



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

ВЕСТНИК

3(23)
2014

июль – сентябрь

ПОВОЛЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный журнал

Издаётся с ноября 2007 года

Выходит четыре раза в год

СЕРИЯ «Лес. Экология. Природопользование»

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

Учредитель и издатель:

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»

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

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

Адрес редакции:

424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Тел. (8362) 68-78-46, 68-28-41

Факс (8362) 41-08-72

E-mail: vestnik@volgatech.net

Редактор *Т. А. Рыбалка*

Дизайн обложки *Л. Г. Маланкина*

Компьютерная верстка

А. А. Кислицын

Перевод на английский язык

М. А. Шалагина

Подписано в печать 30.09.14.

Формат 60×84 ¹/₈. Усл. п. л. 11,6.

Тираж 500 экз. Заказ

Дата выхода в свет: 07.10.14.

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

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

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

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

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

Редакционная коллегия

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

(*зам. гл. редактора*)

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

(Нижний Новгород)

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

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

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

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

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

(*отв. секретарь*)

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

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

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

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

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

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

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

VESTNIK

3(23)

2014

july– september

OF VOLGA STATE UNIVERSITY

OF TECHNOLOGY

Academic Periodical

Has been published since 11, 2007

Is issued 4 times a year

Series «Forest. Ecology. Nature Management»

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

Founder and Publisher:

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

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

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

Address:

424000, Yoshkar-Ola, 3, Lenin Square

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

Fax (8362) 41-08-72

E-mail: vestnik@volgatch.net

Editor *T. A. Rybalka*

Cover design *L. G. Malankina*

Computer assisted make up

A. A. Kislitsyn

Translation

M. A. Shalagina

Passed for printing 30.09.14.

format 60×84 1/8. No. of press sheets 11,6.

Printing run 500 copies. Order No

Release date: 07.10.14.

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 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, van den Bosch, Doctor in Science in forest
policy and economics from the University of Joensuu (Finland), Profes-
sor (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

- М. В. Rogozin, А. М. Golikov, Г. С. Razin.** О выращивании леса на сухих почвах: теоретические подходы
5
- М. В. Устинов, М. М. Устинов.** Ресурсно-экологическое районирование лесов Брянской области
18

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ
ЛЕСНОГО ДЕЛА

- Е. М. Царев, Е. М. Онучин, А. В. Кренин.** Расширение функциональных возможностей автоматизированных манипуляторов самоходных лесных машин
31
- А. Н. Чемоданов, Ю. А. Горинов, Р. Г. Сафин, С. Я. Алибеков.** Применение арболита в качестве теплоизоляционно-балластного материала подводных трубопроводов централизованного теплоснабжения
43
- А. Ю. Мануковский, Д. А. Макаров.** Исследование процессов гидродинамики «тормоза-стабилизатора»
57

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ.
БИОТЕХНОЛОГИИ

- Н. Н. Гаврицкова.** Структура микобиоты в рекреационных лесах Республики Марий Эл
67
- Т. В. Баранова, Е. А. Николаев.** Биологические особенности рода *Junglans* L. в условиях Центрального Черноземья
78
- 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
86

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

- Международная научно-практическая конференция «Размножение лесных растений в культуре in vitro как основа плантационного лесовыращивания»
98
- Информация для авторов
100

CONTENTS

FORESTRY

- M. V. Rogozin, A. M. Golikov, G. S. Razin.** On forest cultivation in dry soil lands: theoretical approach
5
- M. V. Ustinov, M. M. Ustinov.** Resource and ecological zoning of forests in Bryansk oblast
18

FORESTRY TECHNOLOGIES
AND MACHINES

- E. M. Tsarev, E. M. Onuchin, A. V. Krenen.** Expansion of functionality of the automated manipulators of forest complex
31
- A. N. Chemodanov, Yu. A. Gorinov, R. G. Saфин, S. Ya. Alibekov.** Usage of wood concrete as thermal insulation-ballast material of underwater pipelines of the centralized heating system
43
- A. Yu. Manukovskiy, D. A. Makarov.** The «brake – stabilizer» hydrodynamic processes study
57

