, 18	58	36,0 ±9,18	51,0	25,5	20,0 ±3,78	37,8	18,9	5,4 ±1,99	73,2	36,6

Примечания: M±m – средняя с ошибкой, C – вариация, P – точность опыта определения средней.

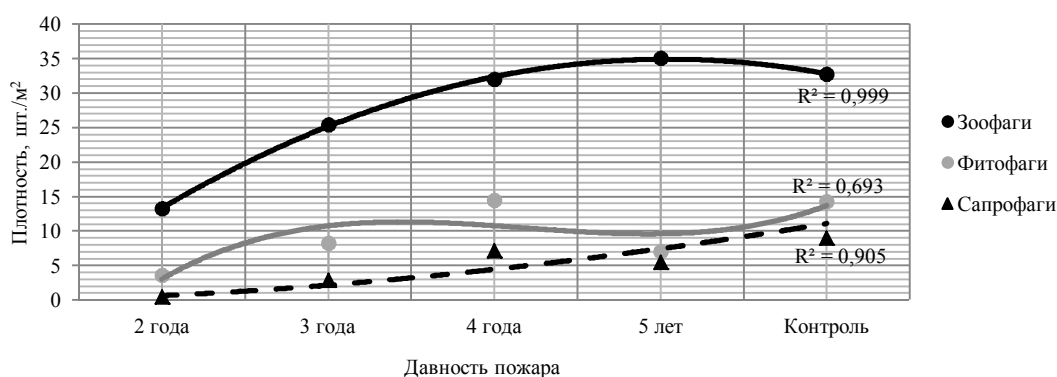


Рис. 1. Зависимость плотности трофических классов мезофауны от наличия и давности воздействия пожара

Наибольшее доленое участие (58,5...77,1 %) на всех ПП имеют зоофаги, доля фитофагов в комплексах мезофауны составляет 14,8...27,0 %. Для ПП, расположенных в месте прохождения пожаров двухлетней давности, установлены наименьшие показатели плотности мезофауны (средняя плотность зоофагов – 13,1; фитофагов – 3,1; сапрофагов – 0,8 шт./м²).

Результаты исследований свидетельствуют о том, что плотность всех трёх трофических классов комплекса педофауны варьирует на контрольных пробных площадях в пределах 35,4...68,3 шт./м². В работе И.Н. Безкорвайной и др. почвенное население песчаных подзолов также характеризуется крайне низкой плотностью (65 экз./м²) и разнообразием мезоэдафона [16]. Однако, по данным М.Т. Лаврова, в Брянской области в сосняке-брусничнике численность только фитофагов может доходить до 150 шт./м² в спелых и перестойных и до 217,4 шт./м² в средневозрастных насаждениях [8]. В

таёжных сообществах показатели численности мезофауны варьировали от 306 до 732 экз./м², наиболее массовые группы: пауки, стафилиниды, жуки [17]. В насаждениях после пожаров разной давности отмечается обеднённость почвенного населения и деградация почвенных сообществ. Подобный результат получен Е.Н. Краснощекковой, J. Smith [5, 18].

Анализ полученных нами данных также свидетельствует и о связи динамики мезофауны с видом проводимых рубок леса (рис. 2). На контрольных ПП отмечена самая высокая общая плотность почвенных беспозвоночных – 61,3 шт./м² – с вариацией показателя от 39,1 до 85,7 шт./м². После проведения сплошной рубки общая плотность мезофауны более чем в два раза превышает плотность её после выборочных рубок интенсивностью 15...20 %. В связи с проведением рубок леса происходит снижение общей численности и плотности мезофауны в сравнении с контролем.

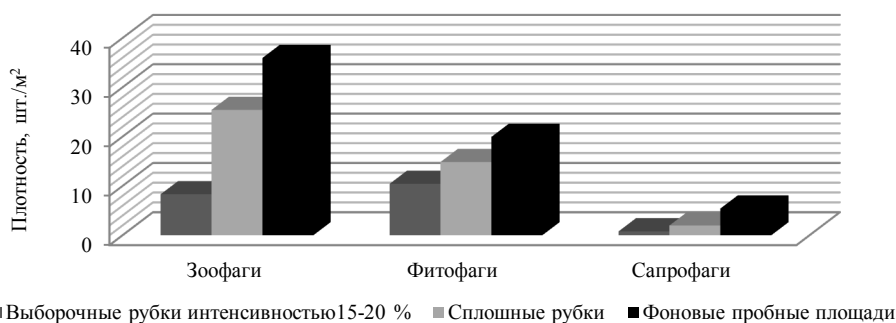


Рис. 2. Зависимость плотности трофических классов мезофауны от вида рубки

Наряду с этим происходит уменьшение общего количества систематических групп почвенной мезофауны. На контрольных ПП зафиксировано 10...15 групп мезофауны, после пожаров средней интенсивности трёхлетней давности – 11...12 групп, четырёхлетней давности – 14 групп. На пробных площадях спустя 2...5 лет после сильных устойчивых пожаров отмечено 7...11 систематических групп. В местах проведения сплошных и выборочных рубок интенсивностью 15...20 % отмечены 10...12 групп.

По данным В. А. Матвеева [19], соотношение комплексов почвенного населения коренного типа леса и производных вырубок при смене пород существенно не меняется. В мезофауне сложных ельников и производных вырубок количественно преобладали три группы беспозвоночных: Insecta, Myriapoda и Lumbricidae, расположенные в порядке доминирования. Резко снижается (до 2,2 раза) плотность беспозвоночных на лесосеках 1...3 лет, что соответствует полученным и нами данным.

После рубок леса изменяются экологические условия среды обитания педофауны. Как следствие, изменяется видовое разнообразие с вытеснением и заменой одних видов другими, наиболее приспособленными к сложившимся условиям. Проведение выборочных рубок интенсивностью 15...20 % способствует уменьшению количества видов мезофауны. В отсутствие древостоя после сплошных рубок создаются условия для увеличения численности видов в сравнении с контролем.

Сравнительный анализ соотношения трофических групп мезофауны показал, что на контрольных участках зоофаги преобладают почти в два раза над фитофагами и в четыре раза – над сапрофагами. Недостаток в почве легкодоступного органического вещества обуславливает малую долю сапрофагов. Л. С. Чумаков [20] в почвенной фауне сосняков Березинского биосферного заповедника также отмечал господствующее положение хищников в исследуемых сосняках (88,8...93,8 %) и небольшое количество сапрофагов (0,3...2,0 %).

Учёт мезофауны на площадях, нарушенных пожарами средней интенсивности давностью 3...4 года, свидетельствует о незначительном уменьшении доли сапрофагов по сравнению с показателями контрольных ПП. В результате сильных пожаров давностью 2...5 лет доля сапрофагов снижается в 1,2...5,9 раза при увеличении доли зоофагов до 1,3 раза. Изменения, происходящие в пищевой структуре почвенной мезофауны в местах проведения выборочных рубок интенсивностью 15...20 % (по сравнению с контролем), заключаются в уменьшении долей зоофагов (более чем в 1,5 раза) и сапрофагов (в два раза). Проведение сплошной рубки сопровождается увеличением доли зоофагов (в 1,2 раза).

Для характеристики видовой структуры мезофауны пробных площадей использовали индекс видового разнообразия Симпсона и индекс разнообразия Шеннона–Уивера. Результаты расчёта индексов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Индексы видового разнообразия и выравненность в исследованных комплексах мезофауны

Индекс	Вид воздействия					
	пожар давностью три года	пожар давностью четыре года	пожар давностью пять лет	контрольные пробные площади	выборочная рубка интенсивностью 15...20 %	сплошная рубка
Симпсона	8,76	11,78	10,11	11,03	7,71	7,25
Шеннона–Уивера	2,47	2,75	2,72	2,74	2,30	2,40
Хилла	1,77	1,86	1,63	1,73	1,82	1,55

Сравнительная оценка с использованием индекса Симпсона свидетельствует о том, что на горях давностью три года происходит уменьшение видового разнообразия (индекс 8,76) по сравнению с контрольными ПП (индекс 11,03). После сплошных и выборочных рубок интенсивностью 15...20 % зафиксированы наименьшие индексы видового разнообразия – 7,25 и 7,71 соответственно.

Данные табл. 3 свидетельствуют о том, что видовое разнообразие контрольных ПП может достигаться в послепожарных условиях через 4...5 лет. Проведение различных рубок способствует наибольшему уменьшению видового разнообразия.

Расчёт равномерности распределения видов по их обилию в сообществе (выравненности) показал следующее. В условиях контрольных ПП, за счёт наличия видов-доминантов с высоким обилием, вырав-

ненность (1,73) оказалась меньше, чем на пожарищах трёх- и четырёхлетней давности (1,77 и 1,86 соответственно), где обилие относительно равномерно распределено между видами. Проведение выборочных рубок также способствовало увеличению выравненности по сравнению с фоном (до 1,82).

В табл. 4 представлены результаты расчёта встречаемости и плотности почвенной мезофауны, идентифицированной до различных таксономических уровней.

В исследованиях В. П. Бессчетнова [21] на территории Нижегородской области минимальное количество насекомых отмечено на ПП, которые после пожара были дополнительно подвержены антропогенному влиянию (расчистке участка и созданию лесных культур). Максимальное количество видов отмечено на ПП, не повреждённой пожарами, и на ПП после низового пожара слабой интенсивности.

Таблица 4

Таксономическое разнообразие мезофауны на ПП при различном антропогенном воздействии

Мезофауна	Факторы воздействия															
	пожары давностью:								Контроль		рубки леса:				Контроль	
	2 года		3 года		4 года		5 лет				БР		СР			
	P, шт/м ²	V, %	P, шт/м ²	V, %	P, шт/м ²	V, %	P, шт/м ²	V, %	P, шт/м ²	V, %	P, шт/м ²	V, %	P, шт/м ²	V, %	P, шт/м ²	V, %
Elateridae	2,9	48	3,2	43	11,2	79	6,2	69	10,1	82	6,6	66	4,7	34	10,1	84
Diptera	1,4	15	2,1	17	3,5	23	4,0	27	3,6	30	2,4	12	1,4	12	2,7	20
Scarabaeidae	0,5	11	1,1	19	0,4	10	0,9	8	0,9	17	0,5	11	0,2	2	1,1	11
Lumbricidae	0,4	6	0,8	8	2,1	19	3,1	35	4,1	28	0,4	3	0,3	4	2,3	21
Curculionidae	0,1	3	0,9	17	0,8	18	0,0	0	1,1	18	2,7	38	1,5	9	5,0	48
Carabidae	1,1	18	3,7	40	3,0	53	4,6	69	1,1	18	3,7	40	3,0	53	4,6	69
Staphylinidae	1,2	33	1,3	34	2,2	41	2,5	39	3,5	58	1,0	18	1,5	21	5,0	62
Ectobiinae	0,4	9	2,4	42	4,7	53	2,5	31	0,4	9	2,4	42	4,7	53	2,5	31
Symphyta	0,0	0	0,7	11	2,1	36	0,0	0	0,0	0	0,7	11	2,1	36	0,0	0
Chilopoda	5,1	61	6,3	56	9,9	74	6,8	92	5,1	61	6,3	56	9,9	74	6,8	92
Juliformia	0,3	7	0,1	3	0,4	8	0,0	0	0,3	7	0,1	3	0,4	8	0,0	0
Noctuidae	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
Araneae	4,6	57	4,3	66	5,8	71	9,5	92	4,6	57	4,3	66	5,8	71	9,5	92
Formicidae	3,9	32	6,0	61	7,7	72	7,7	62	3,9	32	6,0	61	7,7	72	7,7	62

Примечания: БР – выборочные рубки интенсивностью 15...20 %; СР – сплошные рубки; V – встречаемость; Р – средняя плотность на ПП.

Исследования на территории Восточного Саяна показали, что обилие насекомых и их личинок в подстилке, в зависимости от степени захламлённости и температуры огня, уменьшается в 3...14 раз. Восстановление прежнего зооценоза происходит на второй год [22].

Среди почвенных насекомых наибольшее значение имеют семейства щелкунов, долгоносиков, хрущей и отряда двукрылых. Основными представителями надкласса многоножек являются почвенные губоногие и двупарноногие многоножки.

Щелкуны (личинки) – наиболее часто встречающееся семейство насекомых в песчаных почвах на всех пробных площадях. В наших исследованиях общая плотность семейства щелкунов меняется в зависимости от интенсивности пожаров: в результате сильных пожаров плотность уменьшается в 2,1 раза больше, чем после пожаров средней интенсивности. После выборочных рубок интенсивностью 15...20 % плотность щелкунов меньше, чем на контроле, в 1,6 раза. После проведения сплошной рубки леса их плотность выше показателей контроля в 1,3 раза. Сплошная рубка, проведённая после пожара, влечёт уменьшение плотности щелкунов в 16,7 раза по сравнению с контрольными ПП.

Исследования J. Muona в таёжных хвойных лесах Швеции показали, что после пожара в сосняках численность находящихся в почве щелкунов резко возросла. Вероятно, повлияло то, что лесные пожары высвободили питательные вещества, стимулирующие рост трав, корнями которых питаются личинки щелкунов [23].

Нами зафиксированы личинки четырёх видов щелкунов на послепожарных территориях. Для контроля характерно доминирование щелкуна широкого (*Selatosomus Latus* F.) – 36 % (3,7 шт./м²). Личинки щелкуна каштанового (*Anostirus castaneus* L.) (2,9 шт./м²) и щелкуна окаймлённого (*Dolopius marginatus* L.)

(3,1 шт./м²) имеют схожие доли в сообществе учтённых щелкунов (28 и 29 % соответственно). Остальная доля (7 %) приходится на личинок щелкуна мозаичного (*Prosternon tessellatum* L.) (0,7 шт./м²). В результате сильного устойчивого низового пожара происходит перераспределение участия видов. Доля личинок щелкуна широкого достигает почти половины (44 %) при плотности 1,3 шт./м², возрастает участие личинок щелкуна мозаичного (21 %) с плотностью 0,6 шт./м². Снижается участие личинок щелкуна каштанового и щелкуна окаймлённого в сообществе (до 16...18 %). По истечении пяти лет после сильного низового пожара отмечается преобладание личинок щелкуна окаймлённого и отсутствие щелкуна мозаичного. Низовой пожар средней интенсивности в меньшей степени влияет на встречаемость каждого из четырёх отмеченных видов щелкунов – каждый имеет встречаемость 25 %.

Нами проанализирована почвенная мезофауна насаждений после рубок различной интенсивности. Наибольшая общая плотность характерна для контрольных ПП, на участках, не затронутых рубками – до 85,7 шт./м². Наиболее многочисленным в составе является семейство щелкунов, представленное пятью видами. На пробных площадях после выборочных рубок интенсивностью 15 и 20 %, а также на контрольных ПП (не затронутых рубкой) доминирует щелкун широкий (*Selatosomus latus* F.) 2,2...5,8 шт./м². После проведения сплошной рубки древостоя доминантом (9,4 шт./м²) среди щелкунов становится щелкун окаймлённый (*Dolopius marginatus* L.), являющийся на участках леса, пройденных выборочными рубками, субдоминантным видом, а общая плотность щелкунов превышает показатель контрольных ПП. Однако проведение сплошной рубки древостоя после низового пожара создаёт условия для жизнедеятельности только щелкуна широкого. Личинки щелкуна каштанового (*Anostirus*

castaneus L.) зафиксированы только на контрольных ПП с долей участия 6...9 % от численности личинок щелкунов при плотности 0,3...1,3 шт./м². Щелкун кожеедоподобный (*Cryptohypnus dermestoides* Hbst.) отмечен только на участке после сплошной рубки. Также редко встречался щелкун коричневый (*Sericus brunneus* L.) с долей участия до 6 % (от общего количества щелкунов) на двух ПП.

Таким образом, под влиянием пожаров и рубок леса наименьшие изменения в плотности заселения почв щелкунами претерпевает эврибионтный вид – щелкун широкий. Только после проведения сплошной рубки и через пять лет после сильного устойчивого низового пожара его доминантное положение занимает другой вид – щелкун окаймленный.

Губоногие многоножки – самые многочисленны среди зоофагов на контрольных ПП – в участках леса, не затронутых антропогенной деятельностью. Характерно преобладание костянок (*Lithobiomorpha*) над представителями отряда геофилов (*Geophilomorpha*) (79...88 % и 12...21 % соответственно). В распределении губоногих многоножек при воздействии пожаров наблюдается чёткая зависимость. Костянки преобладают над геофилидами на ПП после пожаров. Однако величина такого превосходства тем меньше, чем меньше давность пожара. После сильных пожаров происходит сокращение плотности губоногих многоножек в 1,9 раза и увеличение в 1,2 раза – после пожаров средней интенсивности.

После проведения выборочных рубок интенсивностью 20 % не отмечены представители отряда *Geophilomorpha*. Как выборочные, так и сплошные рубки леса приводят к снижению плотности многоножек в 12...14 раз.

На послепожарных территориях среди личинок двукрылых (*Diptera*) преобладают представители рода *Lasiopogon* Lw. На контрольных ПП их доля среди личинок двукрылых составляла 73 %. После силь-

ных устойчивых низовых пожаров также наблюдалось их численное превосходство (67...81 %) над остальными личинками мух. Характерной особенностью, выявленной при учёте на всех ПП, можно считать присутствие личинок ктырей *Philonicus albiceps* Mg. На контроле их доля – 28 % от всех учтённых двукрылых. С увеличением давности пожара отмечается увеличение их встречаемости (36...40 %).

После рубок леса также доминируют среди личинок двукрылых представители рода *Lasiopogon* Lw. (до 2,0 шт./м²). Заметно участие представителей рода *Culicoides* Latr. (средняя плотность – 0,3 шт./м²), семейств *Therevidae* и *Tipulidae* (средняя плотность для каждого семейства составляет 0,1 шт./м²). Зависимости плотности и встречаемости куколок ктырей *Philonicus albiceps* от интенсивности рубок не прослеживается. В результате проведения рубок леса, а также после низовых устойчивых пожаров различной интенсивности доля двукрылых в сообществе мезофауны отмечается не ниже показателей, зафиксированных на контрольных ПП, не затронутых антропогенным воздействием. При этом общая плотность двукрылых после проведения рубок леса уменьшается с 2,7 шт./м² в 1,1...1,6 раза с увеличением интенсивности рубки, после пожаров – уменьшается в 1,2...1,6 раза с 3,6 шт./м² с увеличением интенсивности пожара.

Важный для почвообразования класс олигохет представлен земляными червями (*Lumbricus terrestris* L.) и подстилочными (*Dendrobaena octaedra* Sav., *Lumbricus castaneus* Sav.). Контрольные ПП характеризуются слабым преобладанием земляных форм червей над подстилочными формами. На протяжении двух-пяти лет после низовых пожаров разной интенсивности отмечены незначительные колебания как в сторону уменьшения, так и в сторону повышения доли каждой экологической группы. На контрольных ПП их общая плотность достигает 7,3 % от всей почвенной мезофауны

(4,1 шт./м²). В результате воздействия устойчивых низовых пожаров плотность олигохет составляет 1,0...1,4 шт./м².

В распределении олигохет на участках, не затронутых рубками леса, зафиксировано небольшое преобладание (на 4 %) земляных червей над подстилочными. Проведение выборочных рубок интенсивностью 15...20 % увеличивает доминирование земляных форм при общем снижении плотности червей в 4,6 раза. На пробных площадях после сплошных рубок представителей олигохет не зафиксировано.

Воздействие сильных устойчивых низовых пожаров в среднем сравнимо по степени влияния на комплекс олигохет с проведением выборочных рубок: происходит более чем четырёхкратное уменьшение плотности по сравнению с контролем.

В исследованных сосняках из семейства пластинчатоусых (Scarabaeidae) отмечены личинки восточного майского хруща (*Melolontha hippocastani* F.) и хруща июньского (*Amphimallon solstitialis* L.). Доля хрущей на участках леса, пройденных низовыми пожарами, в комплексе почвенной мезофауны незначительна (1,6...2,9 %). На контрольных ПП отмечены личинки только восточного майского хруща, после пожаров – и хруща июньского. При этом их доля превышает долю личинок майского хруща до пяти раз. Плотность личинок хрущей после сильных пожаров составляет 0,9 шт./м², после пожаров средней интенсивности – 0,6 шт./м². При плотности до 0,8 шт./м² доля хрущей в сообществе почвенной мезофауны мала. После проведения сплошной, а также выборочных рубок интенсивностью 15...20 % плотность хрущей составляет 0,1 шт./м².

Воздействие рубок леса более значимо влияет на уменьшение плотности хрущей, чем пожары различной интенсивности.

Из долгоносиков отмечен один вид – *Brachyderes incanus* L. Плотность его личинок составляет 1,3 шт./м² на контроле и в насаждениях, пройденных пожарами

средней интенсивности. Для ПП на участках после сильных устойчивых низовых пожаров различной давности характерны меньшие (до 4,3 раза) плотности поселения личинок долгоносика. Проведение выборочной рубки приводит к сокращению плотности в 1,6 раза (до 0,6 шт./м²) в сравнении с контролем, а после сплошной рубки долгоносиков не зафиксировано.

Результаты наших исследований близки полученным более 50 лет назад в похожих условиях М. Т. Лавровым [8], который отмечал, что при слабом изреживании древостоя (до 15 %) и при интенсивных рубках (40...70 %) снижается, по сравнению с контролем, количество дождевых червей и всех многоножек.

Однако наши данные не подтвердили мнение М. Т. Лаврова, что рубки интенсивностью 40...70 % снижают, по сравнению с контролем, количество личинок двукрылых и при этом совершенно исчезают личинки майского хруща, а также, что количество личинок других хрущей равно контролю, а количество личинок щелкунов незначительно увеличивается.

Большую роль в регуляции численности почвенной мезофауны играют активные хищники – жужелицы. По данным И. Х. Шаровой, в лесах Московской области их зарегистрировано до 50 видов. Доминирующая группа жизненных форм – зоофаги стратобионты подстилочные, они составляют 40...78 % по плотности от всех лесных жужелиц. Заметное значение имеют эпигеобионты ходячие [24].

На послепожарных территориях нами зафиксировано десять видов из данного семейства. На контрольных ПП отмечено пять видов, среди которых наибольшую долю (64 %) при плотности 2,2 шт./м² имеет *Calathus micropterus* Duft. Здесь наиболее представлен по количеству видов род *Pterostichus*, на долю которого приходится 29 % от плотности жужелиц. В его составе представлены *Pterostichus oblongopunctatus* F., *Pterostichus melanarius* Ill., *Pterostichus aethiops* Pz. Также отмечен

Carabus nemoralis Mull. с низкой долей участия в сообществе жуужелиц (7 %).

После пожаров средней интенсивности зафиксировано пять видов жуужелиц, после сильных – семь. В составе сообществ жуужелиц всех ПП отмечены три вида: имеющий наибольшую долю в общей плотности *Calathus micropterus* Duft., *Pterostichus oblongopunctatus* F. и *Pterostichus melanarius* Ill.

Таким образом, пожары не уменьшают видового разнообразия жуужелиц. *Calathus micropterus* Duft. является самым многочисленным представителем, составляя не менее 31 % сообщества жуужелиц и, вместе с *Pterostichus oblongopunctatus* F. и *Pterostichus melanarius* Ill, являясь основой карабидокомплекса.

Отмечено уменьшение общей плотности данного семейства в 1,9 и 2 раза при пожарах средней интенсивности и сильных пожарах соответственно. Несколько отличные результаты получены при исследовании в таёжных хвойных лесах Швеции, где жуужелицы увеличили численность на всех участках после пожара. Жуужелица-супердоминант в северных хвойных лесах (*Calathus micropterus* Duft.) по численности приблизилась к нормальной после двух лет после пожара [23].

При изучении влияния рубок на почвенную мезофауну нами зафиксировано 15 видов жуужелиц. На контрольных ПП отмечено 12 видов, среди которых наибольшую долю (31 %) при плотности 1,0 шт./м² имеет *Calathus micropterus* Duft. Наибольшее количество видов зафиксировано из рода *Pterostichus* (35 % от плотности жуужелиц). В его составе представлены *Pterostichus oblongopunctatus* F., *Pterostichus melanarius* Ill., *Pterostichus aethiops* Pz., *Pterostichus versicolor* Sturm. и *Pterostichus minor* Gyll. с преобладанием *Pterostichus oblongopunctatus* F. (40 % от плотности рода).

После выборочных рубок интенсивностью 15...20 % учтено пять видов жуужелиц. Только здесь отмечен *Loricera*

pilicornis F. Плотность жуужелиц ниже, чем на контроле, почти в шесть раз (0,6 шт./м²). На долю *Loricera pilicornis* F. и *Pterostichus melanarius* Ill. приходится по 30 % от плотности. Большее количество видов (восемь) характерно для мест проведения сплошных рубок (плотность семейства – 5,0 шт./м²). *Bembidion properans* Steph. и *Notiophilus palustris* Duft. отмечены исключительно после разреживания насаждения. *Bembidion properans* Steph. – доминант в данных условиях, на долю которого приходится больше половины плотности жуужелиц.

Доминант в контроле *Calathus micropterus* Duft., значительно преобладающий над остальными видами жуужелиц, сменяется в результате проведения сплошных рубок на *Bembidion properans* Steph. После проведения выборочных рубок плотность жуужелиц распределена относительно равномерно между несколькими видами-доминантами, в числе которых *Loricera pilicornis* F., *Pterostichus melanarius* Ill. и *Carabus nemoralis* Mull.

Стафилины – одна из крупнейших групп почвенных насекомых. На контрольных ПП учтено семь видов, наибольшую долю из которых имеет *Xantholinus tricolor* F. при плотности 0,9 шт./м². Субдоминантными видами являются *Philonthus decorus* Grav. и *Xantholinus linearis* Ol. с долями 14,3 и 11,1 % соответственно. После сильных низовых пожаров отмечены три вида стафилинов, они же характерны и для контроля. Преобладают представители рода *Xantholinus*, менее 15 % приходится на вид *Gabrieus osseticus* Kol. при плотности 0,2 шт./м².

После устойчивого низового пожара средней интенсивности комплекс стафилинов представлен шестью видами, встречающимися и на контроле, и, дополнительно, ещё тремя видами.

Совместная доля *Xantholinus tricolor* F. и *Xantholinus linearis* Ol. значительно преобладает над встречаемостью других видов стафилинов. Таким образом, дан-

ные виды являются основой комплекса стафилинов. Сильные устойчивые пожары уменьшают количество видов стафилинов, а на ПП после пожаров средней интенсивности давностью до четырёх лет количество стафилинов не меньше, чем на контроле.

При изучении влияния рубок леса на мезофауну нами зафиксированы имаго 13 видов стафилинов. На контроле учтено 12 видов, наибольшую долю из которых имеет *Xantholinus tricolor* F. при плотности 1,5 шт./м². Субдоминантными видами в данных условиях выступают *Oxypoda abdominalis* Mann., *Xantholinus linearis* Ol. и *Gabrius osseticus* Kol. с долями около 15 % у каждого.

После проведения выборочных рубок интенсивностью 15...20 % отмечены шесть видов стафилинов. Пять из них характерны и для контроля, *Stenus junio* Payk. встречен только на местах рубок леса. Преобладают *Drusilla canaliculata* Fabr. и *Gabrius osseticus* Kol. После сплошных рубок комплекс стафилинов представлен восемью видами, имеющимися и на контроле. Преобладают *Gabrius osseticus* Kol. (1,1 шт./м²) и *Xantholinus linearis* Ol. (0,6 шт./м²). Пять видов имеют равные доли в плотности по 9 %.

Таким образом, при всех условиях отмечены *Gabrius osseticus* Kol. и *Drusilla canaliculata* Fabr., являющиеся основой комплекса коротконадкрылых. Проведение как выборочных, так и сплошных рубок различной интенсивности способствует увеличению их доли в сообществе стафилинов. *Xantholinus tricolor* F., преобладающий на контрольных ПП, после проведения сплошных рубок отсутствует.

Выводы

1. Роль рубок леса и низовых пожаров на леса заключается в прямом воздействии на фитоценоз и опосредованном влиянии на почвенную мезофауну через ослабление санитарного состояния древостоев и нарушение живого напочвенного покрова. Изменения, происходящие в лес-

ном сообществе после этих воздействий, близки по тенденциям, но имеют свои особенности.

2. Низовые устойчивые пожары и рубки леса разной интенсивности в сосняках брусничных приводят к изменениям почвенной мезофауны: уменьшению плотности популяций видов, снижению таксономического разнообразия, изменению α -разнообразия, нарушению трофической структуры комплекса.

3. На контроле зоофаги преобладают более чем в три раза над сапрофагами и фитофагами. После рубок леса, а также пожаров средней интенсивности происходит уменьшение долей участия зоофагов и сапрофагов. После сильных пожаров снижается доля сапрофагов при увеличении доли зоофагов.

4. После сильных пожаров плотность личинок щелкунов уменьшается в 2,8 раза больше, чем после пожаров средней интенсивности. После выборочных рубок плотность щелкунов меньше, чем на контроле в 1,6 раза, после проведения сплошной рубки леса их плотность выше, чем на контроле, в 1,3 раза.

5. Как выборочные, так и сплошные рубки леса приводят к значительному снижению доли многоножек в общей численности педофауны. Рубки леса и низовые пожары незначительно сказываются на плотности поселения и видовом составе личинок двукрылых. Воздействие рубок леса более значимо для уменьшения плотности хрущей, чем пожары.

6. Сильные устойчивые низовые пожары сравнимы по степени влияния на комплекс олигохет с проведением выборочных рубок: происходит более чем четырёхкратное уменьшение плотности по сравнению с контролем.

7. При прогнозировании последствий лесохозяйственных мероприятий и других воздействий на леса соотношение трофических групп мезофауны и отдельные виды фоновых почвенных беспозвоночных могут выступать в качестве диагностов состо-

яния лесных сообществ и степени их изменения. Для диагностики степени нарушения лесной среды нами рекомендуется в процессе экологического и лесопатологического мониторинга использовать: соотношение между плотностью комплексов зоофагов и сапрофагов, среди щелкунов отмечать долю *Selatosomus Latus* F., среди двукрылых – долю представителей рода *Lasiopogon* Lw., среди *Lumbricidae* – долю *Dendrobaena octaedra* Sav, среди жуликов –

Calathus micropterus Duft., *Pterostichus oblongopunctatus* F. и *Pterostichus melanarius* Ill., среди стафилинов – *Gabrieus osseticus* Kol. и *Drusilla canaliculata* Fabr.

8. При ведении лесозаготовок рекомендуется максимально использовать расчётную лесосеку выборочных рубок с наименьшей площадью технологических коридоров, применением лесозаготовительной и лесовозной техники с минимальным давлением на грунт.

Список литературы

1. Отчет международного исследовательского проекта Millennium Ecosystem Assessment [Электронный ресурс]: «Ecosystems and human well-being: Current State and Trends». – 2010. – Vol. 1. Режим доступа: <http://www.millenniumassessment.org/ru/Condition.html> – Загл. с экрана. (дата обращения: 13.02.2014).
2. Юркина, Е. В. Состав и функционально-биоценотическая структура энтомофауны в сосняках при разной степени их антропогенной нарушенности / Е. В. Юркина // Известия вузов. Лесной журнал. – 2009. – № 1. – С. 28.
3. Зейферт, Д. В. Научные основы биоэкологического мониторинга антропогенных воздействий при разных видах хозяйственной деятельности на примере территории южной промышленной зоны Башкортостана [Электронный ресурс]: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Д. В. Зейферт. – М., 2011. – Режим доступа: <http://www.pandia.ru/144092/> – Загл. с экрана (дата обращения: 20.01.2013).
4. Мордкович, В. Г. Проблема лесных пожаров и пирогенных сукцессий сообществ почвенных членистоногих в Сибири / В. Г. Мордкович, И. И. Любечанский, О. Г. Березина // Сибирский экологический журнал. – 2007. – № 2. – С. 169-181.
5. Краснощекова, Е. Н. Трансформация комплексов почвенных беспозвоночных под воздействием пожаров в среднетаежных сосняках Енисейской равнины [Электронный ресурс]: дис. ... канд. биол. наук / Е. Н. Краснощекова. – Красноярск, 2009. – 178 с. – Режим доступа: <http://www.dissertcat.com/content/transformatsiya-kompleksov-pochvennykh-bespozvonochnykh-pod-vozdeystviem-pozharov-v-sredneta> – Загл. с экрана (дата обращения: 13.02.2013).
6. Баканов, М. Ю. Влияние низового пожара в сосняках-зеленомошниках на почвенную мезофауну [Электронный ресурс] / М. Ю. Баканов, Е. В. Линькова, А. В. Рогуленко // Известия калужского общества изучения природы. – Калуга, 2008. – Кн. 8. – С. 129-139. – Режим доступа: <http://www.stenus.ru/statia.php?id=109> – Загл. с экрана (дата обращения: 10.03.2013).
7. Гиляров, М. С. Почвенные беспозвоночные как индикаторы почвенного режима и его изменений под влиянием антропогенных факторов / М. С. Гиляров // Биоиндикация состояния окружающей среды Москвы и Подмосковья. – М., 1982. – С. 8-11.
8. Лавров, М. Т. Фауна лесных почв и пути ее регулирования / М. Т. Лавров. – М.: Лесная промышленность, 1968. – 132 с.
9. Количественные методы в почвенной зоологии / Ю. Б. Бызова и др. – М.: Наука, 1987. – 288 с.
10. Фасулати, К. К. Полевое изучение наземных беспозвоночных / К. К. Фасулати. – М.: Высшая школа, 1971. – 424 с.
11. Дорохов, К. В. Влияние пожаров на санитарное состояние древостоев как фактора в динамике численности почвенной мезофауны / К. В. Дорохов // Лесное хозяйство – 2013. Актуальные проблемы и пути их решения: сб. ст. междунар. науч.-практич. конф. – Н. Новгород: НГСХА, 2014. – С. 120-125.
12. Дорохов, К. В. Влияние пожаров на видовую структуру и проективное покрытие живого напочвенного покрова как кормовой базы почвенной мезофауны / К. В. Дорохов // Актуальные вопросы развития науки: сб. ст. междунар. науч.-практич. конф. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2014. – Ч. 5. – С. 85-92.
13. Булохов, А. Д. Экологическая оценка среды методами фитоиндикации / А. Д. Булохов. – Брянск: БГПУ, 1996. – 104 с.
14. Безкоровайная, И. Н. Биологическая активность почв после несплошных рубок в сосняках Красноярской лесостепи / И. Н. Безкоровайная, Г. И. Антонов, В. В. Иванов, Д. А. Семенякин // Хвойные бореальной зоны. – 2010. – Т. XXVII, № 3-4. – С. 238-242.
15. Дорохов, К. В. Влияние антропогенных воздействий на динамику трофической структуры и плотности мезофауны / К. В. Дорохов, В. П. Шелуха // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. – 2014. – Т. 18, вып. 4 – С. 103-111.

16. *Безкоровайная, И.Н.* Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края / И.Н. Безкоровайная и др. // Сибирский экологический журнал – 2005. – № 1. – С. 143-152.

17. *Бастраков, А. И.* Структура населения почвенной мезофауны в основных типах лесных сообществ южнотаежной подзоны Западной Сибири (на примере среднего течения р. Иртыш) / А. И. Бастраков, Л. Б. Рыбалов // Продуктивность и устойчивость лесных почв: Материалы III Международной конференции. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. – С. 185-188.

18. *Smith, J.* Wildland fire in ecosystems: effects of fire on fauna / J. Smith ed. // Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. – Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42. – 2000. – Vol. 1. – 83 p.

19. *Матвеев, В.А.* Почвенная мезофауна сложных ельников и ее изменение при рубке леса и смене пород / В.А. Матвеев // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2011. – Вып. 5. – С. 208-235.

20. *Чумаков, Л.С.* Почвенная фауна болотных сосняков Березинского государственного биосферного заповедника [Электронный ресурс] / Л.С. Чумаков // Беловежская пуца на рубеже третьего тысячелетия: материалы науч.-практ. конф., посвящен. 60-

летию со дня образования гос. заповедника «Беловежская пуца». – Минск, 1999. – С. 405-406. – Режим доступа: <http://bp21.org.by/ru/books/celeb192.html>. – Загл. с экрана (дата обращения: 20.01.2013).

21. *Бессчетнов, В.П.* Особенности формирования почвенной энтомофауны после пожаров на территории Керженского заповедника / В.П. Бессчетнов, Н.Н. Бессчетнова, Т.Н. Быченкова и др. // Лесное хозяйство – 2013. Актуальные проблемы и пути их решения: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. – Н. Новгород: НГСХА, 2014. – С. 93-105.

22. *Тимошкина, О. А.* Влияние вырубок и контролируемого выжигания порубочных остатков на сообщества животных (на примере мелких млекопитающих и птиц Восточного Саяна) [Электронный ресурс]: автореф. дис. ... канд. биол. наук / О. А. Тимошкина. – Красноярск, 2004. – Режим доступа: <http://earthpapers.net/vliyanie-vyrubok-i-kontroliruemogo-vyzhiganiya-porubochnyh-ostatkov-na-soobshchestva-zhivotnyh> – Загл. с экрана (дата обращения: 12.07.2014).

23. *Muona, J.* The short-term impact of fire on the beetle fauna in boreal coniferous forest / J. Muona, I. Rutanen. // Annales Zoologici Fennici. – 1994. – № 31. – Vol. 1. – Pp. 109-121.

24. *Шарова, И.Х.* Жизненные формы жуков (Coleoptera, Carabidae) / И.Х. Шарова. – М.: Наука, 1981. – 360 с.

Статья поступила в редакцию 14.10.14.

Ссылка на статью: Дорохов К. В., Шелуха В. П. Изменение видового состава и популяционной структуры почвенной мезофауны в результате низовых пожаров и рубок леса // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 4 (24). – С. 31-47.

Информация об авторах

ДОРОХОВ Кирилл Викторович – аспирант кафедры лесозащиты и охотоведения, Брянская государственная инженерно-технологическая академия. Область научных интересов – лесозащита. Автор четырех публикаций.

E-mail: dorokhovkirill@mail.ru

ШЕЛУХО Василий Павлович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесозащиты и охотоведения, Брянская государственная инженерно-технологическая академия. Область научных интересов – экология, лесозащита. Автор 100 публикаций.

E-mail: sheluhovp@rambler.ru

CHANGE OF SPECIES COMPOSITION AND POPULATION STRUCTURE OF SOIL MESOFAUNA CAUSED BY CREEPING FIRES AND TIMBER FELLING

K. V. Dorokhov, V. P. Shelukho

Bryansk State Engineering and Technological Academy,
26, Lenina av., Bryansk, 241050, Russian Federation
E-mail: dorokhovkirill@mail.ru

Keywords: species diversity; soil mesofauna; live ground cover; anthropogenic impact; timber felling; forest fires.

ABSTRACT

Biological diversity is a key element, determining stability and equilibrium of natural systems. Biodiversity provides development of communities; thus, self-regeneration and interchangeability of its elements become possible. Formation of species diversity of fauna under the influence of different environmental factors has important theoretical and practical value. The **purpose** of this research was to study the influence of different anthropogenic impacts, including forest management, on the dynamics of species composition and trophic structure of soil mesofauna in pine forests. The record of mesofauna was carried out by the method of layer-by-layer manual development of soil samples in the under-crown space of trees. All the recorded invertebrates were divided into three taxonomic groups and three trophic classes according to the methods of feed (zoophages, phytophages and saprophages). **Results.** The obtained data make it possible to state that creeping fires and cuttings of different intensity in the pine forests lead to the following changes of soil mesofauna: retrogradation of the species, reduction of taxonomic diversity, changes of species diversity, as well as violation of the trophic structure of the complex. The studies showed that in the test forest areas zoophages dominate over saprophages (almost in two times). As a result of felling of different intensity as well as result of fires of medium intensity there occurs a decrease of saprophages fractions. After strong fires, a fraction of saprophages decreases, whereas the fraction of zoophages increases (in 2-5 years after fires). 10...15 groups of mesofauna were fixed in the test sample areas. For medium intensity fires, the presence of representatives of 11...12 groups is typical (in 3 years after fires), 14 groups - in 4 years after fires. 7...11 taxonomic groups were observed in the test areas after 2...5 years after strong fires. 10...12 groups were marked in places where clear and selective felling operations of 15...20% intensity were held. **Recommendations.** It is suggested to use the ratio of mesofauna trophic groups and certain types of background soil invertebrates as a diagnostics of forest communities conditions and the extent of their change (*Selatosomus Latus* among click beetles, *Diptera* of the genus *Lasiopogon* Lw., bedding worm *Dendrobaena octaedra* Sav., chafer *Melolontha hippocastani* F.) in predicting the effects of management activities consequences and some other effects on forest.

REFERENCES

1. Otchet mezhdunarodnogo issledovatel'skogo proekta Millennium Ecosystem Assessment «Ecosystems and human well-being: Current State and Trends» [Report of an International Research Project Millennium Ecosystem Assessment «Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends». URL: <http://www.millenniumassessment.org/ru/Condition.html> (Reference date: 13.02.2014).
2. Yurkina E.V. Sostav i funktsionalno-biotsenoticheskaya struktura entomofauny v sosnyakh pri raznoy stepeni ikh antropogennoy narushennosti [Composition and Functional and Bioecological Structure of Entomofauna in Pine Forest under Different Level of Their Anthropogenic Disturbance]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [Izvestiya of Universities. Forest Journal]. 2009. No 1. P. 28.
3. Zeyfert D.V. Nauchnye osnovy bioekologicheskogo monitoringa antropogennykh vozdeystviy pri raznykh vidakh khozyaystvennoy deyatel'nosti na primere territorii yuzhnoy promyshlennoy zony Bashkortostana. Avtoref. diss. dokt. biol. nauk [Scientific Basis of Bioecological Monitoring of Anthropogenic Impacts in Different Types of Economic Activity on the Example of the Southern Industrial Zone of Bashkortostan. Autoref. Dr. Biol. Sci.]. Moscow, 2011. 373 p. URL: <http://www.pandia.ru/144092/> (Reference date: 20.01.2013).
4. Mordkovich V.G. Problema lesnykh pozharov i pirogennykh suksesssiy soobshchestv pochvennykh khlenistonogikh v Sibiri [The Problem of Forest Fires and Pyrogenic Succession of Soil Aarthropods Communities in Siberia]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian Ecological Journal]. 2007, No 2. Pp. 169-181.
5. Krasnoshchekova E.N. Transformatsiya kompleksov pochvennykh bespozvonochnykh pod

vozdelystviem pozharov v srednetazhnykh sosnyakh Eniseyskoy ravniny. Diss. dokt. biol. nauk. [Transformation of Soil Invertebrate Complexes under the Impact of Fires in the Middle Taiga Pine Forests of the Yenisey Plain. Doctor Diss. Biol. Sci.]. Krasnoyarsk, 2009. 178 p. URL: <http://www.dissercat.com/content/transformatiya-kompleksov-pochvennykh-bespozvonochnykh-pod-vozdelystviem-pozharov-v-srednetazhnykh-sosnyakh> (Reference date: 13.02.2013).

6. Bakanov M.Yu., Linkova E.V., Rogulenko A.V. Vliyaniye nizovogo pozhara v sosnyakh-zelenomoshnikakh na pochvennyuyu mezofaunu [The Creeping Fire Effect in Pine Forests on the Soil Mesofauna]. *Izvestiya kaluzhskogo obshchestva izucheniya prirody* [Izvestiya of the Kaluga Nature Study Society]. 2008. Vol. 8. – Pp. 129-139. Available at: <http://www.stenus.ru/statia.php?id=109> (Reference date: 10.03.2013).

7. Gilyarov M.S. Pochvennye bespozvonochnye kak indykatory pochvennogo rezhima i ego izmeneniya pod vliyaniem antropogennykh faktorov [Soil Invertebrates as Indicators of Soil Regime and Its Changes under the Influence of Anthropogenic Factors]. *Bioindikatsiya sostoyaniya okruzhayushchey sredy Moskvy i Podmoskovya* [Bioindication of the Environmental Condition in Moscow and Moscow Region]. Moscow, 1982. Pp. 8-11.

8. Lavrov M.T. *Fauna lesnykh pochv i puti ee regulirovaniya* [The Fauna of Forest Soils and Ways of its Regulation]. Moscow, Lesnaya promyshlennost, 1968. 132 p.

9. Byzova Yu.B. *Kolichestvennye metody v pochvennoy zoologii* [Quantitative Methods in Soil Zoology]. Moscow, Nauka, 1987. 288 p.

10. Fasulati K.K. *Polevoe izucheniye nazemnykh bespozvonochnykh: ucheb. posobie dlya universitetov* [A Field Study of Terrestrial Invertebrates: textbook for universities]. Moscow, Vysshaya shkola, 1971. 424 p.

11. Dorokhov K.V. Vliyaniye pozharov na sanitarnoye sostoyaniye drevostoev kak faktora v dinamike chislennosti pochvennoy mezofauny [The Impact of the Fires on the Sanitary Condition of Forests as a Factor in the Population Dynamics of Soil Mesofauna.]. *Sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Lesnoe khozyaystvo – 2013. Aktualnye problemy i puti ikh resheniya»* [Collected papers of the International Scientific-Practical Conference «Forestry – 2013. Actual Problems and Their Solutions.».]. N. Novgorod, NGSKhA, 2014. Pp. 120-125.

12. Dorokhov K.V. Vliyaniye pozharov na vidovuyu strukturu i proektivnoye pokrytie zhivogo napochvennogo pokrova kak kormovoy bazy pochvennoy mezofauny [The Influence of Fires on Species Structure and Projective Cover of the Live Ground Cover as a Forage Base for the Soil Mesofauna.]. *Sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-*

prakticheskoy konferentsii «Aktualnye voprosy razvitiya nauki» [Collected papers of the International Scientific-Practical Conference «Urgent Problems of Science Development»]. Ufa, RITs BashGU, 2014. Vol. 5. Pp. 85-92.

13. Bulokhov A.D. *Ekologicheskaya otsenka sredy metodami fitoindikatsii* [Ecological Estimation by the Methods of Phytoindication]. Bryansk, BGPU, 1996. 104 p.

14. Bezkorovaynaya I.N., Antonov G.I., Ivanov V.V., Semenyakin D.A. Biologicheskaya aktivnost pochv posle nesploshnykh rubok v sosnyakh Krasnoyarskoy lesostepi [Soil Biological Activity after Selective Logging in the Pine Forests of the Krasnoyarsk Forest-Steppe]. *Khvoynye borealnoy zony* [Boreal Coniferous Forests]. 2010. Vol. 27. № 3-4. Pp. 238-242.

15. Dorokhov K.V. Vliyaniye antropogennykh vozdelystviy na dinamiku troficheskoy struktury i plotnosti mezofauny [Influence of the Anthropogenic Impacts on the Dynamics of Trophic Structure and Density of Mesofauna]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Vestnik of Moscow State University of Forest – Forest Vestnik]. 2014. Vol. 18. №. 4. Pp. 103-111.

16. Bezkorovaynaya I.N. Pirogennaya transformatsiya pochv sosnyakov sredney taygi Krasnoyarskogo kraia [Pyrogenic Transformation of the Soils of Pine Forests in the Middle Taiga in Krasnoyarsk Region.]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian Ecological Journal]. 2005. № 1. Pp. 143-152.

17. Bastrakov A. I., Rybalov L.B. Struktura naseleniya pochvennoy mezofauny v osnovnykh tipakh lesnykh soobshchestv Yuzhno-taizhnoy podzony Zapadnoy Sibiri (na primere srednego techeniya r. Irtysh) [Population Structure of Soil Mesofauna in the Main Types of Forest Communities of the Southern Taiga Subzone of Western Siberia (on the example of the Middle Reach of the Irtysh river)]. *Produktivnost i ustoychivost lesnykh pochv: Materialy III Mezhdunarodnoy konferentsii* [Collected papers of the 3rd International Scientific-Practical Conference «Productivity and Stability of Forest Soils»]. Petrozavodsk. KarNTs RAN, 2009. Pp. 185-188

18. Smith J. Wildland Fire in Ecosystems: Effects of Fire on Fauna. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42. 2000. Vol. 1. 83 p.

19. Matveev V.A. Pochvennaya mezofauna slozhnykh elnikov i ee izmeneniye pri rubke lesa i smene porod [Soil Mesofauna Complex Spruce Forest and Its Change During the Felling of the Forest and the Change of Species]. *Nauchnye trudy Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Bolshaya Kokshaga»* [Scientific works of the State natural reserve «Bolshaya Kokshaga»]. Yoshkar-Ola: Mari State University. Vol. 2011. Pp. 208-235.

20. Chumakov L.S. Pochvennaya fauna bolotnykh sosnyakov Berezinskogo gosudarstvennogo biosfernogo zapovednika [Soil Fauna of Wetland Pine Berezinsky State Biosphere Reserve]. *Belovezhskaya pushcha na rubezhe tretogo tysyacheletiya: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 60-letiyu so dnya obrazovaniya gosudarstvennogo zapovednika «Belovezhskaya pushcha»* [Belovezhskaya Pushcha in the Third Millennium: proceedings of the scientific-practical conference devoted to the 60-anniversary from the date of formation of the state reserve «Belovezhskaya Pushcha»]. Minsk, 1999. Pp. 405-406. URL: <http://bp21.org.by/ru/books/celeb192.html> (Reference date: 20.01.2013).

21. Besschetnov V.P. Osobennosti formirovaniya pochvennoy entomofauny posle pozharov na territorii Kerzhenskogo zapovednika [Peculiarities of Formation of Soil Entomofauna after the Fires on the Territory of the Kerzhenskiy Reserve]. *Sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Lesnoe khozyaystvo – 2013». Aktualnye problemy i puti ikh resheniya* [Collected papers of the Interna-

tional Scientific-Practical Conference «Forestry – 2013. Urgent Problems and Their Solutions»]. N. Novgorod, NGSKhA, 2014. Pp. 93-105.

22. Timoshkina O. A. Vliyanie vyrubok i kontroliruемого vyzhiganiya porubochnykh ostatkov na soobshchestva zhivotnykh (na primere melkikh mlekopitayushchikh i ptits Vostochnogo Sayana): avtoref. diss. kand. biol. nauk [The Influence of Logging and Controlled Burning of Wood Residuals in the Community of Animals (Small Mammals and Birds of the Eastern Sayan): autoref. Cand Biol. Sci.]. Krasnoyarsk, 2004. URL: <http://earthpapers.net/vliyanie-vyrubok-i-kontroliruемого-vyzhiganiya-porubochnykh-ostatkov-na-soobshchestva-zhivotnykh> (Reference date: 12.07.2014).

23. Muona J., Rutanen I. The Short-Term Impact of Fire on the Beetle Fauna in Boreal Coniferous Forest. *Annales Zoologici Fennici*. 1994. № 31. Vol. 1. Pp. 109-121.

24. Sharova I.Kh. Zhiznennye formy zhuzhelits (Coleoptera, Carabidae) [Life Forms of Ground Beetles (Coleoptera, Carabidae)]. Moscow, Nauka, 1981. 360 p.

The article was received 14.10.14.

Citation for an article: Dorokhov K. V., Shelukho V. P. Change of species composition and population structure of soil mesofauna caused by creeping fires and timber felling. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2014. No 4 (24). Pp. 31-47.

Information about the authors

DOROKHOV Kirill Victorovich – Postgraduate student at the Chair of Forest Protection and Game Management, Bryansk State Engineering and Technological Academy. Research interests – forest protection. The author of four publications.