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL
NATURE MANAGMENT.
BIOTECHNOLOGIES

- N. N. Gavritskova.** Micobiota structure in recreational forests of Mari El Republic
67
- T. V. Baranova, E. A. Nikolaev.** Biological characteristics of the *Junglans* L. genus in the Central black Earth region
78
- 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 bio-reactor)
86

DATES. EVENTS. COMMENTS

- International research and Practical Conference «Reproduction of Forest Plants in vitro as a Basis for Planted Forest Cultivation»
98
- Information for the authors
100

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 582.47: 630*232.1: 630.5(075): 630*165.3

О ВЫРАЩИВАНИИ ЛЕСА НА СУХИХ ПОЧВАХ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

М. В. Рогозин¹, А. М. Голиков², Г. С. Разин¹

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Российская Федерация, 614990, Пермь, ул. Генкеля, 4
E-mail: rog-mikhail@yandex.ru

²Центр защиты леса Новгородской области,
Российская Федерация, 173008, Великий Новгород, ул. Б.Санкт-Петербургская, 81, корп.2
E-mail: toly.golikov@yandex.ru

Проанализированы работы, раскрывающие тенденции естественного отбора у древесных растений в культурах в разных условиях с разной густотой. Изменения в генетической структуре, в наследуемости и в динамике различных признаков использованы в попытке выстроить логическую модель развития деревьев и древостоев в условиях, близких к экстремальным. Анализ работ показал, что в развитии древостоев возникает критический период, после которого почти невозможно изменить ход их развития, поэтому крайне важно начинать регулировать густоту культур и естественных молодняков задолго до наступления максимумов полноты, сомкнутости полога, сомкнутости крон и прироста; чем раньше эта работа будет осуществлена, тем продуктивнее окажется древостой и тем дольше будет период его интенсивного роста.

Ключевые слова: древостой; развитие; модели; плотность популяции; генотипическая структура; потомство; наследуемость; сухие почвы.

Введение. В лесном фонде сухие лесные почвы достаточно чётко определимы по целому ряду классифицирующих признаков, что обычно не вызывает сомнений. Периодически на них случаются катастрофические пожары и возникает масса проблем с их облесением [1], которые усугубляют и без того тревожное положение в современном лесовосстановлении [2].

Обычно при создании культур здесь добиваются быстрейшего смыкания крон и посадки создают густыми, так как редкие культуры заселяет майский хрущ, посадки погибают и гари остаются в категории не покрытых лесом земель десятки лет. В Пермском крае в Оханском лесни-

честве известны многие места пожаров 1937–1939 гг., которые 60 лет оставались пустырями, несмотря на многократные посадки культур.

Установлено, что здесь под действием естественного отбора формируется специфичная диссимметрическая и генотипическая структура популяций сосны обыкновенной, сохраняющаяся в потомстве [3–5]. Поэтому становится всё более очевидно, что успешное лесовосстановление в экстремальных экологических условиях возможно только за счёт полного соответствия эдафических условий родительских и дочерних насаждений. Не исключено, что в природных популяциях

сосны, произрастающих на сухих почвах, в результате направленного отбора могли появиться генотипы, наиболее адаптированные не только к экстремальным экологическим условиям произрастания, но и устойчивые к повреждению личинками майского хруща.

Массовое изучение более чем 1400 выделов естественных и искусственных насаждений сосны при анализе лесного фонда семи лесничеств Среднего Поволжья [2] показало, что в моделях зависимости запаса стволовой древесины в 100-летнем возрасте в условиях А₂, В₂, С₂ нормированные запасы в искусственных лесах были выше, чем в естественных, в среднем на 11,8–17,2 %, с фактическими различиями на 7,9–49,2 %. Однако в сухих условиях А₁ фактические различия исчезали, а нормированный запас лесных культур оказывался даже ниже на 4,5 %. На наш взгляд, данный факт требует своего объяснения с теоретических позиций.