E-mail: dorokhovkirill@mail.ru

SHELUKHO Vasilii Pavlovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Chair of Forest Protection and Game Management, Bryansk State Engineering and Technological Academy. Research interests – ecology, forest protection. The author of 100 publications.

E-mail: sheluhovp@rambler.ru

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 674.812-419

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ АРМИРОВАННОЙ КОМПОЗИЦИОННОЙ ФАНЕРЫ

С. А. Угрюмов, А. В. Шеин

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

Изучены прочностные характеристики композиционной фанеры на основе шпона и древесно-клеевой композиции с армированием поверхностных слоёв стеклотканью. Оценен характер разрушения армированной фанеры при изгибе и перпендикулярном отрыве, оценена адгезионная прочность по границам армированных слоёв.

Ключевые слова: фанера; луцёный шпон; армирование; стеклоткань; древесно-клеевая композиция; прочность; структура пакета.

Введение. В настоящее время в целях обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции перед предприятиями по производству фанеры остро стоит проблема снижения материалоемкости производства. В мировой практике функционирования фанерных предприятий при наличии операции окорки сырья образующиеся отходы перерабатываются в щепу и стружку и направляются в производство древесно-стружечных плит. При отсутствии операции окорки отходы сжигаются в топках котельных. Данные направления переработки образующихся отходов не являются достаточно эффективными, так как не влияют на показатель расхода фанерного сырья на изготовление единицы продукции.

В фанерном производстве неизбежно образуются отходы: отбракованные низкокачественные круглые лесоматериалы и вырезки дефектных мест при раскрое сырья на чураки, отходы от лущения (шпон-рванина, обрезки кускового шпона), отхо-

ды от форматной обрезки готовой продукции и др. Одним из направлений эффективного использования древесных отходов фанерного производства является выпуск композиционной фанеры с наружными слоями из взаимно перпендикулярных слоёв луцёного шпона и внутренним слоем на основе измельчённых древесных отходов в смеси с клеем [1]. Вовлечение измельчённых отходов в производство композиционной фанеры позволит эффективно их утилизировать и улучшить экономические показатели работы фанерного производства – снизить расход сырья и себестоимость единицы продукции.

Композиционная фанера обладает высокими эксплуатационными характеристиками. Её основные свойства в зависимости от схем сборки освещены в работах [2, 3]. Прочностные показатели композиционной фанеры уступают показателям фанеры общего назначения, что объясняется наличием «слабого» внутреннего слоя из древесно-клеевой композиции.

Одним из основных видов нагружения фанеры при её эксплуатации является изгиб [4]. При воздействии изгибающей нагрузки слои в фанере (слои шпона, слой древесно-клеевой композиции) деформируются как однородный монолитный материал с одним общим нейтральным слоем (нейтральной линией), так как они соединены между собой адгезионными связями синтетического связующего.

Известно, что изгибающий момент, возникающий при изгибе, вызывает в поперечном сечении материала нормальные напряжения растяжения и сжатия вдоль волокон, а перерезывающая сила – касательные напряжения сдвига на скалывание вдоль волокон. Первые достигают максимальных значений в наружных слоях, наиболее удалённых от нейтральной плоскости, а вторые – в нейтральной зоне, которая теоретически располагается по середине высоты сечения [5, 6].

В целях упрочнения материала при формировании пакета композиционной фанеры листы шпона необходимо использовать как армирующие слои и располагать на поверхности композиционного материала для предотвращения разрушения от касательных напряжений, поскольку шпон обладает большей прочностью при изгибе по сравнению со слоями из древесно-клеевой композиции. Целесообразно также использовать в наружных слоях армирующие прослойки, например из стеклоткани. Армирующие слои обеспечивают особую структуру материалу, передачу напряжений, а также стойкость к различным внешним воздействиям [7].

Представляет практический интерес оценка прочностных характеристик композиционной фанеры с введением в её структуру армирующих прослоек из стеклоткани.

Цель работы – оценка прочностных характеристик композиционной фанеры на основе шпона, армированного стеклотканью и внутренним заполнением на основе древесно-клеевой композиции в зависимости от схем сборки.

Решаемые задачи: оценка предела прочности при изгибе, предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти, адгезионной прочности на границе соприкосновения с армирующей прослойкой композиционной фанеры с различными схемами сборки, рекомендация рациональной схемы сборки пакета фанеры.

Методика проведения экспериментальных исследований. Образцы композиционной фанеры форматом 400×400 мм были изготовлены по различным схемам сборки в лабораторном гидравлическом прессе П100-400. При проведении опытных запрессовок применялся клей на основе фенолформальдегидной смолы СФЖ-3014, в наружных и промежуточных слоях использовался берёзовый луцёный шпон номинальной толщиной 1,5 мм, в качестве армирующего слоя – стеклоткань полотняного переплетения, для внутреннего заполнения использовалась берёзовая специальная резаная стружка фракции 10/5. Внешний вид пакета до запрессовки представлен на рис. 1.



Рис. 1. Часть пакета композиционной фанеры до запрессовки: 1 – слой древесно-клеевой композиции; 2 – стеклоткань, 3 – шпон с нанесённым клеем

Формирование и горячее прессование образцов проводилось при следующих постоянных факторах:

- номинальная толщина фанеры 12 мм;
- температура прессования 130°C;
- удельное давление прессования 2 МПа;
- время выдержки под давлением 6 мин (0,5 мин/1 мм);
- расход связующего во внутреннем слое 12 % от массы абсолютно сухого наполнителя;

- расход связующего при контактном нанесении на поверхность шпона – 110 г/м^2 ;
- заданная плотность внутреннего слоя 700 кг/м^3 .

Образцы композиционной фанеры изготавливались по схемам, представленным на рис. 2.

Готовые образцы композиционной фанеры кондиционировались в течение 1 суток, после чего раскраивались на соответствующие образцы для проведения испытаний.

Предел прочности при изгибе опреде-

лялся по ГОСТ 9625–87, предел прочности при отрыве перпендикулярно к пласти по ГОСТ 10636-90. Адгезионная прочность по границам контакта со стеклотканью определялась по методике оценки величины адгезионной прочности при отрыве листов шпона по ГОСТ 27325–87, применимой к композиционной фанере [3], с отрывом части наружного листа шпона.

Результаты проведения экспериментов. Сводные результаты оценки прочностных характеристик композиционной фанеры представлены в таблице.

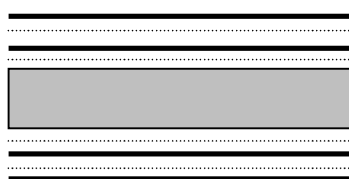


Схема № 1

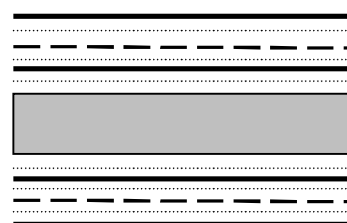


Схема № 2

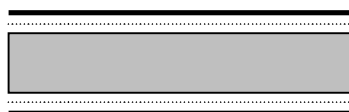


Схема № 3



Схема № 4

Рис. 2. Схемы сборки пакетов композиционной фанеры:

— — — — — слои шпона; клеевая прослойка;
 ■■■■■ древесно-клеевая композиция; — — — — — стеклоткань

Прочностные свойства композиционной фанеры

Номер схемы сборки	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти, МПа	Предел прочности при адгезионном отрыве, МПа
1	88,5	0,60	1,62 (по границам смежных листов шпона)
2	98,2	0,62	2,22 (по границе наружного листа шпона и стеклоткани)
3	79,7	0,58	1,36 (по границе наружного листа шпона и древесно-клеевой композиции)
4	87,8	0,58	2,11 (по границе наружного листа шпона и стеклоткани)

На рис. 3 представлен характерный вид разрушения образцов при изгибе.

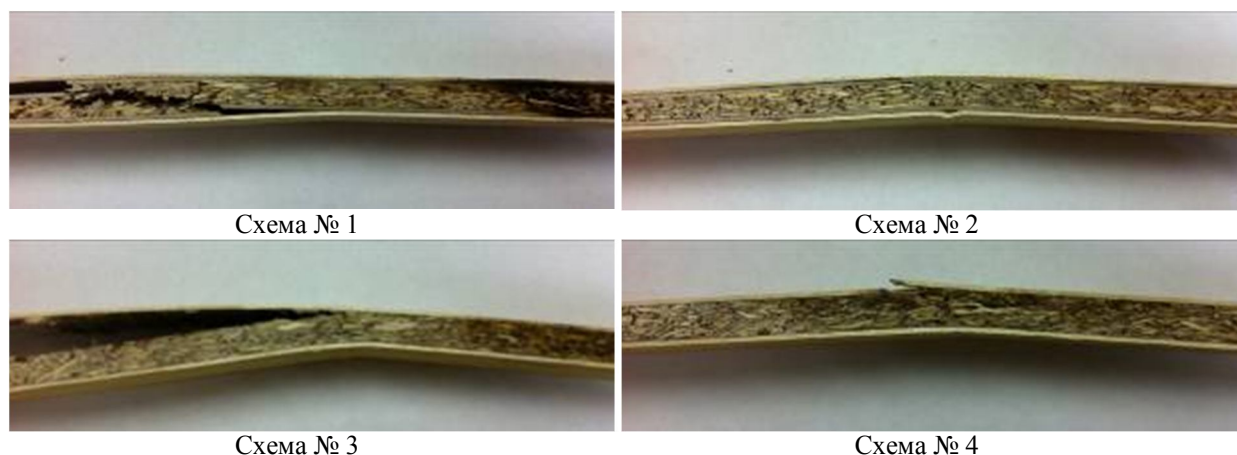


Рис. 3. Характер разрушения образцов при изгибе

В схеме № 1 (с двумя взаимно перпендикулярными листами шпона в наружных слоях, без армирующих слоёв) происходит комплексное разрушение образцов от нормальных напряжений и межслойного сдвига, вызванного касательными напряжениями. В схеме № 3 (с одним листом шпона в наружных слоях, без армирующих слоёв) происходит разрушение образцов от доминирующих касательных напряжений. В схеме № 2 (с двумя взаимно перпендикулярными листами шпона в наружных слоях, с армирующими слоями) и в схеме № 4 (с одним листом шпона в наружных слоях, с армирующими слоями) происходит разрушение образцов, вызванное доминирующими нормальными напряжениями, при этом разрушения от касательных напряжений по границам слоёв шпона, армирующей прослойки и древесно-клеевой композиции не наблюдается. Таким образом, наличие ар-

мирующего слоя приводит к значительному упрочнению материала.

Разрушение при отрыве перпендикулярно к пласти происходит в основном по древесно-клеевому слою или по граничным слоям армирующей прослойки и древесно-клеевой композиции со значительным вырывом древесных частиц (рис. 4).

При адгезионном отрыве наружного слоя шпона наблюдается когезионный характер разрушения с захватом шпона или древесно-клеевой композиции (рис. 5), что свидетельствует о высокой прочности связывания армирующего слоя с листами шпона и древесно-клеевой композицией.

Полученные данные показывают, что при отрыве листов шпона в основном наблюдается когезионный по древесно-клеевой композиции или смешанный характер разрушения, что свидетельствует о высокой прочности межфазного соединения.



Рис. 4. Характер разрушения образцов при отрыве перпендикулярно к пласти



Схема №1

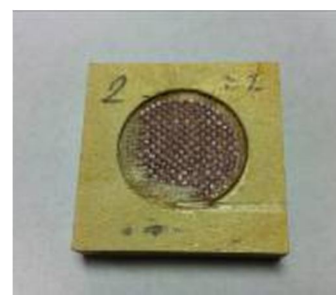


Схема №2



Схема №3



Схема №4

Рис. 5. Характер разрушения образцов при оценке адгезионной прочности по границам слоёв

Интерпретация результатов эксперимента. При действии изгибающего усилия на композиционную фанеру, армированную стеклотканью, происходит разрушение, вызванное доминирующими нормальными напряжениями, поверхностные слои при этом не разрушаются. При адгезионном отрыве поверхностных слоёв шпона по границе с армирующей прослойкой в основном наблюдается когезионное разрушение по древесно-клеевой композиции, что свидетельствует о высокой прочности на границах фаз. Таким образом, наличие армирующего слоя приводит к значительному упрочнению материала.

Максимальные прочностные характеристики имеет композиционная фанера со схемой сборки № 2, так как в её струк-

туре повышенное удельное содержание шпона и повышенное количество клеевых прослоек в поверхностных слоях. Композиционную фанеру, изготовленную по данной схеме, рекомендуется использовать в ответственных конструкциях. С точки зрения организации технологического процесса простотой формирования пакета обладает схема сборки № 4.

Выводы. Высокие прочностные показатели, высокое межфазное взаимодействие на границе раздела слоёв шпона, армирующей прослойки и древесно-клеевой композиции свидетельствуют о надёжности и достаточной несущей способности армированной композиционной фанеры, которая эффективно может использоваться в качестве конструкционного материала в различных сферах.

Список литературы

1. Угрюмов, С.А. Обоснование экономической эффективности производства композиционной фанеры / С.А. Угрюмов, А.С. Свешников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Экономика и управление. – 2012. – № 2(16). – С. 38-45.
2. Угрюмов, С.А. Исследование свойств композиционной фанеры с внутренним слоем из древесной стружки / С.А. Угрюмов // Вестник КГТУ. – 2005. – № 11. – С. 110-111.
3. Угрюмов, С.А. Оценка адгезионной прочности и межфазного взаимодействия в структуре фанеры с внутренними слоями из древесно-клеевой композиции // С.А. Угрюмов, А.С. Свешников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1 (21). – С. 53-61.
4. Сопротивление материалов / Н.А. Костенко, С.В. Балясникова, Ю.Э. Волошановская и др.;

под. ред. Н.А. Костенко. – М.: Высшая школа, 2000. – 430 с.

5. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев; отв. ред. Г.С. Писаренко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наукова думка, 1988. – 736 с.

6. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – 9-е изд., перераб. – М.: Наука, 1986. – 512 с.

7. Батаев, А.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение / А.А. Батаев, В.А. Батаев. – М.: Логос, 2006. – 398 с.

Статья поступила в редакцию 29.09.14.

Ссылка на статью: Угрюмов С.А., Шеин А.В. Оценка прочности армированной композиционной фанеры // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 4 (24). – С. 48-54.

Информация об авторах

УГРЮМОВ Сергей Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств, Костромской государственной технологической университет. Область научных интересов – техника и технологии производства синтетических олигомеров, клеёных древесных материалов. Автор 200 публикаций.

ШЕИН Андрей Вячеславович – студент, Костромской государственной технологической университет. Область научных интересов – производство древесных композиционных материалов. E-mail: mtd@kstu.edu.ru

ASSESSMENT OF THE REINFORCED COMPOSITE PLYWOOD STRENGTH

S. A. Ugryumov, A. V. Shein

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

Key words: plywood; rotary cut veneer; reinforcement; fiberglass; wood adhesive composition; strength; circuit structure

ABSTRACT

Introduction. Composite plywood is of good performance characteristics. However, its strength characteristics are inferior to plywood for general purposes, because of weak internal layer of wood-adhesive composition. In order to harden the material, a reinforcement layer (fiberglass, for instance) should be used in the outer layers. An assessment of the strength characteristics of composite plywood with the introduction in its structure of reinforcing layers of fiberglass is of practical interest. **The purpose of the work:** evaluation of strength characteristics of composite plywood on the basis of veneer, reinforced with fiberglass, and an inner filling on the basis of wood-adhesive composition depending on the schemes of the assembly. **Methodology for experiments conducting.** The samples of reinforced composite plywood were manufactured in laboratory conditions. The tensile strength in bending was determined according to GOST 9625-87, tensile strength at separation perpendicular to the layer was determined according to GOST 10636-90. The adhesion strength at the boundary of contact with the glass was determined by the method of estimation of the adhesion strength at the margin of the veneer sheets according to GOST 27325-87 with a margin of the outer side of the veneer sheet. **Experiment results.** Under the action of bending efforts on composite plywood without reinforcing layers, a complex destruction from the normal stress and interlaminar shear, induced by shear stresses, takes place. In reinforced plywood the destruction of the samples, caused by a dominant normal stresses, takes place but the effects of shear stresses on the boundary layers of veneer, a reinforcing layer and a wood-adhesive composition are not observed. Destruction at separation perpendicular to the layer occurs mainly on wood-adhesive layer or at the boundary layers of the reinforcement layer and the wood-adhesive compositions with significant digs wood particles. When the adhesive margin of the outer layer of veneer, cohesive nature of destruction with the capture of veneer or wood-adhesive composition, which indicates the high strength of bonding a reinforcing layer of veneer sheets and wood-adhesive composition, is observed. **Interpretation of the experiment results.** Under the action of bending efforts on composite plywood, reinforced fiberglass, destruction caused by the dominant normal stresses (surface layers are not destroyed) takes place. When the adhesive margin of the surface layers of veneer on the border with a reinforcing layer, cohesive destruction of the wood-adhesive compositions, indicating a high strength at the boundaries of the phases, is mainly observed. Thus, the presence of the reinforcing layer leads to a significant strengthening of the material. **Conclusion.** High strength characteristics, high interfacial interaction at the interface between the veneer layers, the reinforcement layer and the wood-adhesive compositions testify to the reliability and sufficient bearing capacity of the reinforced composite plywood, which can be effectively used as a structural material in various fields.

REFERENCES

1. Ugryumov S. A., Svешnikov A.S. Obosnovanie ekonomicheskoy effektivnosti proizvodstva kompozitsionnoy fanery [Substantiation of Economic Efficiency of Composite Plywood Production]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Ekonomika i upravlenie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Economics and Management]. Yoshkar-Ola: VSUT, 2012. № 2 (16). Pp. 38-45.
2. Ugryumov S. A. Issledovanie svoystv kompozitsionnoy fanery s vnutrennim sloem iz drevesnoy struzhki [Investigation of the Properties of Composite Plywood with an Inner Layer of Wood Chips]. *Vestnik KGTU* [Vestnik of KSTU]. Kostroma: KSTU, 2005. No. 11. Pp. 110-111.
3. Ugryumov S. A., Svешnikov A.S. Otsenka adgezionnoy prochnosti i mezhfaznogo vzaimodeystviya v structure fanery s vnutrennimi sloyami iz drevesno-kleevoy kompozitsii [Evaluation of the Adhesion Strength and Interfacial Interactions in the Structure of Plywood with Inner Layers of the Wood-Adhesive Compositions]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ecologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management]. 2014. № 1 (21). Pp. 53-61.
4. Kostenko N.A., Balyasnikova S.V., Voloshanovskaya Yu. E., et al. *Soprotivlenie materialov: pod redaktsiey N.A. Kostenko* [Strength of Materials: under the editorship of N.A. Kostenko]. Moscow: Vysshaya shkola, 2000. 430 p.
5. Pisarenko G. S., Yakovlev A. P., Matveev V.V. *Spravochnik po soprotivleniyu materialov: otvetstvennyy redaktor G. S. Pisarenko; 2-e izd., pererab.i dop.* [Reference Book on Resistance of Materials: editor-in-chief G. S. Pisarenko; 2d edition, revised and enlarged]. Kiev: Naukova Dumka, 1988. 736 p.
6. Feodosev V.I. *Soprotivlenie materialov: 9-e izdanie, pererab.* [Strength of Materials: 9th edition, revised]. Moscow: Nauka, 1986. 512 p.
7. Bataev A. A., Bataev V.A. *Kompozitsionnye materialy: stroenie, poluchenie, primeneniye* [Composite Materials: Structure, Synthesis, Application]. Moscow: Logos, 2006. 398 p.

The article was received 29.09.14.

Citation for an article: Ugryumov S.A., Shein A.V. Assessment of the reinforced composite plywood strength. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2014. No 4 (24). Pp. 48-54.

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 200 publications.

SHEIN Andrey Vyacheslavovich – student, Kostroma State University of Technology. Research interests – production of wood composition material. E-mail: mtd@kstu.edu.ru

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК 581.1

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АДАПТАЦИИ ХВОЙНЫХ ИНТРОДУЦЕНТОВ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

В. Н. Карасев, М. А. Карасева, Н. Е. Серебрякова, С. М. Лазарева

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

Приведены результаты комплексных исследований, выполненных с целью оценки адаптивных свойств и устойчивости хвойных интродуцентов в регионе. Установлено, что коэффициент изменчивости влажности хвои и побегов для всех изученных видов варьирует в пределах от 2 до 21 % (от слабой до значительной), наиболее стабильными показателями влажности хвои отличаются сосна горная, сосна балканская, более высокую влажность хвои имеет лиственница сибирская, сосна сибирская. Биометрические показатели растений, содержание общего хлорофилла в хвое, близкое по параметрам к аборигенным видам, высокие значения биопотенциалов (150–200 мВ) у лиственницы сибирской, сосны сибирской, псевдотсуги Мензиса, сосны веймутовой свидетельствуют об успешной адаптации данных видов в регионе.

Ключевые слова: интродуценты; водный режим; хлорофилл; биоэлектрическая активность; сосна сибирская; сосна веймутова; лиственница сибирская; адаптация.

Введение. На современном этапе интродукция растений решает важную задачу расширения биоразнообразия путём введения в культуру хозяйственно ценных видов. Решение этой задачи возможно лишь при широком изучении растений экзотов в новых природно - климатических условиях.

Биологическая устойчивость искусственных фитоценозов, наряду с технологическими аспектами, в значительной мере зависит от генотипических особенностей и адаптивных свойств древесных пород. Учитывая катастрофическое усыхание насаждений дуба и ели в Среднем Поволжье, в настоящее время обсуждаются

перспективы более широкого внедрения в регионе быстрорастущих, устойчивых к неблагоприятным условиям среды интродуцентов, таких как лиственница сибирская, сосна веймутова и др. Большое внимание уделяется интродуцентам в практике озеленения, что обусловлено тем, что в условиях урбанизированной среды во многих случаях интродуценты оказываются более устойчивыми, долговечными и декоративными, чем местные виды [1–3]. В Среднем Поволжье изучением интродуцентов занимались многие исследователи [4–9]. Большое значение при отборе перспективных видов уделяется выбору наиболее информативных па-

раметров, характеризующих функциональное состояние растений. Оценку адаптации интродуцентов рекомендуется проводить по морфометрическим показателям, зимостойкости, по характеру сезонно-ритмических изменений и развитию вегетативных и генеративных органов [10], анализу пигментного фонда фотосинтетического аппарата [11, 12], динамике запасных питательных веществ, параметрам электрического сопротивления прикамбиального комплекса тканей стволов [13], размерам морфометрических параметров побегов и хвои, морозоустойчивости, репродуктивной способности [14, 15].

Менее изучены интенсивность основных физиологических процессов, особенности водного режима и фотосинтетическая активность интродуцентов, характеризующая степень адаптации растений к новым условиям и их жизнеспособность. Комплексные исследования ростовых, функциональных и электрофизиологических реакций интродуцированных растений на изменение внешних условий позволяют повысить достоверность оценки степени адаптации к факторам внешней среды и определить критерии отбора перспективных интродуцентов.

Цель исследований заключается в оценке адаптации хвойных интродуцентов по морфометрическим, физиологическим и биоэлектрическим параметрам и в выявлении изменчивости показателей, их жизненного состояния в условиях Среднего Поволжья.

Задачи исследований предусматривали:

- определение особенностей водного режима хвойных интродуцентов;
- оценку изменчивости морфометрических показателей, фотосинтетической активности и содержания общего хлорофилла;
- определение биоэлектрических показателей и оценка жизненного состояния интродуцентов и их адаптации в природно-климатических условиях Среднего Поволжья.

Методика исследований. Для выявления наиболее информативных диагностических параметров степени жизнеспособности деревьев проводился анализ биометрических и физиологических показателей, определялись: влажность хвои и побегов, осмотический потенциал клеточного сока хвои, интенсивность фотосинтеза, содержание общего хлорофилла в хвое, биоэлектрические потенциалы (БЭП) и электрическое сопротивление прикамбиального комплекса тканей (импеданс ПКТ) стволов деревьев.

Интенсивность фотосинтеза определялась кондуктометрическим способом, содержание общего хлорофилла – фотоэлектроколориметрическим методом [16]. Измерения БЭП производились высокочастотным милливольтметром постоянного тока с использованием платиновых электродов (Экстра-999). Импеданс ПКТ, включающего камбий, вторичную ксилему, прилегающую к камбию, и клетки луба, измерялся при помощи прибора Ц4314 на частоте 500 Гц с использованием датчика от электронного влагомера древесины ЭВ–2К [13] с незначительной переделкой; удалением центрального электрода и сохранением двух боковых, подключаемых к прибору для измерения импеданса. Расстояние между электродами 20,0 мм, длина активной части электродов 10,0 мм, диаметр – 1,0 мм.

Влажность хвои и побегов определялась термовесовым методом, в процентах к абсолютно сухой массе. Для определения влажности хвои и содержания хлорофилла образцы брались с одного и того же яруса кроны и одного возраста с учётом экспозиции крона относительно сторон света.

Длина хвои изучалась в соответствии с методикой А.В. Звиргзда [17].

Объекты исследований. Объектами исследований являлись культуры хвойных интродуцентов, произрастающие в Ботаническом саду-институте ПГТУ, опытные участки, созданные в Учебно-опытном

лесхозе ПГТУ, и производственные культуры, произрастающие в регионе.

В целом климат территории умеренно континентальный, среднегодовая температура воздуха составляет $+2,8^{\circ}\text{C}$, сумма осадков – 481 мм в год, абсолютный температурный минимум составляет -47°C , абсолютный максимум $+37^{\circ}\text{C}$, продолжительность вегетационного периода в среднем 120 дней. Почвы территории Ботанического сада – свежие слабоподзолистые средне- и тяжело-суглинистые на покровных глинах и суглинках, подстилаемых песчано-глинистыми пермскими породами.

Опытные участки Учебно-опытного лесхоза ПГТУ характеризуются следующими данными: тип лесорастительных условий – свежая сурамень, почвы дерново-средне-подзолистые суглинистые на маломощных покровных суглинках, подстилаемых древнеаллювиальными песками. Содержание гумуса составляет 2,2 %, кислотность почвы равна 4,4. По содержанию подвижных форм фосфора и калия по шкале Кирсанова почвы имеют

среднюю и низкую степень обеспеченности. Плотность сложения почвы на глубине 0–25 см составляет 1,11 г/куб. см, на 25–50 см – 1,4 г/куб. см. Рельеф ровный. Изучалось также состояние культур интродуцентов старших возрастов, произрастающих в государственном лесном фонде Чувашской Республики, Республики Марий Эл, Республике Татарстан, Нижегородской и Кировской областях.

Результаты исследований. При изучении влажности хвои и побегов хвойных интродуцентов установлено более высокое значение данного показателя в начале вегетационного периода, затем влажность хвои закономерно снижается. Наиболее высокие показатели влажности наблюдаются в мае, в начале периода интенсивного роста, наименьшее содержание влаги в хвое и побегах наблюдается в июле, начале сентября. Показатели влажности хвои и однолетних побегов деревьев разных видов, произрастающих в условиях Ботанического сада-института, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влажность хвои и побегов хвойных видов

Вид растения	Орга- ны расте- ния	Статистические показатели влажности органов растений (% к сухой массе) в различные сроки вегетации								
		май			июнь			июль		
		X*	M _x	C,%	X	M _x	C,%	X	M _x	C,%
Интродуценты										
Сосна горная	хвоя	102,7	0,5	1,5	84,1	1,0	3,4	82,4	0,4	1,5
	побеги	218,4	8,7	7,9	90,7	0,6	2,2	73,0	0,9	2,6
Сосна балканская	хвоя	126,8	1,3	2,0	97,4	1,6	3,3	89,7	2,6	2,6
	побеги	228,2	3,1	6,9	83,3	5,0	12,0	107,0	3,4	6,3
Сосна сибирская	хвоя	110,7	5,0	13,5	133,4	6,4	19,9	133,5	5,3	21,5
	побеги	135,1	3,9	8,7	135,8	6,6	12,0	117,3	6,5	10,3
Лиственница сибирская	хвоя	241,0	8,8	12,5	225,0	9,5	15,4	217,7	10,1	19,7
	побеги	118,9	4,7	11,5	116,4	5,3	15,0	123,9	6,2	13,4
Аборигенные виды										
Сосна обыкновенная	хвоя	94,3	2,2	10,0	107,1	3,3	15,0	128,6	3,9	12,5
	побеги	145,6	2,1	3,4	150,1	7,4	13,2	154,4	5,8	9,5
Ель европейская	хвоя	97,7	3,1	15,8	116,5	2,9	14,5	131,4	3,6	10,7
	побеги	120,4	1,6	2,4	132,7	1,6	2,8	118,9	4,6	9,5

***Примечание:** здесь и далее: X – среднее арифметическое значение показателя, M_x – ошибка среднего арифметического значения, C – коэффициент изменчивости.

В Среднем Поволжье условия влагообеспеченности нередко оказываются неблагоприятными. Периодически повторяющиеся засухи, вегетационные периоды с избыточным увлажнением отрицательно отражаются на состоянии и росте растений. Способность противостоять обезвоживанию отображает степень пластичности растений и их адаптационные возможности. Количество воды в растительных тканях влияет на активность ферментов, на процессы фотосинтеза и дыхания [18, 19].

Более высокой влажностью хвои, по сравнению с другими породами, в течение вегетационного периода отличается лиственница сибирская. Это объясняется способностью лиственницы усваивать влагу даже при очень низком содержании её в почве, что отмечалось многими исследователями [20, 21].

Коэффициент изменчивости влажности хвои и побегов для всех изученных видов варьирует в пределах от 2 до 21 % (от слабой до значительной), наиболее стабильными показателями влажности

хвои отличаются сосна горная, сосна балканская.

По результатам исследований можно сделать вывод, что параметры влажности хвои и побегов интродуцированных растений имеют показатели, близкие к показателям местных видов, что свидетельствует об успешной их адаптации к условиям водообеспеченности в районе исследований.

Одним из важнейших показателей степени адаптации растений к факторам среды, по мнению многих авторов [22, 23], является состояние пигментной системы и размеры хвои.

При оценке состояния фотосинтетического аппарата, характеризующего его способность приспосабливаться к несвойственным внешним условиям, большое значение имеют исследования по накоплению хлорофилла.

Статистические показатели длины хвои и количественного содержания в ней общего хлорофилла (образцы взяты в июле) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Длина хвои и содержание в ней общего хлорофилла

Вид растения	Возраст хвои, лет	Статистические показатели					
		длина хвои, см			содержание общего хлорофилла в хвое, мг/г сухой массы		
		X	M _x	C, %	X	M _x	C, %
Интродуценты							
Псевдотсуга Мензиса	1	11,6	0,66	17,1	1,20	0,04	13,1
	2	12,5	0,24	8,7	1,50	0,03	13,7
Сосна балканская	1	7,9	0,20	8,0	1,17	0,06	8,4
	2	8,0	0,20	8,0	1,20	0,03	13,1
Сосна горная	1	4,8	0,13	18,1	0,99	0,03	8,5
	2	6,4	0,17	11,5	1,10	0,08	8,6
Сосна сибирская	1	11,8	0,19	13,5	1,72	0,17	12,0
	2	10,3	0,26	17,8	2,45	0,11	17,3
Лиственница сибирская	1	2,8	0,10	17,8	2,19	0,16	7,5
	2	3,2	0,20	28,5	3,75	0,04	5,8
Сосна веймутова	1	7,5	0,10	6,6	1,50	0,08	13,6
	2	7,4	0,20	12,8	1,70	0,04	12,0
Аборигенные виды							
Сосна обыкновенная	1	4,6	0,04	13,7	1,56	0,05	13,7
	2	5,1	0,05	12,0	1,88	0,04	12,0
Ель европейская	1	2,6	0,04	7,6	2,92	0,13	15,8
	2	2,5	0,05	10,0	3,91	0,08	10,2

Внутрипопуляционная изменчивость длины хвои интродуцированных видов варьирует от слабой у сосны балканской, сосны веймутовой, псевдотсуги Мензиса (6,6–8,7 %) до большой у лиственницы сибирской (28,5 %). Длина хвои видов, интродуцированных в Ботаническом саду-институте ПГТУ, соответствует её длине в естественных условиях произрастания.

У всех видов отмечено более высокое содержание хлорофилла в двухлетней хвое по сравнению с однолетней. Так, у лиственницы сибирской отмечено увеличение содержания хлорофилла на 60 %, у сосны сибирской – на 40 %. Такая же закономерность наблюдается и у местных видов. Виды с максимальным содержанием хлорофилла (лиственница сибирская, сосна сибирская, псевдотсуга Мензиса) имеют показатели, близкие к аборигенным видам. Они успешно адаптировались в условиях Среднего Поволжья. Установленные различия между видами по содержанию хлорофилла свидетельствуют о целесообразности использования данного показателя при оценке перспективности интродукции или успешности адаптации.

При изучении индивидуальной изменчивости содержания хлорофилла установлена зависимость данного параметра от степени адаптации интродуцированных видов. Менее адаптированные к условиям среды биотипы отличаются пониженным содержанием хлорофилла в хвое и мень-

шими размерами хвои. В качестве примера в табл. 3 приведены показатели содержания общего хлорофилла в хвое сосны сибирской деревьев разного состояния.

Содержание хлорофилла в хвое лидирующих деревьев сосны сибирской почти в два раза больше, чем у ослабленных деревьев.

Основой для проведения ранней экспресс-диагностики адаптивных свойств и физиологического состояния древесных растений являются электрофизиологические характеристики деревьев [24, 25]. Электрофизиологические методы основаны на измерениях электрических параметров живых тканей деревьев, комплексно характеризуют характер обмена веществ в тканях и уровень взаимодействия с экологическими факторами среды. Необходимо, чтобы в физиологическом отношении ткань была наиболее активной, легко доступной. Всем этим условиям удовлетворяет прикамбиальный комплекс тканей, который состоит из камбия и прилегающих к нему флоэмы и новообразовавшейся ксилемы. Ослабленные деревья характеризуются более высокими значениями импеданса ПКТ. У здоровых растений значение этого показателя в 2–3 раза меньше. Данные измерений импеданса ПКТ хвойных интродуцентов, произрастающих в Ботаническом саду-институте ПГТУ, варьируют в зависимости от биологических особенностей вида (рис. 1).

Таблица 3

Длина хвои и содержание в ней общего хлорофилла деревьев сосны сибирской различного жизненного состояния

Жизненное состояние	Возраст хвои, лет	Масса 100 шт. абсолютно сухой хвои, г	Содержание хлорофилла, мг/г абсолютно сухой хвои	Статистические показатели длины хвои, см					
				X	M _x	σ	Lim	C, %	P, %
лидирующие	1	1,51	2,98 ± 0,04	10,0	0,19	1,31	7,6–12,5	13,1	1,9
	2	1,50	3,15 ± 0,04	10,3	0,26	1,84	6,4–12,6	17,9	2,5
	3	1,51	3,25 ± 0,05	10,5	0,26	1,82	7,8–13,2	17,3	2,4
ослабленные	1	0,99	1,48 ± 0,19	6,9	0,22	1,56	3,6–9,8	22,6	3,2
	2	1,20	1,52 ± 0,19	8,5	0,24	1,14	6,8–10,5	13,3	2,8
	3	1,03	1,23 ± 0,19	8,5	0,21	1,49	5,8–12,2	17,6	2,5

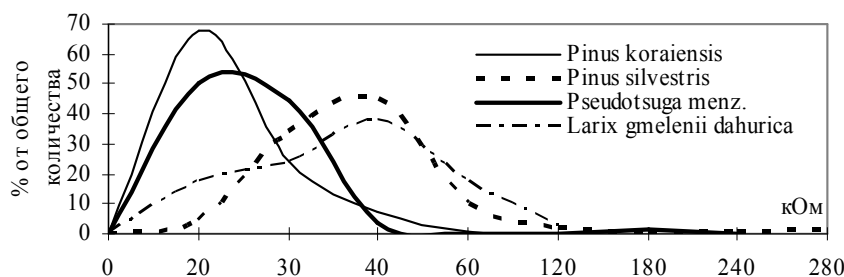


Рис. 1. Распределение растений по ступеням импеданса ПКТ

Содержание хлорофилла в хвое лидирующих деревьев сосны сибирской почти в два раза больше, чем у ослабленных деревьев.

Основой для проведения ранней экспресс-диагностики адаптивных свойств и физиологического состояния древесных растений являются электрофизиологические характеристики деревьев [24, 25]. Электрофизиологические методы основаны на измерениях электрических параметров живых тканей деревьев, комплексно характеризуют характер обмена веществ в тканях и уровень взаимодействия с экологическими факторами среды. Необходимо, чтобы в физиологическом отношении ткань была наиболее активной, легко доступной. Всем этим условиям удовлетворяет прикамбиальный комплекс тканей, который состоит из камбия и прилегающих к нему флоэмы и новообразовавшейся ксилемы. Ослабленные деревья характеризуются более высокими значениями импеданса ПКТ. У здоровых растений значение этого показателя в 2–3 раза меньше. Данные измерений импеданса ПКТ хвойных интродуцентов, произрастающих в Ботаническом саду-институте ПГТУ, варьируют в зависимости от биологических особенностей вида (рис.1).

Здоровые растения кедра корейского и псевдотсуги Мензиса имеют более низкие значения параметра по сравнению с лиственницей Гмелина и сосной обыкновенной, что обусловлено более низкой влажностью ПКТ данных видов. Ослабленные деревья всех изученных видов в зависимости от физиологического состояния имеют более высокие значения импеданса ПКТ, отличаю-

щиеся от здоровых на 50 % и более. Установлена значительная индивидуальная изменчивость интродуцентов по показателям импеданса ПКТ, обусловленная поглотительной деятельностью корневых систем, что свидетельствует о возможности отбора биотипов, более адаптированных к изменениям водного режима почв.

Целесообразность более широкого использования интродуцентов в искусственном лесовосстановлении и плантационном выращивании подтверждают данные о продуктивности искусственных насаждений старших возрастов, произрастающих в Среднем Поволжье (табл. 4).

Лучшие деревья, прошедшие естественный отбор почти в течение целого столетия, являются источником ценного генофонда интродуцентов в нашем регионе.

Для диагностики жизнеспособности и оценки неспецифической устойчивости перспективных биотипов нами применялись методики, основанные на определении параметров, характеризующих уровень интенсивности обмена веществ организмов (БЭП) и показателей водного режима как прямых (влажность, осмотический потенциал), так и коррелятивных (импеданс ПКТ).

В табл. 5 приведены показатели импеданса ПКТ и БЭП деревьев сосны сибирской и лиственницы сибирской различного жизненного состояния. Исследования показали, что лидирующие деревья сосны сибирской, лиственницы сибирской, сосны обыкновенной отличаются низкими значениями импеданса ПКТ и более высокими значениями БЭП по сравнению с ослабленными.

Таблица 4

Таксационная характеристика интродукционных культур

Место произрастания	Воз- раст, лет	Число стволов, шт. на га	Средние		Класс бони- тета	Запас м³/га	Общий средний прирост, м³/га
			высо- та, м	диаметр, см			
Сосна веймутова							
Опытный лесхоз Чувашской Республики	53	794	24,4	30,8	1a	630	11,9
Дзержинский лесхоз Нижегородской области	44	1696	18,7	19,8	1-1a	460	10,5
Арзамасский лесхоз Нижегородской области	40	1250	17,5	23,3	1a	452	11,6
Краснобаковский лесхоз Нижегородской области	32	1900	16,6	17,6	1a	399	12,4
Лиственница сибирская							
Мариинско-Посадское лесничество Чувашской Республики	93	476	32,5	40	1a	768	8,2
Опытный лесхоз Чувашской Республики	68	535	32.)	34	1a	668	10,0
Шулкинское лесничество Республики Марий Эл	90	165	30.0	46	1a	394	4,4
Сосна сибирская							
Илетское лесничество Республики Марий Эл	60	606	16,4	24,0	1	199,7	3,3
Учебно-опытный лесхоз Республики Марий Эл	40	1400	14,5	18,2	11	210	5,2
Батыревское лесничество Чувашской Республики	36	1735	11, 0	16,0	11	207	5,7
Батыревское лесничество Чувашской Республики	43	1694	12.5	11.3	11	147	3,4

Таблица 5

Показатели импеданса ПКТ и БЭП деревьев хвойных пород различного жизненного состояния

Статистические показатели	Импеданс ПКТ, кОм			БЭП, мВ		
	лидирующие	средние	ослабленные	лидирующие	средние	ослабленные
Сосна сибирская						
X	16,4	25,6	47,9	186,3	144,4	97,0
M _x	0,53	0,88	3,78	11,62	6,0	3,51
C, %	10,7	12,9	33,5	25,0	15,0	11,5
Лиственница сибирская						
X	15,4	28,6	149,4	211,5	66,8	47,3
M _x	0,30	0,90	11,80	10,60	5,90	3,80
C, %	15,2	19,9	50,1	15,2	30,9	32,6
Сосна обыкновенная						
X	21,9	46,1	70,0	229,0	143,0	75,0
M _x	0,60	2,87	8,0	8,21	6,40	7,90
C, %	12,6	21,6	34,2	11,8	14,8	34,8

Низкие значения импеданса ПКТ стволов деревьев достоверно указывают на высокую влажность растительных тканей лидирующих деревьев кедра сибирского, лиственницы сибирской, сосны обыкновенной. Связь между влажностью растительных тканей и величинами импеданса ПКТ очень тесная и обратная ($r = -0,85 \dots -0,90$).

Средний коэффициент вариации импеданса ПКТ в период интенсивного роста для культур не превышает 15 %. Изменчивость этого показателя увеличивается до 30 % в культурах, где в достаточной степени встречаются медленнорастущие, ослабленные деревья.

Приведённые в табл. 5 значения величин БЭП деревьев различной жизнеспособности, полученные на основе многолетних наблюдений, подтверждают наличие значительной индивидуальной изменчивости деревьев кедра, лиственницы в культурах по данному показателю. Интенсивно растущие, более адаптированные к экологическим условиям внешней среды растения имеют более высокие показатели БЭП (150...200 мВ), у ослабленных деревьев эти показатели в два-три раза меньше, что свидетельствует о возможности отбора ценных в генетическом отношении биотипов по этому показателю.

Основные выводы и предложения

1. Параметры влажности хвои и побегов интродуцированных растений имеют показатели, близкие к показателям местных видов, что свидетельствует об успешной их адаптации к условиям водообеспеченности в районе исследований.

2. Установленные различия между изученными видами по содержанию общего хлорофилла свидетельствуют о целесообразности использования данного показателя при оценке успешности адаптации интродуцентов. Виды с максимальным содержанием хлорофилла (сосна веймутова, сосна сибирская, псевдотсуга

Мензиса, лиственница сибирская) отличаются быстрым ростом и формируют устойчивые высокопродуктивные насаждения.

3. Показатели роста интродукционных культур старших возрастов свидетельствуют о высокой продуктивности и устойчивости изученных видов к неблагоприятным факторам внешней среды. Данные насаждения являются источником ценного генофонда для создания плантационных и ландшафтных культур в Среднем Поволжье.

4. Установлена значительная индивидуальная изменчивость интродуцентов по показателям электрического сопротивления прикамбиального комплекса тканей и показателям биоэлектрических потенциалов. Наиболее высокие показатели биоэлектрических потенциалов имеют растения, обладающие интенсивным ростом и устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды.

5. Проведённые исследования свидетельствуют о целесообразности ранней экспресс-диагностики жизненного состояния и отбора перспективных, устойчивых биотипов по импедансу прикамбиального комплекса тканей и биоэлектрическим потенциалам, характеризующих состояние водного режима и интенсивность обменных процессов растений, на первых этапах интродукции, с последующим испытанием по комплексу признаков, включающих репродуктивную способность и рост потомства.

6. По данным исследований физиологического состояния хвойных интродуцентов в Среднем Поволжье можно отметить, что в условиях, оптимальных для роста, перспективно их использование при создании плантационных культур, защитных насаждений, и в зелёном строительстве с целью повышения биоразнообразия и улучшения декоративности ландшафтов.

Список литературы

1. Кулагин, Ю.З. Древесные растения и промышленная среда /Ю.З. Кулагин. – М.: Наука, 1974. – 125 с.
2. Некрасов, В.И. Актуальные вопросы теории акклиматизации растений / В.И. Некрасов. – М.: Наука, 1980. – 102 с.
3. Карасева, М.А. Физиологическая оценка устойчивости лиственницы сибирской в Среднем Поволжье / М.А. Карасева, В.Н. Карасев, А.А. Маторкин // Хвойные бореальной зоны. – 2003. – Вып.1. Лиственница. – С. 27-35.
4. 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.
5. Лазарева, С.М. Краткие итоги интродукции хвойных в Ботаническом саду МарГТУ / С.М. Лазарева // Известия вузов. Лесной журнал. – 2014. – № 5. – С. 25-32.
6. Куприянов, Н. В. Опыт выращивания лиственницы в культуре Горьковской области / Н.В. Куприянов // Известия вузов. Лесной журнал. – 1969. – №1. – С. 39-43.
7. Карасева, М.А. Лиственница сибирская в Среднем Поволжье: Научное издание / М.А. Карасева. – Йошкар-Ола, МарГТУ, 2003. – 376 с.
8. Серебрякова, Н.Е. Полиморфизм сосны веймутовой в культурах Среднего Поволжья / Н.Е. Серебрякова // Современные проблемы теории и практики лесного хозяйства. Всерос. науч.-практич. конф., посвящ. 100-летию со дня рожд. д.б.н. М.Д.Данилова: сб. статей.– Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. – С. 180-183.
9. 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 (8). – С. 16-29.
10. Булыгин, Н.Е. Дендрология / Н.Е. Булыгин, В.Т. Ярмишко. – М.: МГУЛ, 2001. – 528 с.
11. Воробьев, Р.А. Содержание основных пигментов в хвое интродуцентов рода Ель в условиях южной тайги (на примере Нижегородской области) / Р.А. Воробьев, Д.Н. Тебенькова// Лесоведение. – 2013. – № 4. – С. 22-31.
12. Андрианова, Ю. Е. Хлорофилл и продуктивность растений / Ю.Е. Андрианова, И.А. Тарчевский. – М.: Наука, 2004. – 135 с.
13. Карасев, В.Н. Интенсивность физиологических процессов и рост саженцев сосны кедровой сибирской и лиственницы сибирской в послепосадочный период /В.Н. Карасев, Н.В. Еремин, М.А. Карасева // Интенсификация выращивания лесопосадочного материала – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1996. – С. 216-218.
14. Котов, М.М. Водоудерживающая способность хвои как диагностический признак для оценки объектов единого генетико-селекционного комплекса/ М.М. Котов, Э.П. Лебедева, Е.В. Прохорова // Известия вузов. Лесной журнал. – 2002. – № 4. – С.58-64.
15. Карасев, В.Н. Эколого-физиологическая диагностика жизнеспособности хвойных пород: монография / В.Н. Карасев, М.А. Карасева.– Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. – 216 с.
16. Годнев, Т.Н. Строение хлорофилла и методы его количественного определения /Т.Н. Годнев. — Минск: АН БССР, 1952. — 327 с.
17. Звиргзд, А.В. Параметры хвои как показатель изменчивости интродуцированных голосеменных растений / А.В. Звиргзд // Ботанические сады Прибалтики. – Рига: Зинатне, 1971. – С. 159-171.
18. Карасев, В.Н. Методологические аспекты физиологической оценки адаптации древесных растений при интродукции /В.Н. Карасев //Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений: Материалы I Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции. – Красноярск: СибГТУ, 1998. – С. 63-65.
19. Лир, Х. Физиология древесных растений. Х. Лир, Г. Польстер, Г.-И. Фидлер; Пер. с нем. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 423 с.
20. Тимофеев, В.П. Лесные культуры лиственницы / В.П. Тимофеев. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 216 с.
21. Дылис, Н. В. Лиственница /Н.В. Дылис. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 96 с.
22. Крамер, П. Д. Физиология древесных растений /П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский; Пер. с англ. — М.: Лесная промышленность, 1983. – 464 с.
23. Дроздов, И.И. Методические рекомендации по изучению лесных культур интродуцированных пород /И.И. Дроздов, А.И. Янгутков. – М.: МЛТИ, 1984. – 41 с.
24. Коловский, Р.А. Биоэлектрические потенциалы древесных растений /Р.А. Коловский. – Новосибирск: Наука, 1980. — 176 с.
25. Шеверножук, Р.Г. Некоторые итоги, проблемы и перспективы плюсовой селекции / Р.Г. Шеверножук, А.А. Высоцкий //Лесная генетика и селекция на рубеже тысячелетий. – Воронеж: ЦНИЛГИС, 2001. – С. 32-33.

Статья поступила в редакцию 25.03.14.

Ссылка на статью: Карасев В.Н., Карасева М.А., Серебрякова Н. Е., Лазарева С.М. Эколого-физиологическая оценка адаптации хвойных интродуцентов в Среднем Поволжье // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 4 (24). – С. 55-66.

Информация об авторах

КАРАСЕВ Валерий Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры садово-паркового строительства, ботаники и дендрологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – физиология древесных растений. Автор 123 публикаций. E-mail: KarasevWN@gmail.com

КАРАСЕВА Маргарита Антиповна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление, интродукция. Автор 137 публикаций. E-mail: KarasevaMA@gmail.com

СЕРЕБРЯКОВА Наталья Евгеньевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры садово-паркового строительства, ботаники и дендрологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – интродукция древесных растений. Автор 31 научной и учебно-методической работы. E-mail: serebryakovane@volgatech.net

ЛАЗАРЕВА Светлана Михайловна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, директор, Учебный Ботанический сад-институт Поволжского государственного технологического университета. Область научных интересов – интродукция и акклиматизация хвойных растений, закономерности изменчивости и селекция хвойных экзотов. Автор 90 публикаций. E-mail: LazarevaSM@volgatech.net

ECOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL ASSESSMENT OF ADAPTATION OF THE INTRODUCED PLANTS (CONIFEROUS TREES) IN THE MIDDLE VOLGA REGION

V. N. Karasev, M. A. Karaseva, N. E. Serebryakova, S. M. Lazareva

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

Key words: introduced plants; water regime; chlorophyll; bioelectrical activity; Siberian cedar; Weymouth pine; Siberian larch; adaptation.

ABSTRACT

Nowadays plant introduction helps to solve an important problem of biodiversity by means of introduction of economically valuable species. The problem is possible to be solved in case of extensive study of the introduced plants in the new climatic conditions. **The goal** of the research is to assess the level of adaptation of the introduced plants (coniferous trees) and to reveal the variability of characteristics of their conditions by physiological and bioelectric characteristics in the Middle Volga region. **Research technique.** The size and the wet of needles and outgrowths, the content of chlorophyll, bioelectric characteristics were determined. Measurement of bioelectric potential was carried out by high-resistance millivoltmeter of direct current with the usage of platinum electrodes (Extra-999). Electric impedance of the close to the cambial complex of tissues was measured by Ц4314 device on a frequency of 500 Hz, chlorophyll content was measured with the use of photoelectroncolorimetric method. **Result.** Coefficient of variability of wet in needles and outgrowths for all the studied species varies within 2...21 %. Swiss mountain pine and Balkan pine are of more stable wet needle characteristics. The connection between the wet of plant tissue and the value of impedance of the close to the cambial complex of tissues is very dense and reverse ($r = -0.85...-0.90$). Trees-leaders have the following impedance parameters: 16.4...21.9 kOhm, the impedance parameters for weak trees are 2–3 times higher. The content of chlorophyll in Siberian larch, Siberian cedar, Weymouth pine is close to the content of chlorophyll in the local species (1.2...2.2 mg/g of dry mass); besides, they form productive plantations. Leading trees have high values of bioelectric potential (180...200 mV), the values of bioelectric potential of weak trees is much lower – 60...70 mV. **Conclusion.** The carried out research proves the necessity to have an early express- diagnostics of living conditions and selection of the most perspective, sustainable biotypes depending on the chlorophyll content, impedance of the close to the cambial complex of tissues and bioelectric potential, characterizing the intensity of metabolic processes.