Особенно важен опыт облесения гарей на сухих почвах и удачные варианты культур. В частности, на гарях 1972 года наряду с обычной посадкой рядов культур через 1,2–4,0 м [1] применяли нестандартную схему с попарно сближенными рядами, с расстоянием между ними иногда до 7–9 м. Спустя 35 лет они выгодно отличались от равномерных культур [6], и это отметили участники конференции «Лесовосстановление в Поволжье: состояние и задачи по совершенствованию», проведенной в 2013 году. Вместе с тем, онтогенез растений в таких двоянных рядах весьма необычен, поэтому важен прогноз их возможной эволюции, поскольку результаты выращивания подобных культур ограничены вторым классом возраста, т.е., по существу, это ещё молодняки. Представляется важным для определения стратегии ухода за ними, а также для новых опытов на уже современных гарях, проследить механизм развития таких посадок в древостой с теоретических позиций, известных в настоящее время по ряду работ.

Рассмотрим и обсудим рост таких необычных культур, привлекая исследования известных учёных.

После успешной посадки, например, двоянных рядов через 1,2 м, а в ряду между растениями через 0,6 м, спустя 7–10 лет смыкаются растения в рядах, а через 3–5 лет смыкаются и ряды. Растения используют ресурсы среды далеко за пределами рядов, и получается тип аллейных посадок, в которых появляются биогруппы из наиболее развитых деревьев. Такие близкие к линейному типу биогруппы в естественных лесах возникают редко; обычно они образуются вначале как скопления подроста и в 8–10 лет среди них выделяются лидеры и аутсайдеры, долго сохраняющие свой ранговый статус [7]. Групповой характер их появления противоречит конкурентной парадигме взаимоотношений между растениями одного вида и свойственен всем насаждениям. В связи с этим активно обсуждается концепция о приуроченности лидеров к благоприятным «биологически активным зонам» [8–10]. Доказаны и негативные последствия удаления одного из 2–3 лидеров биогруппы [11–13].

Однако дело ещё и в том, **какие** по генотипу дерева имеют возможность формировать такие плотные биогруппы. В них непростые конкурентные отношения [11], и появились подходы, объясняющие их с весьма неожиданной стороны. В раскрытии механизмов гомеостаза популяций из множества морфологических признаков особый интерес представляет явление диссимметрии. Этот подход становится одним из новейших направлений в биологии [14–16]. Наиболее весомый вклад в её изучение внёс А.В.Хохрин [17]. Он выделил новую форму изменчивости, обусловленную левизной–правизной филлотаксиса, которая проявляется на морфологическом уровне в строении побегов и шишек и любая популяция вида с моноподиальным типом ветвления двойственна и состоит из левых и правых изопопуляций.

Цель работы – анализ опытных лесных культур и моделей их развития, отличающихся начальной густотой и условиями увлажнения почвы, которые привели к различиям в генотипической структуре, в качестве потомства, к различиям в ходе роста древостоев.

Задача исследования – разработка логической модели развития древостоя применительно к сухим песчаным почвам для прогнозирования развития древостоев до спелого возраста.

Материалы и методика. Для решения поставленной задачи использован сравнительный анализ данных, полученных авторами в градиентах увлажнения почвы и в градиентах начальной густоты ценозов искусственного происхождения. Проанализированы ранее сделанные авторами выводы, модели роста; концепции, гипотезы и результаты других исследователей, занимавшихся выяснением, по существу, тенденций отбора и первых шагов эволюции у древесных растений. На этой основе выстраивается логическая модель их развития, в которой и будут обозначены заявленные теоретические подходы. При этом мы не претендуем на исчерпывающие теоретические обобщения; но попытки такого рода нужны для понимания общих тенденций эволюции лесных пород, особенно в близких к экстремальным сухих лесорастительных условиях.

Интерпретация результатов и их анализ. Многолетние исследования [15, 16] показали, что левые и правые формы деревьев сосны и ели адаптивно неравноценны и существенно различаются по отношению к основополагающим факторам среды: свету, влаге и температуре. Левые формы отличаются светолюбием и ксерофитностью, а правые, наоборот, требовательны к влаге, теневыносливы и холодоустойчивы. На хорошо дренированных и сухих почвах достоверно чаще встречаются и лучше растут левые, тогда как на влажных почвах, наоборот, преобладают и быстрее растут правые формы. Эти свой-

ства в густых культурах благоприятствуют правым формам и они превосходят левые по встречаемости и скорости роста; в редких культурах плантационного типа, наоборот, лучше растут и более многочисленны левые формы.

Так, в Псковской обл. были исследованы четыре опытных объекта в плантационных 28-летних культурах ели и сосны, созданные в эдатопах C_2 (ель) и C_3 (сосна), с густотой посадки 1,0 (редкие) и 4,0 тыс. экз. на 1 га (густые культуры). Оказалось, что в густых посадках правые формы (D) превосходили левые (L) по объёму ствола на 33 %. В редких посадках, наоборот, левые формы превышали правые по объёму ствола на 10–23 % [18]. Здесь нужно отметить, что вообще условия C_2 и C_3 – свежие и влажные, и для левых форм подходят мало; но в редких посадках левые формы почему-то всё равно развивались лучше, чем правые. Из этого следует очень важный вывод: в плантационных культурах, имеющих особый, разреженный режим выращивания, левые формы будут гораздо продуктивнее правых и во влажных условиях, если там будет достаточно света. Это стратегически принципиально для популяции: если появляется обилие света, то левые формы выходят в лидеры даже в нетипичных для них влажных условиях. Отметим, что густоту 4,0 тыс. экз. на 1 га обычно густой не считают, но здесь она оказывается таковой в сравнении с густотой посадки в 1,0 тыс. экз. на 1 га.

На этих же участках для анализа хода роста было изучено 185 моделей ели, в том числе 99 экз. в редких посадках и 86 экз. – в густых [5]. По стабильности их роста в онтогенезе (высота в 5, 10, 28 лет) было выделено четыре типа развития: стабильно быстрое (L^+ , D^+) – высота выше средней во всех возрастах; стабильно медленное (L^- , D^-) – высота ниже средней во всех возрастах; ускоренное ($L - +$, $D - +$) – высота в 5–10 лет ниже средней, в дальнейшем – выше; замедленное ($L + -$, $D + -$) – высота в 5–10 лет выше средней,

в дальнейшем – ниже. Оказалось, что в редких культурах большую часть запасов древесины (59,5 %) накапливают в своих стволах левые формы, а в густых – правые формы (65,2 %), при совсем небольшом численном перевесе этих форм (рис. 1). Примечательно явное доминирование запасов древесины в стволах стабильно быстрорастущих левых (L+) и правых (D+) форм, формирующих особенно крупные стволы; именно эти генотипы в ценозе являются центрами накопления

запасов древесины, и именно на них должны быть направлены усилия селекционеров и лесоводов (рис. 2).

Изложенное позволяет полагать, что плотность популяции оказывает существенное влияние на диссимметрический состав деревьев ели и на состав типов их роста и численное соотношение энантиоморф можно использовать в качестве важной характеристики, указывающей направление естественного отбора и микроэволюционных процессов.

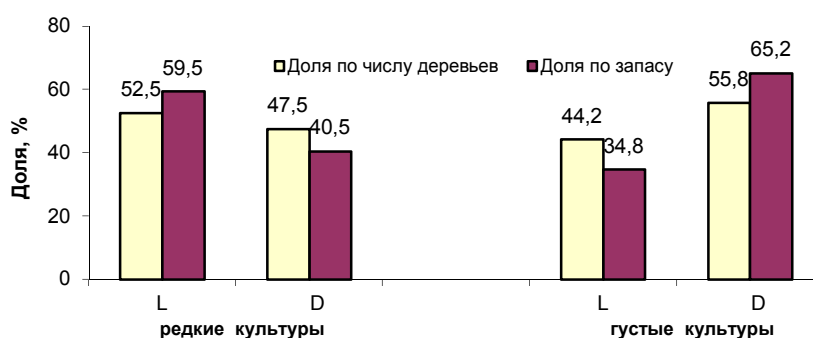


Рис. 1. Левые (L) и правые (D) формы ели в редких и густых культурах и их доли по числу деревьев (столбик слева) и по запасу древесины (столбик справа)