REFERENCES

1. Kulagin Yu.Z. *Drevesnye rasteniya i promyshlennaya sreda* [Woody Plants and Industrial Environment]. Moscow: Nauka, 1974. 125 p.
2. Nekrasov V.I. *Aktualnye voprosy teorii akklimatizatsii rasteniy* [Urgent Problems of the Theory of Plants Acclimatization]. Moscow: Nauka, 1980. 102 p.
3. Karaseva M.A., Karasev V.N., Matorkin A.A. Fiziologicheskaya otsenka ustoychivosti listvennitsy sibirskoy v Srednem Povolzhe [Physiological Assessment of Siberian Larch Sustainability in the Middle Volga]. *Khvoynye borealnoy zony. Vypusk 1. Listvennitsa* [Coniferous Trees of the Boreal Forests. Issue 1. Larch]. 2003. Pp. 27-35.
4. Alimbek B.M. Opyt introduktsii kedrovoy sosny v Mariyskoy i Tatarskoy ASSR [An Experience of Introduction of Cedar in Mary and Tatar USSR]. *Kedr sibirskiy na evropeyskom severe SSSR, ego rasprostranenie, vozobnovlenie i kultura* [Siberian Cedar in the European North of the SSSR, Its Propagation, Reproduction and Plantations]. Leningrad: Nauka, 1972. Pp. 72-76.
5. Lazareva S.M. Kratkie itogi introduktsiy khvoynykh v Botanicheskom sadu MarGTU [Some Summaries of Coniferous Trees Introduction in the Botanical Garden of MarSTU]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [Universities News. Forest Journal]. Saint-Petersburg, 2002. 136 p.
6. Kupriyanov N. V. Opyt vyrashchivaniya listvennitsy v kulture Gorkovskoy oblasti [An Experience of Larch Cultivation in Gorkovskaya Oblast.]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [Universities News. Forest Journal]. 1969. № 1. Pp. 39-43.
7. Karaseva M.A. *Listvennitsa sibirskaya v Srednem Povolzhe. Nauchnoe izdanie* [Siberian Larch in the Middle Volga. Scientific edition]. Yoshkar-Ola, 2003. 376 p.
8. Serebryakova N.E. Polimorfizm sosny veymutovoy v kulturakh Srednego Povolzhya [Weymouth pine Polymorphism in Middle Volga Plantations]. *Sovremennyye problemy teorii i praktiki lesnogo khozyaystva. Vseros. nauch.-praktich. konf., posvyashch. 100-letiyu so dnya rozh. d.b.n. M.D.Danilova: sb. statey* [Modern Problems of the Theory and Practice of Forestry. All-Russian Research and Practical conference devoted to 100-anniversary of M.D.Danilov (Doctor of Biological Sciences): collected papers]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2008. Pp. 180-183.
9. 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 to Be Considered Beneficial for Cultivation of Siberian Cedar in the Republic of Mari El]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of Mari State Technical University]. 2010. № 1. Pp. 16-29.
10. Bulygin N.E., Yarmishko V.T. *Dendrologiya* [Dendrology]. Moscow: MGUL, 2001. 528 p.
11. Vorobyev R.A., Tebenkova D.N. Soderzhanie osnovnykh pigmentov v khvoe introdutsentov roda El v usloviyakh yuzhnoy taygi (na primere Nizhegorodskoy oblasti) [Basic Pigment Content in the Needles of the Introduced Plants of Spruce Genus in Conditions of the Southern Taiga (on the Example of Nizhniy Novgorod Oblast.)]. *Lesovedenie* [Dendrology]. 2013. № 4. Pp. 22-31.
12. Andrianova Yu. E., Tarchevskiy I.A. *Khlorofill i produktivnost rasteniy* [Chlorophyll and Plants Productivity]. Moscow: Nauka, 2004. 135 p.
13. Karasev V.N., Eremin N.V., Karaseva M.A. Intensivnost fiziologicheskikh protsessov i rost sazhentsev sosny kedrovoy sibirskoy i listvennitsy sibirskoy v posleposadochnnyy period [Physiological Processes Intensity and Siberian Cedar and Siberian Larch Samplings Growth in the Post-planting Period]. *Intensifikatsiya vyrashchivaniya lesoposadochnogo materiala* [Intensification of Tree-Planting Material Preparation]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 1996. Pp. 216-218.
14. Kotov M.M., Lebedeva E.P., Prokhorova E.V. Vodouderzhivayushchaya sposobnost khvoi kak diagnosticheskiy priznak dlya otsenki obektov edinogo genetiko-selektsionnogo kompleksa [Water Retention Capacity of Needle as a Diagnostic Feature to Assess the Objects of the United Genetic and Selection Complex]. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal]. 2002. № 4. Pp. 58-64.
15. Karasev V.N., Karaseva M.A. Ekologo-fiziologicheskaya diagnostika zhiznesposobnosti khvoynykh porod: monografiya [Ecological and Physiological Diagnostics of Coniferous Trees Health: monograph]. Yoshkar-Ola: Volga Tech, 2013. 216 p.
16. Godnev T.N. Stroenie khlorofilla i metody ego kolichestvennogo opredeleniya [Chlorophyll Structure and the Methods of its Qualitative Definition]. Minsk, 1952. 327 p.
17. Zvirgzd A.V. Parametry khvoi kak pokazatel izmenchivosti introdutsirovannykh golosemnykh rasteniy [Needle Parameters as the Characteristics of Variability of the Introduced Gymnosperms]. *Botanicheskie sady Pribaltiki* [Botanic Gardens of the Baltic States]. Riga: Zinatne, 1971. Pp. 159-171.
18. Karasev V.N. Metodologicheskie aspekty fiziologicheskoy otsenki adaptatsii drevesnykh rasteniy pri in-troduktsii [Methodological Aspects of Physiological Assessment of Adaptation of Woody Plants in Case of Introduction]. *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy: Materialy I Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Fruit Growing, Seedage, Introduction of Woody Plants: proceedings of I All-Russian (with International participation)

Research and Practical Conference]. Krasnoyarsk: SibGTU, 1998. Pp. 63-65.

19. Lir Kh., Polster G., Fidler G.-I. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy. Per. s nem.* [Physiology of Woody Plants. Translation from German] Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1974. 423 p.

20. Timofeev V.P. *Lesnye kultury listvennitsy* [Larch Plantations]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1977. 216 p.

21. Dylis N. V. *Listvennitsa* [Larch]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1981. 96 p.

22. Kramer P. D., Kozlovskiy T.T. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy. Per. s angl.* [Physiology of Woody Plants. Translation from English]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1983. 464 p.

23. Drozdov I.I., Yangutov A.I. *Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu lesnykh kultur introducirovannykh porod* [Methodical Recommendations to Study Plantations of the Introduced Species]. Moscow: MLTI, 1984. 41 p.

24. Kolovskiy R.A. Bioelektricheskie potentsialy drevesnykh rasteniy [Bioelectric Potentials of Woody Plants]. Novosibirsk: Nauka, 1980. 176 p.

25. Shevernozhuk R.G., Vysotskiy A.A. Nekotorye itogi, problemy i perspektivy plyusovoy selektsii [Some Summaries, Problems and Perspectives of Plus Selection]. *Lesnaya genetika i selektsiya na rubezhe tysyacheletiy* [Forest Genetics and Selection at the Turn of Millennium]. Voronezh, 2001. Pp. 32-33.

The article was received 25.03.14.

Citation for an article: Karasev V.N., Karaseva M.A., Serebryakova N. E., Lazareva S.M. Ecological and physiological assessment of adaptation of the introduced plants (coniferous trees) in the Middle Volga region. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2014. No 4 (24). Pp. 55-66.

Information about the authors

KARASEV Valeriy Nikolayevich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Chair of Landscaping, Botany and Dendrology, Volga State University of Technology. Research interests – physiology of woody plants. The author of 123 publications. E-mail KarasevWN@gmail.com physiology

KARASEVA Margarita Antipovna – Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Chair of Landscaping, Botany and Dendrology, Volga State University of Technology. Research interests – artificial forest restoration, introduction. The author of 137 publications. E-mail KarasevaMA@gmail.com

SEREBRYAKOVA Natalia Evgenyevna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Landscaping, Botany and Dendrology, Volga State University of Technology. Research interests – introduction of wood plants. The author of 31 scientific publications and textbooks. E-mail: serebryakovane@volgatech.net

LAZAREVA Svetlana Mikhaylovna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Director of Botanical Garden-Institute, Volga State University of Technology. Research interests - introduction and acclimatization of conifers, principles of variation and selection of exotic conifers. The author of 90 publications.

УДК 577.13+576.535.2

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТРИТЕРПЕНОВЫХ ГЛИКОЗИДОВ В ЦИКЛЕ ВЫРАЩИВАНИЯ СУСПЕНЗИОННОЙ КУЛЬТУРЫ КЛЕТОК *POLYSCIAS FRUTICOSA*

Д. В. Кочкин¹, Е. С. Суханова¹, А. М. Носов^{1,2}

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Российская Федерация, 119991, Ленинские горы, 1, стр. 12
E-mail: mushilda@mail.ru

²Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН,
Российская Федерация, 127276, Москва, ул. Ботаническая, 35
E-mail: amn@ippras.ru

Изучены закономерности накопления индивидуальных полисциозидов в цикле выращивания суспензионной культуры клеток Polyscias fruticosa при культивировании в колбах. Показано, что на протяжении цикла выращивания в биомассе культуры были представлены полисциазид А, Pol 3, полисциазид Е и ладигинозид А. При этом мажорными компонентами были полисциазид Е и ладигинозид А.

Ключевые слова: культура клеток *in vitro*; ВЭЖХ; ЯМР; олеаноловая кислота; полисциозиды; *Polyscias*; *Araliaceae*.

Введение. Исследование культур клеток и тканей представителей рода *Polyscias* было начато в нашей стране в начале 1970-х годов. В 1971–1975 гг. в Ленинградском химико-фармацевтическом институте были получены первые каллусные культуры *Polyscias filicifolia* и *P. balfouriana* [1]. Исходным материалом для получения культур ткани служили взрослые растения, выращенные в оранжерее Ботанического института АН СССР. В качестве эксплантов использовали зоны флоэмы корня и листья.

Фитохимический анализ каллусной культуры клеток *P. filicifolia* показал наличие в биомассе этой культуры большого количества водо- и спирторастворимых веществ, крахмала, свободных аминокислот, редуцирующих сахаров, тритерпеновых сапонинов и β -ситостерина [2]. Максимальное содержание «сапониновой фракции» (5,8 %) отмечалось на 5-е и 25-е сутки роста – дни максимальной митотической активности клеток [1, 2]. Следует подчеркнуть, что в этих работах исследователи изучали только так называ-

емую «суммарную гликозидную фракцию» («сапониновая фракция»). Точная структура обнаруженных гликозидов установлена не была.

В конце прошлого века ЗАО НПФ «Биофармтокс» был получен новый штамм *Polyscias filicifolia* БФТ-001-95, а в ИФР РАН была получена суспензионная культура клеток этого штамма. Были выяснены закономерности изменения физиологических характеристик данной культуры при выращивании в различных экспериментальных системах и режимах (в колбах в периодическом режиме, в лабораторных биореакторах в полупроточном и проточном режимах). Кроме того, было осуществлено масштабирование выращивания культуры клеток *P. filicifolia* до биореакторов промышленного объема (0,63 м³) [3].

Совместно с ЗАО НПФ «Биофармтокс» была проведена оценка биологической активности биомассы культуры клеток *P. filicifolia*, полученной при различных способах культивирования. Полученные при этом результаты свидетельство-

вали, что биомасса суспензионной культуры клеток *P. filicifolia* обладала большей биологической активностью по сравнению с биомассой каллусной культуры *P. filicifolia*. В настоящее время культура клеток *P. filicifolia* используется для производства пищевой биологически активной добавки «Витагмал» [4, 5]. Авторы этих работ связывали биологическую активность культур клеток *P. filicifolia* с присутствием в их биомассе тритерпеновых гликозидов. При этом, однако, детальное химическое исследование полученных культур клеток не проводилось.

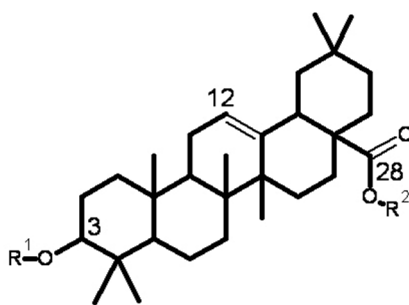
Близкий к *P. filicifolia* вид, *Polyscias fruticosa* (полисциас кустарниковый), используется в народной медицине стран Юго-Восточной Азии как тонизирующее, повышающее работоспособность и сопротивляемость к инфекционным заболеваниям средство, а также как средство против головокружений [4, 6]. В то же время, *P. fruticosa* изучен гораздо меньше, чем *P. filicifolia*. В 2005 году в ИФР РАН была впервые получена каллусная и суспензионная культура клеток *P. fruticosa* [7].

Цель настоящей работы заключалась в изучении закономерностей образования тритерпеновых гликозидов олеананового ряда, характерных для видов рода *Polyscias*, в суспензионной культуре клеток

полисциаса кустарникового – *P. fruticosa*.

Условия эксперимента. Объектом исследования служила суспензионная культура клеток *Polyscias fruticosa* (L.) Harms. на 154 цикле выращивания, полученная из листовых эксплантов в 2005 году [7]. Условия выращивания культуры описаны ранее [7, 8]. Для хроматографического анализа использовали воздушно-сухую биомассу культуры.

Содержание индивидуальных тритерпеновых гликозидов в биомассе культуры клеток определяли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с УФ-детектированием (ВЭЖХ-УФ) методом внешней калибровки. Условия ВЭЖХ-УФ опубликованы ранее [8]. В качестве стандартов использовали образцы полисциозидов с рабочими названиями Pol 1, Pol 3, Pol 5 и Pol 7, выделенных ранее из листьев *Polyscias filicifolia*. Структура выделенных гликозидов была установлена с помощью спектроскопии ЯМР и масс-спектропии высокого разрешения [9]. Гликозид Pol 1 оказался идентичным полисциозиду Е, Pol 5 – полисциозиду А, Pol 7 – ладигинозиду А, структура Pol 3 была определена как 28-*O*- β -D-глюкопиранозиловый эфир 3-*O*- β -D-глюкопиранозил-(1 $\rightarrow$ 4)- β -D-глюкуронопиранозида олеаноловой кислоты (рис. 1).



Название	R ¹	R ²
Pol 1 = полисциозид Е	Glc(1-4)(Glc(1-2))GluA	Glc
Pol 3	Glc(1-4)GluA	Glc
Pol 5 = полисциозид А	Glc(1-4)(Glc(1-2))GluA	H
Pol 7 = ладигинозид А	Glc(1-4)GluA	H

Рис. 1. Химическая структура гликозидов Pol 1, Pol 3, Pol 5 и Pol 7, выделенных из листьев *P. filicifolia*
Glc - β -D-глюкопираноза, GluA - β -D-глюкуронопираноза

Идентификацию тритерпеновых гликозидов в биомассе культуры клеток *P. fruticosa* осуществляли с помощью тонкослойной хроматографии (ТСХ) и ВЭЖХ-УФ путём совместного хроматографирования со стандартными образцами полисциозидов [9].

Подготовка проб для анализа. 30 мг воздушно-сухой биомассы культуры клеток экстрагировали смесью метанол : вода (95:5 по объёму) в течение 30 мин под действием ультразвука (УЗВ УХ 3560, GXET LTD, КНР) при комнатной температуре. Затем полученный экстракт центрифугировали 6 мин при 3900 g (Микроцентрифуга МЦФ, Россия). Супернатант фильтровали через нейлоновый фильтр с порами 0,2 мкм (Acrodisc, Германия). Полученную пробу использовали для ВЭЖХ-анализа.

Результаты и обсуждение. В результате предварительного фитохимического исследования биомассы суспензионной культуры клеток *P. fruticosa* было установлено наличие в ней тритерпеновых гликозидов олеаноловой кислоты [8]. Однако точная структура этих гликозидов оставалась неизвестной.

С помощью ТСХ и ВЭЖХ было показано, что основные тритерпеновые гликозиды, обнаруженные в суспензии клеток *P. fruticosa*, идентичны гликозидам, выделенным из листьев *P. filicifolia* [8, 9]. При этом мажорными компонентами в культуре клеток *P. fruticosa* были полисциозид Е (Pol 1), 28-*O*- β -D-глюкопиранозиловый эфир 3-*O*- β -D-глюкопиранозил-(1 $\rightarrow$ 4)- β -D-глюкуронопиранозида олеаноловой кислоты (Pol 3) и ладигинозид А (Pol 7) [9].

Для выяснения закономерностей образования индивидуальных тритерпеновых гликозидов в культуре клеток *P. fruticosa* было проведено изучение изменения их содержания в цикле выращивания данной культуры в колбах.

Полученные результаты представлены на рис. 2. Установлено, что содержа-

ние суммы гликозидов увеличивалось в течение цикла выращивания и максимальное значение этого показателя (0,5 % от веса сухой биомассы) отмечалось в конце экспоненциальной фазы роста культуры (14 сутки). Это вполне согласуется с данными литературы, из которых следует, что наибольшее накопление тритерпеновых кислот (олеаноловой, урсоловой) в суспензионной культуре клеток *Cyclocarya paliurus* отмечалось в конце экспоненциальной – начале стационарной фаз роста культуры [10].

На протяжении цикла выращивания в биомассе культуры клеток *P. fruticosa* были представлены все обнаруженные гликозиды – полисциозид А, Pol 3, полисциозид Е и ладигинозид А. При этом мажорными компонентами были полисциозид Е и ладигинозид А – на их долю в разные периоды выращивания приходилось 10–40 и 40–70 % от содержания суммы гликозидов, соответственно. Особый интерес вызывает тот факт, что в биомассе культуры клеток данного вида полисциаса в значительных количествах присутствовал самый неполярный из обнаруженных гликозидов – моноксид ладигинозид А. Накопление этого гликозида было достаточно стабильным на протяжении всего цикла выращивания культуры (рис. 2, Б). Между тем, хорошо известно, что для листьев и корней интактных растений семейства аралиевых, синтезирующих сапонины олеананового ряда, образование заметных количеств моноксидов не характерно [2]. Можно предположить, что данный результат является проявлением видовых особенностей *P. fruticosa* и/или связан с перестройкой метаболизма тритерпеновых гликозидов в условиях культуры клеток *in vitro* – популяции соматических клеток [11]. Однако для доказательства или опровержения этого предположения требуются дополнительные исследования.

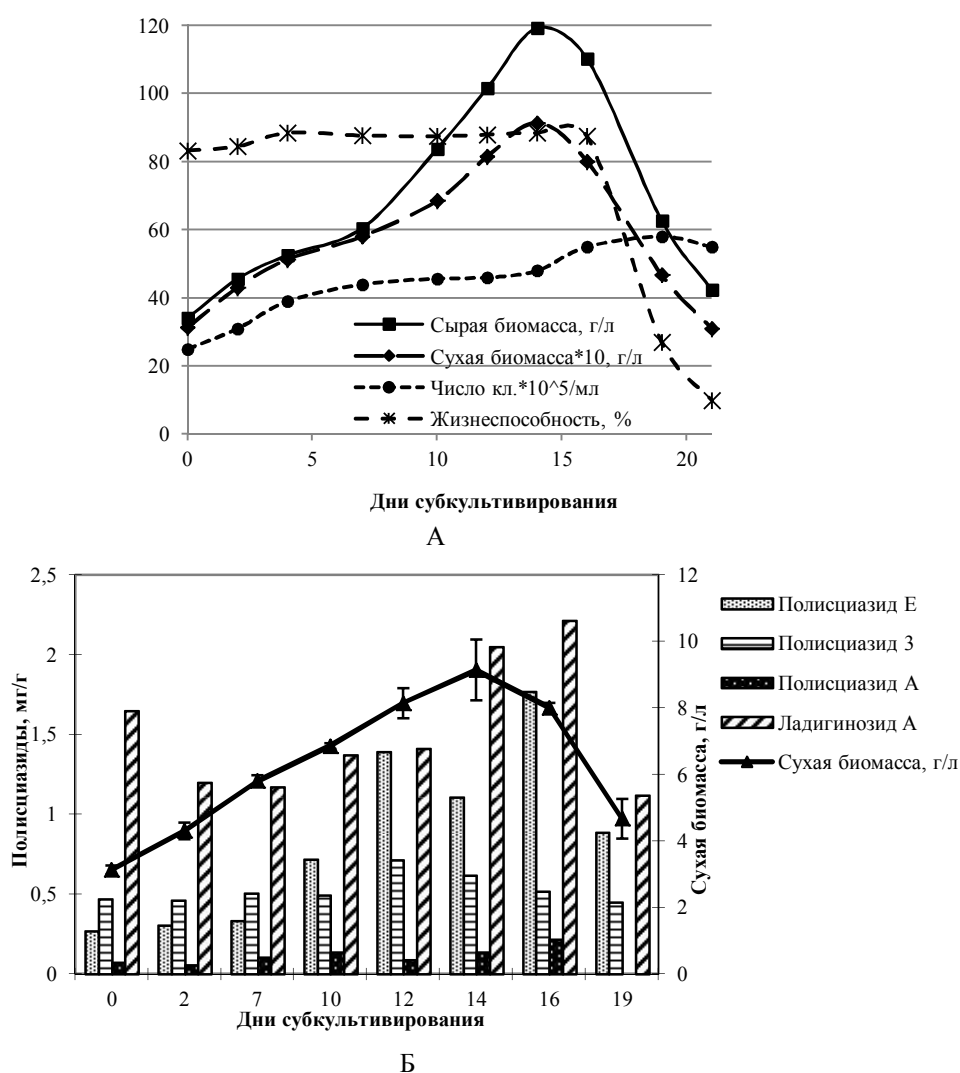


Рис. 2. Изменение ростовых характеристик (А) и содержания тритерпеновых гликозидов (Б) в цикле выращивания культуры клеток *Polyscias fruticosa* в колбах (154 цикл)

Следует заметить, что закономерности накопления индивидуальных тритерпеновых гликозидов в культуре клеток одного из видов полисциаса в настоящей работе описаны впервые.

Вывод. Можно заключить, что исследованный вид полисциаса сохраняет спо-

собность к образованию определённого набора гликозидов олеаноловой кислоты в условиях культуры клеток. Однако механизмы формирования конкретного качественного состава гликозидов в данной культуре клеток требуют дальнейшего изучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» (государственный контракт № 16.552.11.7089 от 12 июля 2012 г.) с использованием оборудования ЦКП «ЭБЭЭ» ФГБОУ ВПО «ПГТУ» и Межгосударственной целевой программы ЕвразЭС «Инновационные биотехнологии» (государственный контракт № 16.M04.12.0003).

Список литературы

1. Слепян, Л. И. Культура тканей некоторых видов рода *Polyscias* J.R. et G. Forst. (Araliaceae) / Л.И. Слепян, Н.Н. Арнаутов, И.В. Грушвицкий // Растительные ресурсы. – 1975. – Т. 11, Вып. 2. – С. 198-204.
2. Слепян, Л. И. Химическое и фармакологическое изучение биомассы культуры тканей *Polyscias filicifolia* Bailey / Л.И. Слепян, Л.А. Джабава, И.А. Лощина // Растительные ресурсы. – 1975. – Т. 11, Вып. 4. – С. 523-528.
3. Ключин, А. Г. Характеристика роста суспензионной культуры клеток *Polyscias filicifolia* Bailey при различных способах культивирования: автореф. дисс. канд. биол. наук / Ключин Андрей Геннадьевич. – М., 2000. – 24 с.
4. Котин, А. М. В поисках средства от всех заболеваний / Котин Аркадий Михайлович. – СПб: ЗАО НПФ «Биофармтокс», 2001. – 28 с.
5. Furmanowa, M. Antimicrobial activity of *Polyscias filicifolia* cell biomass extracts / M. Furmanowa, A.M. Nosov, A.V. Oreshnikov, A.G. Klushin, B. Starościak, A. Śliwińska, J. Guzewska, R. Bloch // Pharmazie. – 2002. – Vol. 57(6). – Pp. 424-426.
6. Гришковец, В. И. Тriterпеновые гликозиды аралиевых: выделение, установление строения, биологическая активность и хемотаксономическое значение: дис. докт. хим. наук / Гришковец Владимир Иванович. – Симферополь, 2004. – 460 с.
7. Суханова, Е. С. Получение и характеристика каллусных и суспензионных культур клеток *Polyscias filicifolia* и *Polyscias fruticosa* / Е.С. Суханова, Н.Д. Черняк, А.М. Носов // Биотехнология. – 2010. – № 4. – С. 44-50.
8. Суханова, Е. С. Влияние предшественника синтеза изопреноидов на ростовые и биосинтетические характеристики культуры клеток *Polyscias fruticosa* (L.) Harms. / Е.С. Суханова, Д.В. Кочкин, Э.И. Гафиятова, А.М. Носов // Вестник СВФУ им. А.К. Амосова. – 2011. – Т. 8. – С. 40-44.
9. Кочкин, Д. В. Качественный и количественный состав тритерпеновых гликозидов культур клеток *in vitro* представителей семейства Araliaceae (на примере *Panax* spp. и *Polyscias* spp.) : автореф. дисс. канд. биол. наук // Кочкин Дмитрий Владимирович. – М., 2012. – 28 с.
10. Yin, Z. Growth and triterpenic acid accumulation of *Cyclocarya paliurus* cell suspension cultures / Z. Yin., X. Shangguan, J. Chen, Q. Zhao, D. Li // Biotechnology and Bioprocess Engineering. – 2013. – Vol. 18. – Pp. 606-614.
11. Verpoorte, R. Biotechnology for the production of plant secondary metabolites / R. Verpoorte, A. Contin, J. Memelink // Phytochem. Rev. – 2002. – Vol. 1. – Pp. 13-25.