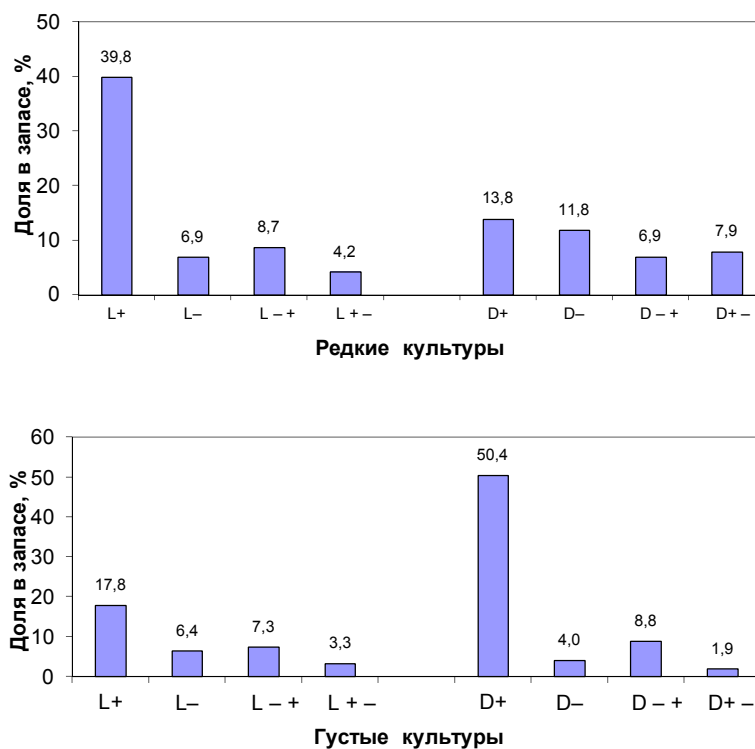


Рис. 2. Доли в запасах древесины, приходящиеся на энантиоморфы с разным типом роста в редких и в густых культурах

Была изучена подробно и генетическая структура культур сосны в брусничном и черничном типах леса, заложенных по схеме $0,6 \times 1,5$ м и выращенных без рубок ухода. При исследовании в 65 лет [16] в черничном типе сохранность деревьев оказалась 870, а в брусничном – 550 экз. на 1 га. Электрофоретический анализ показал, что популяции имели одинаковый уровень наблюдаемой гетерозиготности H_0 . Вместе с тем анализ правых и левых симпатрических изопопуляций внутри каждого типа леса обнаружил, что в черничном типе леса между величиной H_0 у правых форм и ростом их по диаметру и высоте связь достоверно отрицательная ($r = -0,28$ и $r = -0,32$), а у левых, наоборот, положительная ($r = 0,31$ и $r = 0,34$). В брусничном типе леса зависимости оказались обратными. Далее, при разделении H_0 на три уровня (низкий, средний, высокий) оказалось, что лидирующие по росту правые формы в желательных для них условиях (С.ч.) имели самую низкую гетерозиготность ($H_0 = 0,172 \pm 0,016$), а в менее комфортной среде в брусничнике, наоборот, самую высокую ($H_0 = 0,230 \pm 0,011$). Подобная закономерность обнаружена и для левых форм, но комфортными для них оказались условия брусничника [16].

Оказалось, что правые формы с тёмной окраской семян достоверно лучше растут в черничном типе леса и хуже – в брусничном; однако если в брусничном они имеют не тёмные, а светлые семена, то они оказываются уже вполне продуктивными. Но вместе с тем в обоих типах леса доминируют правые формы с тёмными семенами (32–37 %), и с учётом того, что эти культуры были изначально густыми (11,0 тыс. экз. на 1 га), для правых форм с тёмными семенами получаем важную генетическую характеристику – это генотипы с повышенной конкурентной выносливостью [16].