Статья поступила в редакцию 04.06.14.

Ссылка на статью: Кочкин Д.В., Суханова Е.С., Носов А.М. Закономерности накопления тритерпеновых гликозидов в цикле выращивания суспензионной культуры клеток *Polyscias fruticosa* // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 4 (24). – С. 67-73.

Информация об авторах

КОЧКИН Дмитрий Владимирович – кандидат биологических наук, научный сотрудник кафедры физиологии растений биологического факультета, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. Область научных интересов – физиология растений. Автор 11 публикаций.

E-mail: info@mail.bio.msu.ru

СУХАНОВА Елена Сергеевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник кафедры физиологии растений биологического факультета, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова. Область научных интересов – культура клеток, вторичный метаболизм высших растений. Автор 18 публикаций.

E-mail: mushilda@mail.ru

НОСОВ Александр Михайлович – доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии растений, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова; зав. отделом биологии клетки и биотехнологии, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. Область научных интересов – биотехнология. Автор 114 публикаций. E-mail: amn@ippras.ru

THEIR ACCUMULATION OF TRITERPENE GLYCOSIDES IN THE GROWING CYCLE CELL SUSPENSION CULTURES POLYSCIAS FRUTICOSA

D. V. Kochkin¹, E. S. Sukhanova¹, A. M. Nosov^{1,2}

¹Moscow State University named after M. V. Lomonosov,
1, Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russian Federation
E-mail: mushilda@mail.ru

²Institute of Plant Physiology named after K.A. Timiryazev,
35, Botanicheskaya st., Moscow, 127276, Russian Federation
E-mail: amn@ippras.ru

Key words: plant cell culture in vitro; HPLC; NMR; oleanolic acid; polysciosides; Polyscias; Araliaceae.

ABSTRACT

Variation in the amounts and compositions of the individual polysciosides formed during a 21-day growth cycle of the cell-suspension culture of *Polyscias fruticosa* in flasks were determined by RP-HPLC-UV analysis. The plant cell culture was obtained from leaves of an adult plant and the present research has been led on the 154th subcultivation cycle of the suspension cell culture growth. Four polysciosides (oleanolic acid glycosides) were identified: ladiginoside A, polyscioside A, polyscioside E and glucopyranosyl-(1-2)-glucuronopyranosyl-3-oleanolic acid-28-glucopyranosyl ester. These glycosides were the same as in *Polyscias filicifolia* leaves, which had been isolated, determined by NMR method and used as standarts for the present research. The occurrence of all of them was shown during the whole subcultivation cycle. The major components were ladiginoside A and polyscioside E, their percentage during the subcultivation period amounted correspondingly up to 70% and 40%. An investigation of these glycosides dynamics during the cultivation cycle has been processed. The maximum content of the sum of glycosides (0,5% of the dry weight) was observed on the 14th day of subcultivation, at the end of the exponent stage of the cell culture growth. It is important to note that ladiginoside A is the most nonpolar glycoside among the determined ones, and while being a major glycoside with a rather stable occurrence during the cell culture cultivation is not common to be a major one for plants of Araliaceae family. It should be noted that the research of isolated glycosides accumulation has been led for the first time.

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the Federal Targeted Programme "Researches and Elaborations in Priority in the Lines of Development of Science and Technology Sector of Russia in 2007–2013 Years" (state contract № 16.552.11.7089 of July, 12 2012) using the equipment of CUC "EBEE" of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Volga State University of Technology" and Interstate Special-Purpose Programme EvrAzES "Innovative Biotechnologies" (state contract № 16.M04.12.0003).

REFERENCES

1. Slepyan L. I., Arnautov N. N., Grushvitskiy I. V. Kultura tkaney nekotorykh vidov roda *Polyscias* J.R. et G. Forst. (Araliaceae) [Tissue Culture of Some Kinds of *Polyscias* J.R. et G. Forst. (Araliaceae)]. *Rastitelnye resursy* [Plant Resources]. 1975. Vol. 11, Iss. 2. Pp. 198-204.
2. Slepyan L. I., Dzhabava L. ., Loshchilina I. A. Khimicheskoe i farmakologicheskoe izuchenie biomassy kultury tkaney *Polyscias filicifolia* Bailey [Study of Tissue Culture Biomass of *Polyscias filicifolia* Bailey (Chemical and Pharmacological Point of View)]. *Rastitelnye resursy* [Plant Resources]. 1975. Vol. 11, Iss. 4. Pp. 523-528.
3. Klushin A. G. Kharakteristika rosta suspenszionnoy kultury kletok *Polyscias filicifolia* Bailey pri razlichnykh sposobakh kultivirovaniya: avtoref. diss. kand. biol. nauk. [Peculiarities of Growth of Suspension Culture of Cells of *Polyscias filicifolia* Bailey in Case of Different Ways of Cultivation: autoref. for a Candidate degree (Biology)]. Moscow, 2000. 24 p.
4. Kotin A. M. V poiskakh sredstva ot vseh zabolevaniy [In Search of Means of All the Deceases]. Saint-Petersburg: CJSC SPC «Biopharmtoks», 2001. 28 p.
5. Furmanowa A. M., Nosov A.V., Oreshnikov A.G., Klushin A.G., Starościak B., Śliwińska A., Guzewska J., Bloch R. Antimicrobial Activity of *Polyscias Filicifolia* Cell Biomass Extracts. *Pharmazie*. 2002. Vol. 57(6). P. 424-426.

6. Grishkovets V. I. Triterpenovye glikozidy araliykh: vydelenie, ustanovlenie stroeniya, biologicheskaya aktivnost i khemotaksonomicheskoe znachenie: dis. dokt. khim. nauk [Triterpenoid Glycosides of Araliaceae: Extraction, Structure Definition, Biological Activity and Chemotaxonomic Significance: thesis for a Doctor of Chemical Sciences]. Simferopol, 2004. 460 p.
7. Sukhanova E. S., Chernyak N. D., Nosov A. M. Poluchenie i kharakteristika kallusnykh i suspenzionnykh kultur kletok *Polyscias filicifolia* i *Polyscias fruticosa* [Obtainment and Characteristics of Callus and Suspension Culture of *Polyscias filicifolia* and *Polyscias fruticosa* Cells]. *Biotehnologiya* [Biotechnology]. 2010. № 4. Pp. 44-50.
8. Sukhanova E. S., Kochkin D. V., Gafiyatova E. I., Nosov A. M. Vliyanie predshestvennika sinteza izoprenoidov na rostovye i biosinteticheskie kharakteristiki kultury kletok *Polyscias fruticosa* (L.) Harms [Impact of Predecessor of Synthesis of Isoprenoids on Growth and Biosynthetic Characteristics of Cell Culture of *Polyscias fruticosa* (L.) Harms]. *Vestnik SVFU im. A.K. Amosova* [Vestnik of North-Eastern Federal University]. 2011. Vol. 8. Pp. 40-44.
9. Kochkin D.V. Kachestvennyy i kolichestvennyy sostav triterpenovykh glikozidov kultur kletok in vitro predstaviteley semeystva Araliaceae (na primere *Panax* spp. i *Polyscias* spp.) : avtoref. diss. kand. biol. nauk. [Qualitative and Quantitative Composition of Triterpenoid Glycosides of *in vitro* Cells of Araliaceae Family (based on the example of *Panax* spp. and *Polyscias* spp.): autoref. for a Candidate degree (Biology)]. Moscow, 2012. 28 p.
10. Yin Z., Shangguan X., Chen J., Zhao Q., Li D. Growth and Triterpenic Acid Accumulation of *Cyclocarya paliurus* Cell Suspension Cultures. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 2013. Vol. 18. Pp. 606-614.
11. Verpoorte R., Contin A., Memelink J. Biotechnology for the Production of Plant Secondary Metabolites. *Phytochem. Rev.* 2002. Vol. 1. Pp. 13-25.

The article was received 04.06.14.

Citation for an article: Kochkin D. V., Sukhanova E. S., Nosov A. M. Their accumulation of triterpene glycosides in the growing cycle cell suspension cultures *Polyscias fruticosa*. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2014. No 4 (24). Pp. 67-73.

Information about the authors

KOCHKIN Dmitry Vladimirovich – Candidate of Biological Sciences, Researcher at the Chair of Plant Physiology, Biological Faculty, Moscow State University named after M. V. Lomonosov. Research interests – plant physiology. The author of 11 publications.

E-mail: info@mail.bio.msu.ru

SUKHANOVA Elena Sergeyevna – Candidate of Biological Sciences, Research officer at the Chair of Plant Physiology, Biological Faculty, Moscow State University named after M. V. Lomonosov. Research interests – cell culture, secondary metabolism of higher plants. The author of 18 publications. E-mail: mushilda@mail.ru

NOSOV Alexander Mikhaylovich – Doctor of Biological Sciences, Professor at the Chair of Plant Physiology, Moscow State University named after M. V. Lomonosov, Head at the Department of Cytobiology and Biotechnology, Institute of Plant Physiology named after K.A. Timiryazev, RAS. Research interests – biotechnology. The author of more than 114 publications. E-mail: amn@ippras.ru

УДК 626.882+502.2+532.525.2

ОРГАНИЗАЦИЯ МИГРАЦИОННОГО ЦИКЛА РЫБ В СОСТАВЕ РЫБООХРАННОГО КОМПЛЕКСА ГИДРОУЗЛА

О. Г. Введенский

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

Анализируется проблема разрушения миграционного цикла рыб, вызванная гидротехническим строительством. Предложен комплекс мероприятий по организации миграционного цикла рыб в составе рыбоохранного комплекса гидроузла. Выработаны технические решения по повышению эффективности работы рыбопропускных сооружений и рыбонаправляющих устройств с целью обеспечения покатных, нерестовых и других миграций через гидроузлы вне зависимости от величины напора на плотину гидроузла. Представлено математическое обоснование предлагаемых технических решений. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: гидроузел; рыбоход; нерестовая и покатная миграция рыбы; естественное воспроизводство рыбы; рыбоохранный комплекс гидроузла; природоохранные мероприятия.

Введение. Острота проблемы охраны живой природы, начиная с середины прошлого века по настоящее время, не только не снижается, а наоборот продолжает нарастать. Сейчас совершенно очевидно, что без специальных мер охраны некоторые виды животных не могут выжить, причём списки их, в частности рыб, увеличиваются с каждым годом. Необходимо достигнуть того, чтобы человек своей деятельностью не ставил под угрозу генофонд живых существ, для этого нужно сохранять численность популяций рыб на уровне, достаточном для их выживания [1].

Основной причиной сокращения численности многих видов рыб на современном этапе явилось гидротехническое строительство на реках и внутренних водоёмах. Зарегулирование стока, вызванное гидротехническим строительством, ведёт к разрушению популяционной системы воспроизводства проходных, полупроходных и многих жилых видов рыб [1]. Создание плотин и водохранилищ влечёт за собой сезонное, суточное или многолетнее перераспределение стока реки, происходит утрата естественных нерестилищ. Данное обстоятельство резко изменяет

гидрологические характеристики рек и приводит к превращению лотических экосистем в лентические. При этом происходит исчезновение или резкое сокращение численности и ареалов реофильных и диадромных рыб. Плотины практически полностью разрушают условия для миграции рыб. Нерестовые миграции против течения приостанавливаются плотинами, что ведёт к прекращению естественного воспроизводства, а покатные миграции заканчиваются гибелью рыб в турбинах ГЭС и в водохранилище. Кроме того, сокращаются и нагульные миграции, у туводных рыб вместо единого стада образуются два стада – выше плотины и ниже её.

С другой стороны, гидротехническое строительство направлено на решение целого ряда важнейших для человечества задач, без решения которых невозможно дальнейшее устойчивое развитие человеческого общества. Это такие задачи, как проблемы получения энергии, создания больших запасов пресной воды для питьевого и хозяйственного водопотребления, обеспечения водного транспорта полноводными магистралями, получения обширных угодий для развития рекреации и др.

Рассматривая негативные экологические последствия гидротехнического строительства рыбному хозяйству, следует иметь в виду, что большинство видов ущерба можно предотвратить предупредительными мерами. Данные меры должны состоять из комплекса технологий и сооружений, направленных на сохранение условий естественного воспроизводства водных биологических ресурсов на всех стадиях их жизненного цикла при эксплуатации плотин и образующих рыбоохранные комплексы гидроузлов [2, 3].

Целью настоящей работы является разработка мероприятий по организации миграционного цикла рыб в составе рыбоохранных комплексов гидроузлов. Для этого поставлена следующая **задача**: существенно повысить эффективность работы рыбопропускных сооружений (РПС) и рыбонаправляющих устройств (РНУ) по обеспечению покатных, нерестовых и других миграций через гидроузлы вне зависимости от величины напора на плотину гидроузла.

Решение поставленной задачи. Цикл миграций для рыб является неотъемлемой частью их жизни, определяя важнейшие стороны экологии рыб [4]. Миграции как биологическое явление характерны не только для проходных и полупроходных видов рыб, но и для туводных рыб.

Миграционный цикл состоит из нескольких звеньев миграций: покатная, нерестовая, зимовальная, нагульная (кормовая) и др. Важнейшими из всего разнообразия миграций рыб являются покатная и нерестовая. Покатная миграция молоди проявляется в движении рыб вниз по течению, в так называемом скате молоди от мест рождения к местам нагула. Адаптивное значение таких миграций заключается в том, что они способствуют расселению молоди, устойчивому поддержанию границ ареала и использованию его трофической части. Покатные миграции молоди – это первое звено миграционного цикла рыб, от которого во многом будет зависеть

масштаб и характер миграций в последующие периоды жизни.

Нерестовая, или анадромная, миграция рыб заключается в движении рыб от мест нагула к местам нереста. Данный вид миграций хорошо выражен у проходных рыб, которые кормятся в море, но для размножения входят в реки. Они свойственны главным образом рыбам Северного полушария: сельдевым, лососёвым, осетровым и др. [4]. Помимо того, нерестовые миграции ярко проявляются и у полупроходных видов (жерех, щука, судак, язь, чехонь, стерлядь), кроме того, они необходимы и для туводных (жилых) видов рыб для поддержания целостности их популяции.

Для восстановления нерестовых путей рыб в практике отечественного [5] и зарубежного гидростроительства [6, 7] используют рыбопропускные сооружения. Все РПС делят на два основных вида: рыбоходы, по которым рыба движется самостоятельно, и рыбоподъёмники, принудительно перемещающие рыб в верхний бьеф гидроузла. В связи с этим рыбоходы рекомендуют применять на низконапорных гидроузлах с напором до 10 м, а рыбоподъёмники – на средне- и высоконапорных.

С другой стороны, пропуск рыб, идущих на нерест, через плотины будет целесообразным лишь в том случае, когда на данном гидроузле будет организован обратный скат производителей рыб и её молоди [2, 3]. Но, к сожалению, из используемых на практике конструкций РПС для ската молоди можно использовать рыбоходы и то только при определённых условиях. Так как скорость транзитного потока в рыбоходном тракте рыбохода зависит от колебаний бьефов [2,3, 7 – 11], характерных практически для всех гидроузлов, то эффективность их работы в этом случае будет крайне мала. Касаясь конструкций рыбоподъёмников, можно отметить, что применить их для организации покатных миграций практически невозможно.

Выход из сложившихся противоречий можно найти в дальнейшем совершен-

ствовании конструкций классических рыбоходов, как наиболее простых по устройству и максимально приближенных к естественным условиям обитания рыб, по пути, обозначенном в работах [8–11]. Применяемая для этих целей технология использования гидравлических струй позволит модернизировать конструкции классических рыбоходов не только для эффективного пропуска рыб, идущих на нерест, через плотины гидроузлов, но и для организации высокорезультативной покатной миграции. Причём восстановление миграционного цикла рыб можно будет считать завершённым лишь в том случае, если предлагаемые конструкции рыбоходов будут входить в состав рыбоохранных комплексов гидроузлов и работать с соответствующими рыбонаправляющими устройствами [2, 3].

Предлагаемые технические решения. Рыбоходы являются наиболее простыми в конструктивном отношении рыбопропускными сооружениями. При соответствующем конструктивном решении и правильно подобранных параметрах такие сооружения приемлемы для пропуска любых видов мигрирующих рыб и её молоди. Гидравлические струи позволяют нейтрализовать встречное течение в рыбопропускных отверстиях рыбоходного сооружения. В данном случае имеется возможность не только повысить эффективность действующих рыбоходных сооружений в период нерестовых миграций [8, 9] или использовать рыбоходы на высоконапорных гидроузлах [10, 11], но и применить данные конструкции РПС в условиях тех же гидроузлов для обратного ската производителей рыбы и её молоди [12]. Кроме того, гидравлические струи позволяют действительно направлять и перенаправлять мигрирующих рыб и её молодь в желаемое место водоёма, сохраняя при этом естественность среды обитания [3, 13].

Известно, что движущиеся против течения на нерест рыбы, пройдя посредством РПС в верхний бьеф гидроузла, по-

падают из условий реки в условия озера [2, 3, 7]. Это, безусловно, отрицательно сказывается на эффективности отыскания ими нерестилищ, поэтому в водохранилищах целесообразно создавать потоки воды для привлечения и проводки производителей рыб на участки и притоки водохранилища с ярко выраженными естественными течениями. Отнерестившись, производители и их молодь начинают совершать покатные миграции. В условиях водохранилищ происходит задержка ската молоди перед плотиной, вынос покатников в ирригационные системы и их массовое попадание в другие водозаборные сооружения, а также массовая гибель молоди рыб в турбинах гидроэлектростанций. Для предупреждения подхода рыб к источнику опасности в условиях самостоятельного или пассивного расселения рыб по акватории водохранилища разумно использовать рыбоотводящие течения со сносными скоростями для рыб, которые позволят защитить мигрантов от попадания в водозаборные сооружения. Решить указанную задачу можно с помощью рыбонаправляющих устройств гидравлического типа [3, 14].

Предлагаемая нами конструкция рыбонаправляющего устройства (рис. 1) [13] в части исполнения рыбопропускного отверстия повторяет рыбоход на гидравлических струях [8–11]. Оно включает в себя водонепроницаемую стенку 1, установленную в параллельных друг другу направляющих балках 2, которые вертикально прикреплены к понтонам 3. Сами балки скреплены между собой посредством мостика 4, опирающегося на понтоны 3. Для придания жёсткости конструкции рыбонаправляющего устройства используют поперечные и наклонные тяги 5. В водонепроницаемой стенке устраивают одно или несколько рыбопропускных отверстий 6 с системами струеобразующих насадок 7. Питание струеобразующих насадок осуществляют посредством раздающих коллекторов 8, выполненных в

водонепроницаемой стенке. Помимо того, водонепроницаемая стенка фиксируется в направляющих балках по заданной высоте с помощью троса 9. Длину троса регулируют с помощью барабана 10, связанного с червячным приводом 11.

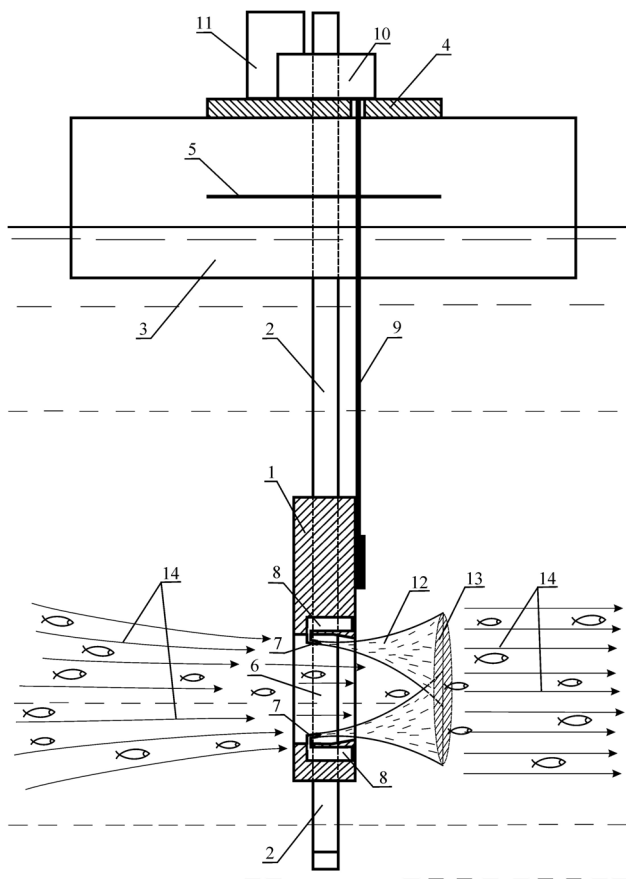


Рис. 1. Рыбонаправляющее устройство гидравлического типа: 1 – водонепроницаемая стенка; 2 – направляющие балки; 3 – понтоны; 4 – мостик; 5 – тяги; 6 – рыбопропускное отверстие; 7 – системы струеобразующих насадок; 8 – раздающие коллекторы; 9 – трос; 10 – барабан; 11 – червячный привод; 12 – гидравлические струи; 13 – суммарный поток; 14 – транзитное водное течение рыбоотводящего или рыбопривлекающего назначения

Рыбонаправляющие устройства предлагаемой конструкции размещают на водной акватории рек, озёр или водохранилищ на существующих или проектируемых трассах движения рыб, идущих на нерест, или покатинок, либо вблизи ис-

точников опасностей для предотвращения гибели молоди и взрослой рыбы (рис. 2).

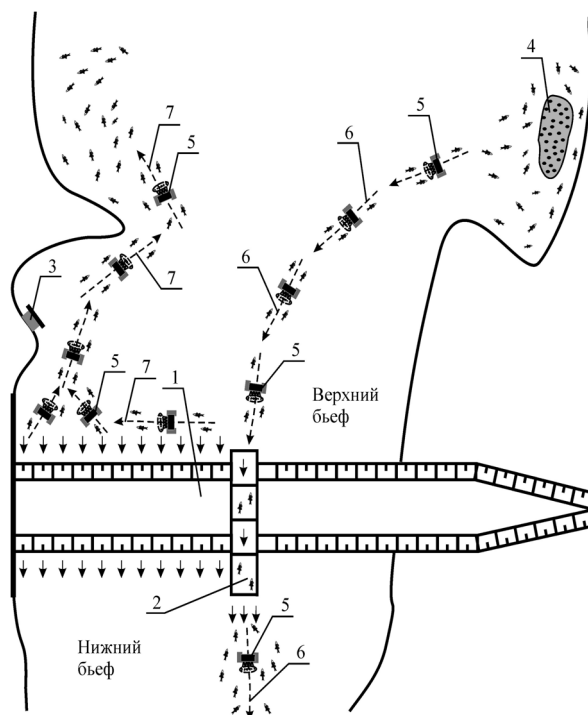


Рис. 2. Схема размещения рыбоулавливающих устройств на акватории гидроузла: 1 – плотина гидроузла; 2 – рыбопропускное сооружение; 3 – водозабор; 4 – нерестилище; 5 – рыбоулавливающее устройство; 6 – транзитное водное течение рыбопривлекающего назначения; 7 – транзитное водное течение рыбоотводящего назначения

Посредством насосов, установленных на мостике рыбоулавливающего устройства или на отдельном понтоне, либо на берегу, подают воду через раздающие коллекторы в систему струеобразующих насадок рыбопропускных отверстий, которые формируют гидравлические струи. Гидравлические струи, взаимодействуя между собой, образуют в зависимости от количества рыбопропускных отверстий один или несколько суммарных потоков. В свою очередь, суммарные потоки формируют перед водонепроницаемой стенкой и за ней транзитное водное течение, которое в зависимости от величины скорости может иметь рыбоотводящее или рыбопривлекающее назначение (таб.).

**Рекомендуемые скорости транзитного течения в зависимости от назначения
для различных видов рыб [7]**

Виды рыб	Скорость течения, м/с		
	привлекающая взрослые особи	сносящая	
		молодь	взрослые особи
Лососи, форель, кумжа, жерех, щука	0,8...1,1	0,25...0,35	1,1...1,6
Усач, хариус, миноги	0,75...1,0	0,20...0,30	1,0...1,5
Сельди, подуст, краснопёр	0,7...0,95	0,20...0,25	0,95...1,4
Белорыбица, осётр, севрюга, судак, язь	0,6...0,9	0,15...0,2	0,9...1,2
Сазан, лещ, окунь, линь, плотва	0,5...0,7	0,15...0,25	0,9...1,2

С другой стороны, рыбоотводящие течения можно успешно также применять для перенаправления покатников от водозаборов и других источников опасности в места водохранилища, благоприятные для обитания рыб, или к специальным устройствам, обеспечивающим безопасный пропуск мигрирующей рыбы через плотину в нижний бьеф гидроузла. В качестве устройств, обеспечивающих эффективный пропуск покатников, мы предлагаем использовать рыбоходы на гидравлических струях [8–12]. Данные рыбоходы в зависимости от типа гидроузла имеют свои конструктивные особенности [8–11], но все они представляют собой быстроток (канал) прямоугольного сечения со ступенчатым дном и поперечными перегородками с рыбопропускными отверстиями, образующими ряд бассейнов и перепадов между ними (рис. 3).

В период покатной миграции молоди рыб, а также при скоплении покатников перед плотиной гидроузла в верхнем бьефе (рис. 2) формируют управляемое рыбоотводящее течение (рис. 3). Данное течение будет вовлекать в движение молодь рыб из верхнего бьефа гидроузла, и направлять её в рыбоходный тракт рыбохода, выводя молодь рыбы в безопасное место нижнего бьефа гидроузла. В общем случае механизм формирования рыбоотводящего течения совпадает с принципами образования привлекающего потока по длине рыбоходного тракта, изложенными в работах [8 – 11].

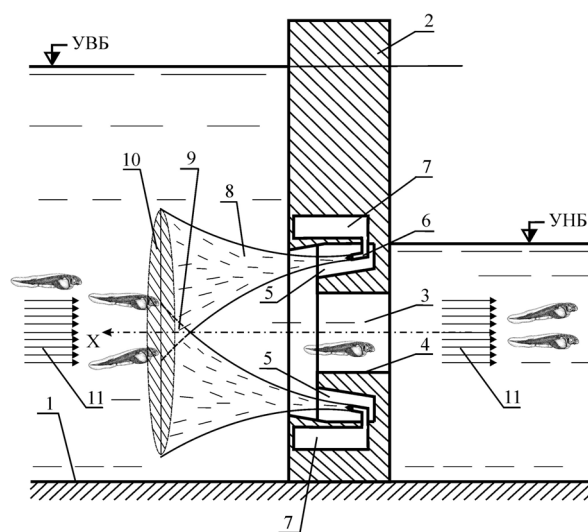


Рис. 3. Схема создания рыбоотводящего течения в рыбоходном сооружении на гидравлических струях: 1 – водосливной лоток рыбоходного тракта; 2 – поперечная разделительная стенка; 3 – рыбопропускное отверстие; 4 – потокоформирующий фартук; 5 – глухая галерея; 6 – струеобразующие насадки; 7 – раздающие коллекторы; 8 – гидравлические струи; 9 – суммарный поток; 10 – зона «частично равных давлений»; 11 – рыбоотводящее течение

Величину скорости рыбоотводящего течения необходимо назначать выше сносящих скоростей (табл.), учитывая стадию развития покатников и биологический вид молоди рыб, подлежащих пропуску через плотину гидроузла, а также гидрологическую обстановку в верхнем бьефе гидроузла. Здесь необходимо соблюдать условия безопасности прохождения молодь рыбы рыбоходного тракта и рыбопропускных отверстий рыбохода [5]. Для это-

го, кроме скоростного режима управляемого водного потока, начальную величину скорости истечения гидравлических струй из струеобразующих насадок необходимо принимать намного меньше 10 м/с. Кроме этого, конструкцией рыбопропускного отверстия (рис. 3) предусмотрено наличие потокоформирующего фартука, который защищает молодь рыбы от высокоскоростных участков гидравлических струй.

Математическая модель и экологическое обоснование предлагаемых технических решений. Гидравлические струи, истекая из струеобразующих насадок и взаимодействуя между собой, перед рыбопропускными отверстиями рыбонаправляющих устройств и рыбоходов образуют суммарный поток (рис. 1, 3). Начальную скорость суммарного потока можно определить из следующего выражения [8–11]:

$$V_{U0} = \varphi \frac{V_0 d_{0n}^{\frac{2}{3}} b_{\Sigma}^{\frac{1}{3}} n}{9,514(h_{\Sigma} - b_{\Sigma})}, \quad (1)$$

где V_{U0} – начальная скорость суммарного потока, м/с; V_0 – начальная скорость истечения гидравлических струй из струеобразующих насадок, м/с; d_{0n} – диаметр струеобразующих насадок, м; b_{Σ} – расстояние между осями гидравлических струй, м; n – число струеобразующих насадок в ряду; h_{Σ} – расстояние между плоскостями распространения гидравлических струй, м; φ – безразмерный коэффициент, определяемый опытным путём.

Для удобства использования выражения (1) на практике заменим безразмерную величину $\varphi/9,514$, стоящую в данном выражении, коэффициентом φ_{U0} , который назовём скоростным коэффициентом суммарного потока. Тогда формула для определения значения начальной скорости суммарного потока (1) примет следующий вид:

$$V_{U0} = \varphi_{U0} \frac{V_0 d_{0n}^{\frac{2}{3}} b_{\Sigma}^{\frac{1}{3}} n}{(h_{\Sigma} - b_{\Sigma})}. \quad (2)$$

В свою очередь дальность распространения U транзитного водного течения, образованного суммарным потоком, можно оценить следующей зависимостью [15]:

$$U = \left(\varphi''_U \frac{V_{U0} b_{\Sigma} n}{V_U} \right)^2, \quad (3)$$

где U – расстояние от водонепроницаемой стенки до рассматриваемого участка транзитного потока; V_{U0} – начальная скорость суммарного потока; V_U – минимальная требуемая величина транзитного потока; φ''_U – коэффициент пропорциональности, определяемый опытным путём.

Как видно из выражений (2) и (3), дальность транзитного водного течения U зависит в первую очередь от величины начальной скорости суммарного потока V_{U0} и начальных условий истечения гидравлических струй: V_{0n} , n , b_{Σ} , h_{Σ} , d_{0n} , что подтверждается и экспериментально. Минимально требуемую величину транзитного потока V_U в зависимости от рыбопривлекающего или рыбоотводящего назначения следует назначать, исходя из рекомендуемых значений (табл.). При этом начальная скорость истечения гидравлических струй из струеобразующих насадок V_0 не должна превышать 10 м/с [5].

В случае применения гидравлических струй для пропуска покатников через рыбоходные сооружения суммарный поток используют в качестве противотока основному потоку, движущемуся по рыбоходу из верхнего бьефа (рис. 3). Пропуск мигрантов в нижний бьеф гидроузла становится возможным благодаря формированию перед рыбопропускным отверстием рыбохода зоны «частично равных давлений» [8 – 11]. Математическое условие образования «зоны частично равных давлений» можно представить в следующем виде:

$$V_{U0} = \sqrt{gH}, \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; H – напор противотока, м.

Противоток обеспечивает поддержание расчётного уровня воды во внутренних камерах рыбохода путём пропуска транзитного расхода воды заданной величины через рыбопропускные отверстия, оборудованные системами струеобразующих насадок. Транзитный расход позволяет не только формировать рыбоотводящее течение заданной величины для пропуска покатников, но и выступать в качестве привлекающего течения в период нерестовых миграций, т. е. данная конструкция рыбохода может быть успешно использована как для обеспечения нерестовых, так и покатных миграций. В этом случае полученное в работе [10] выражение для определения величины скорости привлекающего рыбу потока $V_{\text{ПРИВЛЕК.}}$ может быть применимо для вычисления скорости рыбоотводящего течения $V_{\text{РЫБООТВОД. ТЕЧ.}}$:

$$V_{\text{РЫБООТВОД. ТЕЧ.}} = \varphi_{\text{П}} \sqrt{2gH - \frac{V_{U0}^2}{g}}, \quad (5)$$

где $\varphi_{\text{П}}$ – безразмерный коэффициент привлекающего рыбу потока, устанавливаемый опытным путём.

Краткие результаты экспериментальных исследований. Возможность использования на практике предлагаемых технических решений и технологий для восстановления миграционного цикла рыб на зарегулированных реках была проверена экспериментально на лабораторной модели масштабом $\lambda_L = 10$. При проведении лабораторных исследований за основной критерий гидродинамического подобия был принят критерий подобия Фруда.

Для практического применения выражения (2) нами были вычислены значения скоростного коэффициента суммарного потока φ_{U0} . Они определены для различных конфигураций расположения струеобразующих насадок и представлены в виде графических зависимостей (рис. 4).

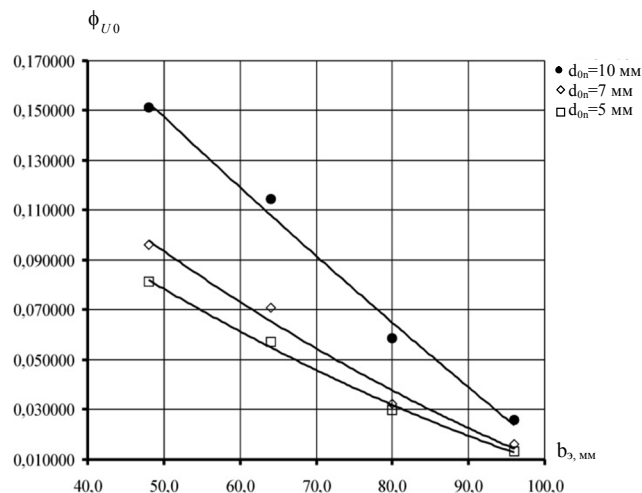


Рис. 4. График изменения величины скоростного коэффициента суммарного потока φ_{U0} от конфигурации струеобразующих насадок по периметру рыбопропускного отверстия для различных диаметров насадок d_{0n}

Анализируя графические зависимости величины начальной скорости суммарного потока V_{U0} от конфигурации струеобразующих насадок (рис. 5), полученные в ходе экспериментов, можно сделать следующие выводы:

- с увеличением расстояния между насадками b_3 величина начальной скорости суммарного потока V_{U0} будет уменьшаться;
- с увеличением диаметра насадок d_{0n} величина начальной скорости суммарного потока V_{U0} также будет увеличиваться.

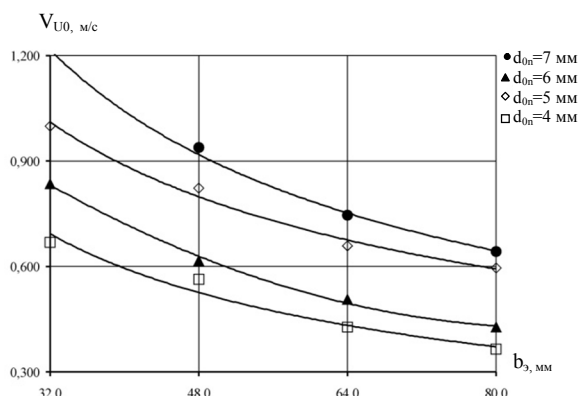


Рис. 5. Графическая зависимость величины начальной скорости суммарного потока V_{U0} от конфигурации струеобразующих насадок, полученная на модели с масштабом моделирования $\lambda=10$

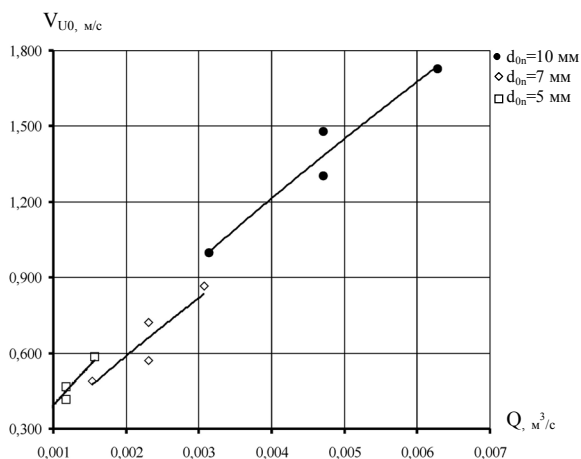


Рис. 6. Пример графической зависимости величины начальной скорости суммарного потока V_{U0} от общего расхода Q через струеобразующие насадки

Кроме того, проведенные экспериментальные исследования позволили сделать вывод о том, что на величину начальной скорости суммарного потока V_{U0} существенное влияние оказывает общий расход Q через струеобразующие насадки (рис. 6), а их размеры практически не оказывают никакого влияния.

Также в ходе проведенных экспериментов было выявлено, что факторами, существенно влияющими на значение коэффициента, привлекающего рыбу потока φ_{II} , оказались величина напора противотока H , расстояние между осями гидравлических струй b_3 , а также диаметр струеобразующих насадок d_{0n} [10, 15]. Установлено, что значение коэффициента φ_{II} колеблется в пределах 0,3...0,7 в зависимости от перечисленных выше факторов и соответственно от размеров вливающего отверстия.

Заключение. Предлагаемые технические решения и технологии их работы по организации миграционного цикла рыб в составе рыбоохранных комплексов гидроузлов позволяют приблизиться к решению ключевой проблемы восстановления естественного воспроизводства многих видов рыб на зарегулированных реках. Без решения данной проблемы невозможно бу-

дет сохранить в будущем популяции очень многих видов ценных промысловых рыб, особенно проходных и полупроходных видов. Восстановление миграционного цикла рыб на зарегулированных реках позволит поддерживать ареал обитания в границах, необходимых для выживания данного вида. Для сохранения видов, обладающих сложной популяционной структурой, на зарегулированных реках необходимо восстановить все виды миграций (покатная, нерестовая, зимовальная, нагульная кормовая и др.), образующих миграционный цикл у рыб.

С другой стороны, предлагаемые технические решения и технологии, дополняя и совершенствуя рыбоохранные комплексы гидроузлов, повышают их эффективность. Так, изложенная в данной работе технология позволит использовать рыбоходные сооружения на гидравлических струях как для обеспечения нерестовых миграций, так и покатных, что экономически очень выгодно. Кроме того, рассмотренные рыбонаправляющие устройства, являясь прямым развитием предлагаемой нами конструкции рыбохода, существенно образом повышают результативность работы РПС независимо от вида миграции, создавая при этом единый комплекс обеспечения миграций рыб на зарегулированных реках. Отличительной особенностью предлагаемых элементов данного комплекса является высокая гибкость управления их работой и соблюдение экологических требований. Смена режима работы РПС и РНУ осуществляется за счёт изменения начальной скорости истечения гидравлических струй, придавая формируемому ими транзитному водному течению рыбоотводящее или привлекающее назначение. Количество элементов, варианты их размещения на акватории гидроузла, а также порядок их работы будут зависеть от разновидности и компоновки самого гидроузла, режимов и графика его работы, вида мигрирующей рыбы, срока и типа миграции.

Список литературы

1. Редкие и исчезающие животные. Рыбы: Справ. пособие/ Д.С. Павлов, К.А. Савваитова, Л.И. Соколов и др. – М.: Высшая школа, 1994. – 334 с.
2. Иванов, А. В. Перспективы рыбохозяйственного освоения водохранилищ гидроэнергетического назначения / А. В. Иванов // Гидротехническое строительство. – 2007. – № 9. – С. 23–26.
3. Введенский, О.Г. Рыбоохранный комплекс гидроузла /О.Г. Введенский // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. –2013. – № 4. – С. 67 – 81.
4. Жизнь животных: в 6 т./ Гл. ред. В.Е. Соколов; Под. ред. Т.Е. Рассы. –М.: Просвещение, 1983. – Т.4: Рыбы. –575 с.
5. Свод правил: Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения: СП 101.13330.2012: Утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30.06.2012 №267: Срок введ. в действие 01.01.2013. – Изд. офиц. – М.: Минрегион России, 2012. – 73 с.
6. Чистяков, А.А. Конструкции рыбоходов. – Новочеркасск: Темп, 2006. –532 с.
7. Шкура, В.Н. Рыбопропускные сооружения: В 2-х ч./ В.Н. Шкура. –Новочеркасск: Новочеркасская гос. мелиоративная акад., 1998. –728 с.
8. Введенский, О.Г. Использование гидравлических струй для совершенствования технологии работы рыбоходных сооружений/ О.Г. Введенский// Гидротехническое строительство. –2009. – № 1. – С. 21 – 27.
9. Введенский, О.Г. Пути повышения эффективности работы рыбоходных сооружений в условиях циклического изменения уровней бьефов гидроузла/ О.Г. Введенский// Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 1 (8). – С. 59 – 68.
10. Введенский, О.Г. Обеспечение анадромных миграций рыб через высоконапорные гидроузлы/ О.Г. Введенский// Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. –2012. – № 2 (16). – С. 67 – 78.
11. Vvedenskii, O.G. Control of fish passage through high-head hydropower projects/ O.G. Vvedenskii// Power Technology and Engineering. –2011. – Vol. 45, № 2. – Pp. 96 – 99.
12. Пат. 2406801 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Способ пропуска молоди рыб через гидроузел при покатной миграции/ О.Г. Введенский (РФ). – Заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Марийский государственный университет». – №2009117031/21; Заявлено 04.05.2009; Опубл. 20.12.2010, Бюл. № 35. – 12 с.
13. Пат. 139149 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Рыбонаправляющее устройство/ О.Г. Введенский (РФ). – Заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Марийский государственный университет». – № 2013128125/13; Заявлено 19.06.2013; Опубл. 10.04.2014, Бюл. № 10. – 15 с.
14. Иванов, А.В. Справочник по рыбозащите для сотрудников органов рыбоохраны / А.В. Иванов. – М.: Гидропроект, 2005. – 227 с.
15. Введенский, О.Г. Распространение параллельных гидравлических струй в водном пространстве/ О.Г. Введенский; Марийск. гос. пед. ин-т. –М., 2004. –261с. – Деп. в ВИНТИ 18.06.04; № 1043.

Статья поступила в редакцию 15.10.14.

Ссылка на статью: Введенский О.Г. Организация миграционного цикла рыб в составе рыбоохранного комплекса гидроузла // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 4 (24). – С. 74-84

Информация об авторе

ВВЕДЕНСКИЙ Олег Германович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – исследование движения капельных жидкостей и возбужденных ими потоков, математическое моделирование в гидродинамике и экологии, разработка технологий использования стационарных гидравлических струй применительно к рыбоохранным комплексам гидроузлов, разработка конструкций рыбопропускных и рыбозащитных сооружений. Автор 104 публикаций, в том числе 10 учебно-методических работ, двух монографий и 34 патентов на изобретения и полезные модели.

ORGANIZATION OF FISH MIGRATION CYCLE WITHIN FISH-PROTECTIVE CONSTRUCTION OF HYDROELECTRIC COMPLEX

O. G. Vvedenskiy

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

Key words: hydroelectric complex; fish-way; spawning and downstream migration; natural fish reproduction; fish-protecting construction of hydroelectric complex; environmental action.

ABSTRACT

Introduction. Water engineering on the rivers and inland water reservoirs almost completely disturbs the conditions for fish migration. Spawning migration against the flow is stopped by the dams, which leads to termination of natural reproduction and downstream migration is resulted in fish kill in the turbines of hydro-electric power stations and water reservoirs. Besides, feeding migration is also reduced, nonmigratory fish form 2 schools instead of one — one school is formed higher the dam, another one — lower the dam. **The goal of the research** is to elaborate the activities to organize fish migration cycle in fish-protective constructions of hydroelectric complexes. The following task was set for it: significantly improve the efficiency of work of fish passing constructions and fish-directing devices, assuring downstream, spawning and other types of migration through the hydroelectric complexes regardless of the pressure on the dam of hydroelectric complexes. It is possible to find the **solution of the task at hand** in further improvement of the construction of classical fish-ways (they should be more simple in construction and similar to the natural conditions of fish habitat as high as possible). The applied for these purposes technology (usage of hydraulic jets) will let to modernize the constructions of the classical fish-ways both to efficiently pass the fish in spawning season through the dams of hydroelectric complexes and to perform high-productive downstream migration. **The offered engineering solutions.** Hydraulic jets make it possible to correct cross current in the fish-passing outlets of the fish-passing construction. In this case there is a possibility both to improve the efficiency of functioning of fish-passing constructions in the period of spawning migration and to use the fish-ways at the high-head water development and to apply the data of fish-passing construction in conditions of these hydroelectric complexes for return of fish and young fish. Besides, hydraulic jets make it possible to direct and redirect migrant fish and young fish in the desirable place of the reservoir, saving naturalness of habitat. **Experimental researches.** Possibility to use of the offered mathematical model and engineering solutions in practice to restore fish migration cycle in the regulated rivers was experimentally conducted on the example of the laboratory model ($\lambda_L = 10$ scale). In course of carrying out of the laboratory researches, Froude similarity criterion was chosen as the basic criteria of hydrodynamic similarity. **Conclusion.** The offered engineering solutions and technologies in organization of fish migration cycle, including fish-protective constructions of hydroelectric complex, make it possible to get closer to solution of the key problems to renew natural reproduction of many kinds of fishes in the regulated rivers. The offering engineering solutions and technologies, supplementing and enhancing fish-protective constructions, improve their efficiency. The described in the paper technology will allow to use the fish passing constructions on the hydraulic jets to assure spawning and down stream migration which is very economically sound. Distinctive features of the offered element of this construction is flexibility of control of the constructions and compliance of them with ecological requirements.

References

1. Pavlov D.S., Savvaitova K.A., Sokolov L.I., et al. *Redkie i ischezayushchie zhivotnye. Ryby: sprav. posobie* [Rare and Disappearing Animals. Fishes: study guide]. Moscow: Vysshaya shkola, 1994. 334 p.
2. Ivanov A. V. Perspektivy rybokhozyaystvennogo osvoeniya vodokhranilishch gidroenergeticheskogo naznacheniya [Perspectives of Fish Adaptation of Reservoirs of Hydropower Destination]. *Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo* [Water Engineering]. 2007. № 9. Pp. 23–26.
3. Vvedenskiy O.G. Rybokhrannyy kompleks gidrouzla [Fish-Protective Construction of Hydroe-

lectric Complex]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Russian Water Economy: Problems, Technologies, Management]. 2013. №4. Pp. 67-81.

4. Zhizn zhivotnykh: v 6 t.; gl. red. V.E. Sokolov; pod. red. T.E. Rassa [Animals Life: in 6 volumes; editor-in-chief - V.E. Sokolov; under the editorship of T.E. Rassa]. Moscow: Prosveshchenie, 1983. Vol.4: Fishes. 575 p.

5. Svod pravil: Podpornye steny, sudokhodnye shlyuzy, rybopropusknye i rybozashchitnye sooruzheniya: SP 101.13330.2012: Utv. prikazom Ministerstva regionalnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii (Minregion Rossii) ot 30.06.2012 №267: Srok vved. v deystvie 01.01.2013. Izd. ofits. [Rules and Regulations: Supporting Walls, Ship Locks, Fish-Passing and Fish-Protective Constructions: СП 101.13330.2012: approved by the order of the Ministry for the Regional Development of the Russian Federation of 30.06.2012 №267: compliance date 01.01.2013. official edition]. Moscow: Minregion Rossii, 2012. 73 p.

6. Chistyakov A.A. *Konstruksii rybokhodov* [Fish-Way Constructions]. Novocherkassk: Temp, 2006. 532 p.

7. Skura V.N. *Rybopropusknye sooruzheniya: v 2-kh ch.* [Fish-Passing Constructions: in 2 parts]. Novocherkassk: Novocherkassk State Ameliorative Academy, 1998. 728 p.

8. Vvedenskiy O.G. Ispolzovanie gidravlicheskikh struy dlya sovershenstvovaniya tekhnologii raboty rybokhodnykh sooruzheniy [Application for Hydraulic Jets to Improve the Technology of Fish-Passing Constructions Technology]. *Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo* [Water Engineering]. 2009. № 1. Pp. 21 – 27.

9. Vvedenskiy O.G. Puti povysheniya effektivnosti raboty rybokhodnykh sooruzheniy v usloviyakh tsiklicheskogo izmeneniya urovney befov

gidrouzla [Ways to Improve the Efficiency of Fish Passing Facilities in Conditions of Cyclical Variation of the Level of Pool of a Hydroelectric Complex]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ecologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2010. № 1 (8). Pp. 59 – 68.

10. Vvedenskiy O.G. Obespechenie anadromnykh migratsiy ryb cherez vysokonapornye gidrouzly [Ensuring of Fish Anadromous Migration through High-Head Water Development]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ecologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2012. № 2 (16). Pp. 67 – 78.

11. Vvedenskii O.G. Control of Fish Passage through High-Head Hydroprojects. *Power Technology and Engineering*. 2011. Vol. 45, № 2. Pp. 96 – 99.

12. Vvedenskiy O.G. Sposob propuska molodi ryb cherez gidrouzel pri pokatnoy migratsii [A Solution to Pass the Young Fish through a Hydroelectric Complex in Case of Downstream Migration]. Patent RF no 2406801, 2010.

13. Vvedenskiy O.G. Rybonapravlyayushchee ustroystvo [Fish-Directive Device]. Patent RF, no 139149, 2014.

14. Ivanov A.V. *Spravochnik po rybozashchite dlya sotrudnikov organov rybookhrany* [Reference Book. Fish Protection for the Workers of Fishery Protection Bodies]. Moscow: Gidroproekt, 2005. 227 p.

15. Vvedenskiy O.G. Rasprostranenie parallelnykh gidravlicheskikh struy v vodnom prostranstve [Circulation of the Parallel Hydraulic Jets in Water]. *Moskovskiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy institut* [Moscow State Pedagogical Institute]. Moscow, 2004. 261p.

The article was received 15.10.14.

Citation for an article: Vvedenskiy O.G. Organization of fish migration cycle within fish-protective construction of hydroelectric complex. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2014. No 4 (24). Pp. 74-84.

Information about the author

VVEDENSKIY Oleg Germanovich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Chair of Engineering Constructions and Water Supply, Volga State University of Technology. Research interests – study of movement of liquids and streams, mathematic simulation in hydrodynamics and ecology, elaboration of the technologies for the usage of static hydraulic jets for the purposes of fish-protecting devices of hydroelectric complexes, elaboration of fish-passing and fish-protective constructions. The author of 104 publications, including 10 study guides, two monographs and 34 patents for invention.

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

УДК 630*2

О РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ

Д. И. Мухортов, Т. В. Нуреева, А. В. Ушнурцев

Поволжский государственный технологический университет,

Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

E-mail: muhortovdi@volgatech.net

Рассмотрены вопросы научной деятельности кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии в области разработки новых технологий искусственного лесовосстановления. Затронуты проблемы адаптации зарубежных технологий получения посадочного материала с закрытой корневой системой и создания лесных культур с их использованием в Российской Федерации. Показаны наиболее значимые разработки коллектива кафедры и перспективы дальнейшего научного поиска в области искусственного лесовосстановления и плантационного лесовыращивания.