Различия в увлажнении этих эдатопов, между которыми как раз и проходит линия разделения предпочтений для правых и левых форм, не помешала правым формам преобладать в несвойственных им сухих условиях именно потому, что их конкурентная толерантность оказалась для выживания дендроценоза гораздо важнее.

Оптимальные по влажности условия (сложные типы леса, ТЛУ В₂, С₂) оказываются благоприятны для обеих форм, здесь они растут одинаково успешно и эти условия – некий рубеж, разделитель; если условия суше – лучше для левых, если влажнее – лучше для правых.

Обнаружено и сильнейшее влияние конкуренции на тенденции эволюции. Прямое исследование роста потомства в возрасте 21 года от 152 плюсовых деревьев, происходящих из материнских культур, имевших разную густоту, при его выращивании в редких и густых испытательных культурах показало, что как на уровне отдельных деревьев, так и на уровне популяций наследуется «память на конкуренцию»: увеличение плотности материнских ценопопуляций увеличивает высоту их потомства в густых, но снижает – в редких культурах, с различиями до 13–19 % [19–20].

Следует отметить, что во множестве изученных нами популяций сосны и ели частоты изопопуляций ни разу не снижались до близких к нулю значений (например, частот левых форм в очень густых культурах). Их колебания находились строго в пределах 0,38–0,62 [15; 21], близких к «золотому сечению», в котором проявляются универсальные законы Вселенной [22].

Однако обращение к многочисленным моделям развития лесных насаждений [23] в виде таблиц хода роста (ТХР), к сожалению, показывает, что они находят узкое применение в таксации и не применяются в лесовыращивании. Сейчас остро понимается их несовершенство [24–26].

Дело в том, что они статичны по своей сути, так как при их разработке не ставилась задача выяснения показателей в предыдущем классе возраста, т.е. в динамике. При массовом составлении ТХР была проигнорирована и проблема разных *типов развития* древостоев, поэтому получался «ход» таксационных показателей по классам возраста, к примеру, III класса бонитета, но никак не ход (динамика) роста древостоев одного естественного ряда.

Теоретический просчёт в их разработке был ещё и в том, что в качестве главных признаков в развитии биологического объекта (древостоя) были взяты технические параметры – площади сечений, высота, объём стволов и т. д., тогда как главные биологические параметры – общая биомасса, объём листвы – были оставлены без внимания. Заметим, что стволы деревьев не растут сами по себе – древесину для них производит фотосинтезирующий аппарат. И чем больше его объём, тем больше прирост древесины. Измерить этот аппарат сложно и поэтому изучают объём листвы (хвои). Но и эти объёмы рассчитать сложно, поэтому определяют ширину, длину и объём кроны дерева и суммарные показатели для крон в целом для древостоя. Именно здесь и был найден ключ к причинам разнообразного развития древостоев [24], который позволил далее выяснить законы их развития и найти универсальную формулу для расчёта оптимальной густоты их формирования [20, 27]. Опираясь на эти законы и модели развития еловых древостоев, составленные по данным сотен пробных площадей, мы решили проверить найденные И.С.Марченко [8] некоторые биологические константы, существующие в развитии древостоев и обусловленные влиянием его «биополя», под которым понималась интегральная сумма излучений всех его живых клеток.