Ключевые слова: научные исследования; выращивание сеянцев; создание лесных культур; закрытая корневая система; ручные устройств для посадки.

Работы по искусственному лесовосстановлению после принятия Лесного кодекса в 2006 году выполняются арендаторами и организациями на конкурсной основе. Существует потребность в разработке региональных нормативно-технических документов, регламентирующих производство работ по искусственному лесовосстановлению. Это привело к упрощению разработанных ещё в Советском Союзе технологий по созданию лесных культур с существенным снижением уровня механизации. Все эти факторы, а также недостаток финансирования привели к уменьшению заинтересованности организаций, выполняющих лесокультурные работы, в конечном результате – выращиванию устойчивых древостоев высокой производительности.

Между тем, в Российской Федерации большое внимание уделяется внедрению новых зарубежных технологий искус-

ственного лесовосстановления, в частности, получению и использованию для создания лесных культур сеянцев с закрытой корневой системой (ЗКС). Для этих целей в России было построено несколько крупных капиталоёмких тепличных лесопитомнических комплексов скандинавского производства. К сожалению, технологии, полученные из-за рубежа, у нас в стране не нашли широкого распространения из-за особенностей природно-климатических условий, недостаточной подготовки кадров, инерционного мышления работников лесного хозяйства. Но самым главным, по нашему мнению, препятствием к их широкому внедрению является отсутствие импортозамещающих орудий и расходных материалов, адаптированных к самым разнообразным природно-климатическим условиям России.

На кафедре лесных культур, селекции и биотехнологии Поволжского государст-

венного технологического университета исследования по данному направлению проводятся с конца прошлого столетия. За этот период были разработаны рекомендации российского и регионального уровня в области выращивания посадочного материала в контейнерах с использованием опыта применения субстратов местного производства, более дешёвого и не уступающего по своим свойствам зарубежным аналогам. Многие разработки защищены патентами на изобретения и полезную модель [1–3].

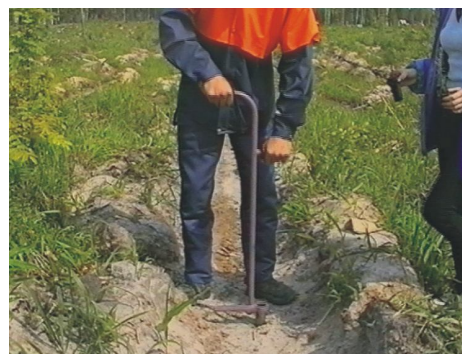
Эффективность искусственного восстановления леса во многом определяется качеством посадки. В настоящее время технология создания лесных культур на вырубках предусматривает либо механизированную посадку семян с открытой корневой системой, либо ручную с использованием меча Колесова, сконструированного более 100 лет назад учёным-лесоводом из г. Харькова А. Колесовым [4]. Обращение с этим инструментом требует определённых навыков и физических усилий, а привлечение необученных работников приводит к снижению качества заделки корневой системы и, как следствие, к ухудшению приживаемости и усыханию значительной части высаженных растений. Использование меча Колесова для посадки семян с закрытыми корнями приводит к потере преимуществ данного вида посадочного материала, в частности, сокращению периода послепосадочной депрессии.

В странах Скандинавии для посадки семян с ЗКС широко используется посадочное устройство «Поттипутки» (рис.1) . При всех положительных характеристиках этого инструмента у него имеется ряд недостатков. К ним можно отнести сложность использования на тяжёлых почвах, сложность конструкции, высокая стоимость. При посадке корневая система часто деформируется, и это отражается на дальнейшем росте растений в культурах. Кроме того, в условиях часто возникающих весенних засух при посадке особое внимание необходимо уделять заделке корневой системы семян почвой с субстратом, что невозможно достичь при посадке «Поттипуткой».

На кафедре лесных культур, селекции и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет» совместно с мордовскими лесоводами разработано ручное устройство для образования лунок – «РУДОЛ» [2]. Это специальный инструмент, созданный для посадки контейнерных семян. По своим характеристикам он существенно отличается от меча Колесова и «Поттипутки» (см. табл.). Это устройство несложно в изготовлении и имеет ряд преимуществ для применения в условиях Российской Федерации, не требует от рабочих особых практических навыков и физической силы при выполнении посадки. Инструмент «РУДОЛ» может быть с успехом использован как на лёгких, так и на тяжёлых почвах, даже при отсутствии её обработки.



а)



б)

Рис. 1. Ручные инструменты для посадки семян: а) финское посадочное устройство «Поттипутки»; б) ручное устройство для образования лунок «РУДОЛ»

Технические характеристики ручных устройств для посадки

Тип устройства	Поттипутки	Меч Колесова	РУДОЛ
Высота, см	93	80-120	106
Масса, кг	3,0	6,0	2,5
Количество рабочих, чел.	1	2	1
Производительность в смену (8 часов) на одного рабочего, штук пос. мест	1000–1500	600–900	2000–2500

Сравнение данного устройства с традиционными и зарубежными аналогами показало, что оно превосходит их как по техническим характеристикам и производительности, так и более качественной заделке корневых систем. При этом важным фактором является идентичность внутреннего размера ячейки контейнера и внешнего размера бура «РУДОЛ». Это предотвращает деформацию корневой системы посадочного материала и, как следствие, увеличивает ростовые показатели, приживаемость и сохранность лесных культур (рис. 2).

В процессе многолетних испытаний ручного устройства для образования лунок установлено, что технологическая себестоимость создания искусственных насаждений сосны в условиях боров, суборей и сураменей уменьшается на 35 % в сравнении с применением традиционных видов ручных посадочных орудий. Для

широкого внедрения РУДОЛ необходимо наладить его серийное производство, а в перспективе требуется разработка и внедрение в производство агрегатной машинной техники для посадки семян с закрытой корневой системой на вырубках.

В настоящее время кафедра продолжает свои научные изыскания в данном направлении, активно сотрудничает с коллективами смежных технических факультетов университета. Одним из новых направлений, связанных с искусственным восстановлением лесов и плантационным лесовыращиванием, является размножение растений в культуре *in vitro* с получением элитного посадочного материала.

Всем заинтересованным лицам, осуществляющим лесовосстановление сеянцами с закрытой корневой системой, можно заказать это орудие непосредственно у правообладателя – Поволжского государственного технологического университета.

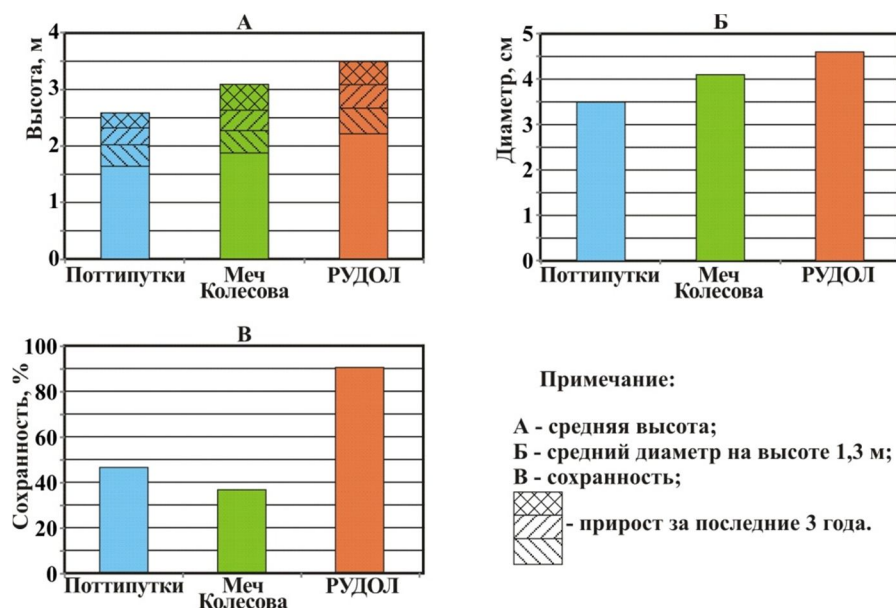


Рис. 2. Показатели роста 10-летних лесных культур сосны обыкновенной при использовании различных ручных устройств при посадке (Чернушкинский лесной участок УОЛ ПГТУ, кв. 25, выдел 10).

Список литературы

1. Пат. 2195813 Российская Федерация, МПК⁷ A01G23/00. Способ выращивания сеянцев с закрытой корневой системой / Е.М. Романов, И.И. Митякова, Д.И. Мухортов, А.В. Ушнурцев, Ю.Н. Гагарин. – Заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Марийский государственный университет». – № 2001106890/13; заяв. 13.03.2001; опубл. 10.01.2003; приоритет 13.03.2001.
2. Пат. 2202871 Российская Федерация, МПК⁷ A01C5/02, A01B1/00. Ручное устройство для образования лунок под посадку контейнеризированных сеянцев / Е.М. Романов, А.Е. Самосудов, А.В. Ушнурцев, Ю.Н. Гагарин. – Заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Марийский государственный университет». – № 2001131976/13; заяв. 26.11.2001; опубл. 27.04.2003; приоритет 26.11.2001.
3. Пат. 68233 Российская Федерация: A01G23/00 A01G9/00. Контейнер для выращивания однолетних сеянцев с закрытой корневой системой / Е.М. Романов, А.В. Ушнурцев, Ю.Н. Гагарин. – Заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Марийский государственный университет». – № 2006109841/12; заяв. 27.03.2006; опубл. 27.11.2006; приоритет 27.03.2006.
4. Ковалев, М.С. Выращивание саженцев в контейнерах, их применение при создании лесных культур. – Л: ЛенНИИЛХ, 1979. – С. 18-19.

Статья поступила в редакцию 30.10.14.

Сведения об авторах

МУХОРТОВ Дмитрий Иванович – доктор сельскохозяйственных наук, исполняющий обязанности заведующего кафедрой лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – применение органических отходов при лесовосстановлении. Автор 100 публикаций.

E-mail: muhortovdi@volgatech.net

НУРЕЕВА Татьяна Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление, плантационное лесовыращивание. Автор 60 публикаций.

E-mail: nureevav@volgatech.net

УШНУРЦЕВ Алексей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление, выращивание сеянцев с закрытой корневой системой. Автор 60 публикаций.

E-mail: ushnurcevav@volgatech.net

ON ELABORATION OF NEW TECHNOLOGIES OF ARTIFICIAL FOREST REGENERATION

D. I. Mukhortov, T. V. Nureeva, A. V. Ushnurtsev

Volga State University of Technology,
3, Pl. Lenina, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: muhortovdi@volgatech.net

Research activity of the members of the Chair of Forest Plantations, Selection and Biotechnology in the field of elaboration of new technologies for artificial forest regeneration were considered. The problem of adaptation of foreign technologies in cultivation of containerized planting material and establishment of forest plantations in the Russian Federation were mentioned. The most important elaborations of the members of the chair and the perspectives for the scientific search in the sphere of artificial forest regeneration and plantations cultivation were offered.

Key words: research activities; seedlings cultivation; new plantations establishment; containerized root system; tools for planting.

REFERENCES

1. Romanov E.M., Mityakova I.I., Mukhortov D.I., Ushnurtsev A.V., Gagarin Yu.N. Sposob vyrashchivaniya seyantsev s zakrytoy kornevoy sistemoy [A Way for Containerized Seedlings Cultivation]. Patent RF, no 2195813 RF, 2003.
2. Romanov E.M., Samosudov A.E., Ushnurtsev A.V., Gagarin Yu.N. Ruchnoe ustroystvo dlya obrazovaniya lunok pod posadku konteynerizirovannykh seyantsev [A Tool for Holes Formation for Containerized Seedlings]. Patent RF, no 2202871, 2003.
3. Romanov E.M., Ushnurtsev A.V., Gagarin Yu.N. Konteyner dlya vyrashchivaniya odnoletnikh seyantsev s zakrytoy kornevoy sistemoy [Container for Cultivation of One Year Old Seedlings with Containerized Root System]. Patent RF, no 68233, 2006.
4. Kovalev M.S. Vyrashchivanie sazhentsev v konteynerakh, ikh primeneniye pri sozdaniy lesnykh kultur [Seedlings Cultivation in Containers, Application of These Seedlings for Plantations Establishment]. Leningrad: LenNIILKH, 1979.

The article was received 30.10.14.

Information about the author

MUKHORTOV Dmitry Ivanovich – Doctor of Agricultural Sciences, acting as the Head at the Chair of Forest Plantations, Selection and Biotechnology, Volga State University of Technology. Research interests – usage of organic wastes usage in forest regeneration. The author of 100 publications. E-mail: mukhortovdi@volgatech.net

NUREEVA Tatiana Vladimirovna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Forest Plantations, Selection and Biotechnology, Volga State University of Technology. Research interests – artificial forest regeneration, forest cultivation. The author of 60 publications. E-mail: nureevatv@volgatech.net

USHNURTSEV Alexey Vladimirovich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Forest Plantations, Selection and Biotechnology, Volga State University of Technology. Research interests – artificial forest regeneration, cultivation of seedlings with containerized root system. The author of 60 publications. E-mail: ushnurcevav@volgatech.net

УКАЗАТЕЛЬ МАТЕРИАЛОВ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ
В ЖУРНАЛЕ В 2014 ГОДУ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, С. А. Денисов, В. Л. Черных. Многомерная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по выходу семян из шишек

Ю. П. Демаков, А. В. Исаев, В. Л. Черных. Эколого-ресурсный потенциал древостоев лесообразующих пород Среднего Поволжья

К. В. Дорохов, В. П. Шелуха. Изменение видового состава и популяционной структуры почвенной мезофауны в результате низовых пожаров и рубок леса

М. В. Ермакова. Особенности структуры подрастающей сосны в условиях ненарушенных и слабонарушенных лесных фитоценозов Среднего Урала

А. В. Жигунов, Д. А. Шабунин, О. Ю. Бутенко. Лесные плантации триплоидной осины, созданные посадочным материалом *in vitro*

Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев, А. В. Губаев, С. А. Лежнин, Ю. А. Полевщикова, Е. Н. Демишева. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat

В. Л. Мешкова. Достижения и задачи защиты леса в Украине

В. В. Пахучий, Л. М. Пахучая. Опыт использования вегетационных индексов при комплексных исследованиях на объектах гидролесомелиорации

А. И. Писаренко. Защитные леса и защитное лесоводство в устойчивом лесопользовании

М. В. Почитаева, М. Д. Иглаев. Повышение эффективности профилактики лесных пожаров

М. В. Рогозин, А. М. Голиков, Г. С. Разин. О выращивании леса на сухих почвах: теоретические подходы

М. В. Устинов, М. М. Устинов. Ресурсно-экологическое районирование лесов Брянской области

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ
ЛЕСНОГО ДЕЛА

Д. А. Корепанов, В. Ю. Романов, Е. А. Васенев, С. И. Нигматуллин. Установка для повышения посевных качеств семян длинноволновым ультрафиолетовым облучением

А. Ю. Мануковский, Д. А. Макаров. Исследование процессов гидродинамики «тормоза-стабилизатора»

LIST OF MATERIALS
PUBLISHED
IN THE JOURNAL IN 2014

FORESTRY

N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov, S. A. Denisov, V. L. Chernykh. Multidimensional assessment of plus trees of scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) on seed yield from cones

Yu. P. Demakov, A. V. Isaev, V. L. Chernykh. Stands ecological and resource potential of forest forming species in the Middle Volga region

K. V. Dorokhov, V. P. Shelukho. Change of species composition and population structure of soil mesofauna caused by creeping fires and timber felling

M. V. Yermakova. Peculiarities of structure of scotch pine young growths in the conditions of virgin and lightly disturbed forest communities in Middle Urals

A. V. Zhigunov, D. A. Shabunin, O. Yu. Butenko. Triploid aspen forest plantations of *in vitro* planting material

E. A. Kurbanov, O. N. Vorobyev, A. V. Gubayev, S. A. Lezhnin, Y. A. Polevshikova, E. N. Demisheva. Four decades of forest research with the use of landsat images

V. L. Meshkova. Advance and tasks of forest protection in the Ukraine

V. V. Pakhuchiy, L. M. Pakhuchaya. Experience of vegetation indices use for complex researches on the objects of hydro and forest amelioration

A. I. Pisarenko. Protective forests and protective forestry in sustainable forest management

M. V. Pochitaeva, M. D. Iplaev. Efficiency improvement of forest fire control

M. V. Rogozin, A. M. Golikov, G. S. Razin. On forest cultivation in dry soil lands: theoretical approach

M. V. Ustinov, M. M. Ustinov. Resource and ecological zoning of forests in Bryansk oblast

FORESTRY TECHNOLOGIES
AND MACHINES

D. A. Korepanov, V. Yu. Romanov, E. A. Vasenev, S. I. Nigmatullin. A device for improvement of sowing qualities of seeds with the help of longwave uv irradiation

A. Yu. Manukovskiy, D. A. Makarov. The «brake – stabilizer» hydrodynamic processes study

Е. Ю. Салдаева, Е. М. Цветкова. Предварительное диагностирование прочностных свойств древесины по показателю динамического модуля упругости вибрационным способом

С. А. Угрюмов, А. С. Свешников. Оценка адгезионной прочности и межфазного взаимодействия в структуре фанеры с внутренними слоями из древесно-клеевой композиции

С. А. Угрюмов, А. В. Шеин. Оценка прочности армированной композиционной фанеры

Е. М. Царев, Е. М. Онучин, А. В. Кренев. Расширение функциональных возможностей автоматизированных манипуляторов самоходных лесных машин

А. Н. Чемоданов, Ю. А. Горинов, Р. Г. Сафин, С. Я. Алибеков. Применение арболита в качестве теплоизоляционно-балластного материала подводных трубопроводов централизованного теплоснабжения

Ю. А. Ширнин, А. Ю. Ширнин. Пути решения проблем лесозаготовок в экстремальных условиях

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. БИОТЕХНОЛОГИИ

Т. В. Баранова, Е. А. Николаев. Биологические особенности рода *Junglans* L. в условиях Центрального Черноземья

О. Г. Введенский. Организация миграционного цикла рыб в составе рыбоохранного комплекса гидроузла

Н. Н. Гаврицкова. Структура микобиоты в рекреационных лесах Республики Марий Эл

В. Н. Карасев, М. А. Карасева, Н. Е. Серебрякова, С. М. Лазарева. Эколого-физиологическая оценка адаптации хвойных интродуцентов в Среднем Поволжье

Д. В. Кочкин, Е. С. Суханова, А. М. Носов. Закономерности накопления тритерпеновых гликозидов в цикле выращивания суспензионной культуры клеток *Polyscias fruticosa*

Д. В. Кочкин, Е. С. Суханова, Р. В. Сергеев, А. М. Носов. Тритерпеновые гликозиды культур клеток *Polyscias* spp.

Т. Н. Криворотова, О. В. Шейкина. Генетическая структура лесосеменных плантаций и насаждений сосны обыкновенной в Среднем Поволжье

С. В. Мухаметова, С. М. Лазарева. Сезонный ритм развития видов боярышника, интродуцированных в Республику Марий Эл

Л. В. Орлова, Е. Б. Глоба, Н. Д. Черняк, Е. В. Демидова, М. В. Титова, А. Е. Соловченко, Р. В. Сергеев, А. М. Носов. Рост и биосинтетические характеристики суспензионной культуры *Taxus Baccata* при выращивании в колбах и биореакторе

E. Yu. Saldaeva, E. M. Tsvetkova. Preliminary diagnosis of strength properties of wood by dynamic modulus of elasticity (vibrating manner)

S. A. Ugrumov, A. S. Sveshnikov. Evaluation of adhesion strength and interphase interaction in plywood structure with internal layers of wood-adhesive composition

S. A. Ugryumov, A. V. Shein. Assessment of the reinforced composite plywood strength

E. M. Tsarev, E. M. Onuchin, A. V. Krennev Expansion of functionality of the automated manipulators of forest complex

A. N. Chemodanov, Yu. A. Gorinov, R. G. Safin, S. Ya. Alibekov. Usage of wood concrete as thermal insulation-ballast material of underwater pipelines of the centralized heating system

Yu. A. Shirnin, A. Yu. Shirnin. Ways of solution of timber harvesting problems in extreme conditions

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE MANAGEMENT. BIOTECHNOLOGIES.

T. V. Baranova, E. A. Nikolaev. Biological characteristics of the *Junglans* L. genus in the Central black Earth region

O. G. Vvedenskiy. Organization of fish migration cycle within fish-protective construction of hydroelectric complex

N. N. Gavritskova. Micobiota structure in recreational forests of Mari El Republic

V. N. Karasev, M. A. Karaseva, N. E. Serebryakova, S. M. Lazareva. Ecological and physiological assessment of adaptation of the introduced plants (coniferous trees) in the Middle Volga region

D. V. Kochkin, E. S. Sukhanova, A. M. Nosov. Their accumulation of triterpene glycosides in the growing cycle cell suspension cultures *Polyscias fruticosa*

D. V. Kochkin, E. S. Sukhanova, R. V. Sergeev, A. M. Nosov. Triterpene glycosides of *Polyscias* spp. cell cultures

T. N. Krivorotova, O. V. Sheikina. Genetic structure of seed orchards and natural stands of pinus sylvestris in the Middle Volga region

S. V. Mukhametova, S. M. Lazareva Seasonal rhythm of introduced hawthorn species development in Mari El Republic

L. V. Orlova, E. B. Globa, N. D. Chernyak, E. V. Demidova, M. V. Titova, A. E. Solovchenko, R. V. Sergeev, A. M. Nosov. Growth and bioartificial characteristics of *Taxus Baccata* suspension culture (cultivation in flasks and bioreactor)

Е. С. Суханова, Д. В. Кочкин, М. В. Титова, Р. В. Сергеев, А. М. Носов. Разработка экспресс-системы определения биологической активности тритерпеновых гликозидов с использованием теста по прорастанию пыльцевых зёрен табака

2

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

И. А. Алексеев, Ю. Г. Мальков, Н. Е. Серебрякова. Юбилей учёного-лесоведа (Виктору Ильичу Пчелину – 85 лет)

2

И. П. Курненко, В. Л. Черных. Памяти выдающегося учёного лесной науки Павла Максимовича Верхунова (26 мая 1929 – 21 марта 2008) Международная научно-практическая конференция «Размножение лесных растений в культуре in vitro как основа плантационного лесовыращивания»

1

Д. И. Мухортов, Т. В. Нуреева, А. В. Ушнурцев. О разработке новых технологий искусственного лесовосстановления

3

4

E. S. Sukhanova, D. V. Kochkin, M. V. Titova, R. V. Sergeev, A. M. Nosov. Development of express-system of bioactivity determination of triterpenoid glycosides with the help of the test on germination of pollen-grains of an indian weed

DATES. EVENTS. COMMENTS

I. A. Alekseev, Yu. G. Malkov, N. E. Serebryakova. An anniversary of a scientist in forestry (Victor Ilyich Pchelin is 85 years old)

I. P. Kurnenkova, V. L. Chernykh. In memory of outstanding scholar in forestry Pavel Maximovich Verkhunov (26 May 1929 – 21 March 2008) International research and Practical Conference «Reproduction of Forest Plants in vitro as a Basis for Planted Forest Cultivation»

D. I. Mukhortov, T. V. Nureeva, A. V. Ushnurtsev. On elaboration of new technologies of artificial forest regeneration

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

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

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

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

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

Статья должна содержать только оригинальный материал, отражающий результаты завершенных 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 A4. 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.

Авторское резюме должно излагать существенные факты работы, и не должно преувеличивать или содержать материал, который отсутствует в основной части публикации.

Структура резюме должна повторять структуру статьи и включать введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы).

Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и данным долгосрочного значения, важным открытиям, выводам, которые опровергают существующие теории, а также данным, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье.

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте авторского резюме.

Следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...»). Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в авторском резюме не приводятся.

В тексте авторского резюме следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, избегать сложных грамматических конструкций.

В тексте авторского резюме следует применять значимые слова из текста статьи.

Текст авторского резюме должен быть лаконичен и четок, свободен от второстепенной информации, лишних вводных слов, общих и незначащих формулировок.

Текст должен быть связным, разрозненные излагаемые положения должны логично вытекать одно из другого.

Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных, применяют в исключительных случаях или дают их расшифровку и определения при первом употреблении в авторском резюме.

В авторском резюме не делаются ссылки на номер публикации в списке литературы к статье.

Можно использовать техническую (специальную) терминологию вашей дисциплины, четко излагая свое мнение, имея также в виду, что вы пишете для международной аудитории.

Текст должен быть связным с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» и т.д. («consequently», «moreover», «for example», «the benefits of this study», «as a result» etc.), либо разрозненные излагаемые положения должны логично вытекать одно из другого.

Необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т.е. "The study tested", но не "It was tested in this study" (частая ошибка российских аннотаций).

Формулы и отдельные символы набираются с использованием редакторов формул Microsoft Equation или Math Type (не вставлять формулы из пакетов MathCad и MathLab, а также не следует использовать стандартную вставку математических формул или построение собственных формул с помощью библиотеки математических символов).

Иллюстрации. Схемы, графики, диаграммы и т.п. принимаются только в векторных форматах (Word, Excel, Visio, CorelDraw, Adobe Illustrator и др.). Графический материал принимается только в черном-белом изображении, должен быть четким и не требовать перерисовки. Графики должны выделяться линиями разного стиля (**не делать их цветными**) или отмечаться цифрами. Фотографии и скриншоты должны выполняться в растровых форматах (tiff, bmp, png и др.) достаточного расширения (300 dpi) и четкости.

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;
- рекомендация кафедры;
- экспертное заключение о возможности опубликования;
- рекомендация научного руководителя (для аспирантов и соискателей).

Материалы, не соответствующие вышеуказанным требованиям, не рассматриваются.

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

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

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

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