Обсуждение концепций И. С. Марченко и его «нетрадиционного лесоводства» приведено в нашей работе [20], и здесь мы покажем только результаты нашей провер-

ки предложенных им констант. Мы провели анализ шести моделей роста древостоев по вариантам начальной густоты по данным нашей работы [28], а также семь моделей хода роста культур с начальной густотой 3,6–8,5 тыс. шт./га и моделей их выращивания при её регулировании. Полный их анализ дан в наших работах, представленных также в электронном виде на сайте ПГНИУ [29, 30]. Здесь мы приведём только главные моменты из них:

а) оказалось, что в развитии древостоев при малой начальной густоте (1,0 и 1,3 тыс. шт./га) в наиболее распространённых условиях обнаружено, что, начиная с 45 и до 120 лет, суммарный объём крон есть величина постоянная и изменяется, соответственно, в пределах 50,6–52 и 46,4–47,5 тыс. м³/га; эта биологическая константа является пределом для ели в указанных условиях, сверх которого полог древостоя уже не может заполняться биомассой;

б) суммарный объём крон в древостое определяется его начальной густотой, которая детерминирует предельные значения текущего прироста по запасу. После пика этого прироста (в 25–40 лет) древостой адаптирован именно к своей линии развития, обладает её инерцией и изменить развитие на более производительный рост после его кульминации какими-либо разрезываниями почти невозможно (рис. 3);

в) в этот критический период деревья адаптируются к нему путём формирования малообъёмных крон в стремлении сохранить свою численность, поэтому «фаза чащи» нечувствительна для изменения линии роста. По-видимому, именно в этот период (и после него) С. Н. Сенновым [31] и были проведены рубки ухода на опытных участках, с парадоксальным заключением о «невозможности повышения производительности средневозрастных древостоев регулированием их густоты». Однако наши исследования убедительно показали, что более ранние рубки ухода меняют динамику в желательную сторону (рис. 4).

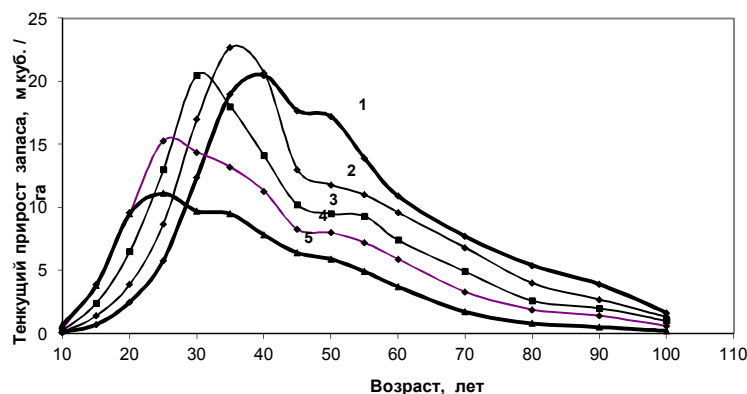


Рис. 3. Текущий прирост по запасу в моделях роста еловых древостоев в типах условий местопроизрастания C_2-C_3 с начальной плотностью: 1 – 1,0; 2 – 1,65; 3 – 2,9; 4 – 5,1; 5 – 14 тыс. шт./га [по 30]

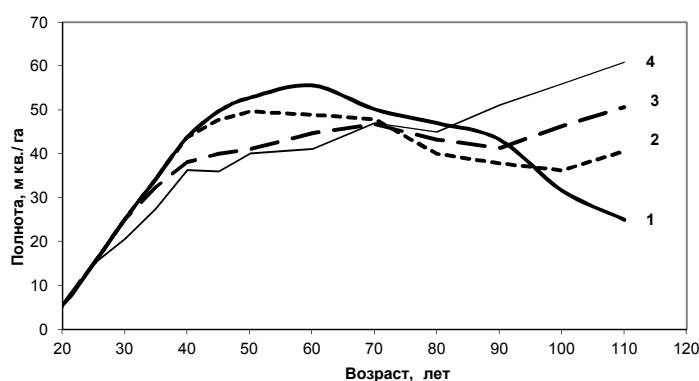


Рис. 4. Абсолютная полнота в моделях выращивания еловых культур в ТЛУ B_3-C_3 , имеющих начальную плотность в 10 лет 3,6 тыс. шт./га: 1 – без рубок ухода; 2 – начало рубок в 40 лет; 3 – начало рубок в 30 лет; 4 – начало рубок ухода в 25 лет [по 30]

Вполне вероятно, что отмеченное выше [2] для условий A_1 парадоксальное снижение нормированной продуктивности культур на 4,5 % в сравнении с естественными насаждениями вызвано теми же причинами, а именно запоздалыми разреживаниями культур, либо вообще их отсутствием в густых культурах. В результате в них наступил критический период в развитии с потерей их продуктивности, в отличие от естественных ценозов, где этот период был более мягким, либо его не было совсем по причине неравномерной, а также пониженной густоты, которая часто имеет место в естественных сосняках лишайниковых на боровых почвах.

Таким образом, установлены следующие явления, наблюдаемые в древостоях: а) противоположная реакция на конкуренцию в виде изменения частоты встре-

чаемости и изменения продуктивности правых и левых форм сосны и ели; б) изначальная адаптация этих форм к сухим или влажным почвам; в) различия в генотипической структуре у разных по плотности популяций; г) наследственная «память» потомства на конкурентные условия, в которых формировались их родители; д) развитие древостоев в зависимости от начальной густоты строго в рамках определённой модели роста. Все эти явления приводят к тому, что в развитии древостоев возникает некий критический период, после которого почти невозможно изменить его развитие. Он приходится, например, в ельниках изначально густых уже на 15–20 лет. Другие породы будут иначе менять линии роста в ответ на разреживания и на начальную густоту, однако общее правило не изменится: крайне

важно начинать регулировать густоту культур и естественных молодняков задолго до наступления максимумов полноты, сомкнутости полога, сомкнутости крон и прироста; чем раньше эта работа будет осуществлена, тем её эффект будет выше, тем продуктивнее окажется древостой и тем дольше будет период его интенсивного роста. Отсутствие таких разреживаний будет особенно критично для культур на сухих почвах, где *должны преобладать* левые формы растений, предпочитающие именно такие условия и требующие для продуктивного развития ослабленных конкурентных отношений.

Заключение. Рассмотренные выше множественные связи и влияния невозможно свести к главенству каких-либо одних и принизить значимость других. Нашей задачей было попытаться объединить их в некую непротиворечивую теорию, логическую модель или концепцию и дать прогноз возможного развития культур в боровых условиях на сухих почвах. Изложим их в виде нескольких последовательных пунктов, используя некоторые конкретные примеры из практики выращивания культур.

1. При использовании семян из сухих типов леса в их потомстве мы получаем левых форм примерно на 10–24 % больше и к 8–10 годам из них формируются лидеры. В это время кроны смыкаются, что вызывает депрессию их роста и выход далее этого возраста в лидеры уже правых форм, толерантных к конкуренции. Но если ценоз после этого возраста постоянно разреживать и держать деревья в условиях относительно свободного стояния, с ориентацией на выращивание 0,7–1,0 тыс. экз. на 1 га, то левые формы сохраняют своих лидеров и ход роста будет самым продуктивным.

2. Если же разреживание произвести позднее, например, в 20–40 лет, ожидая «дифференциации» или смыкания крон между рядами в культурах, как это предписывает лесоводство, то это приведёт к

оставлению в древостое в основном уже правых форм, лидирующих по росту в условиях высокой плотности, но растущих хуже левых; левые же формы останутся в меньшинстве и древостой понизит продуктивность.

3. При использовании семян из оптимальных по увлажнению типов леса можно рассчитывать на получение в потомстве равного соотношения правых и левых форм. Однако если древостой для заготовки семян будут выбраны густыми, то доля нежелательных для сухих условий правых форм увеличится, поэтому несоблюдение правила «семена для продуктивных лесов получают точно в тех условиях, где планируется их выращивание, включая плотность популяции» чревато снижением продуктивности культур.

4. Если же в дополнение к несоответствующему происхождению семян густые, или даже средние по густоте культуры при их выращивании не разреживать, то итог будет ещё более печален: они быстро пройдут критический период в соответствии с законом развития простых древостоев и начнут распадаться уже в 55–70 лет даже в оптимальных условиях. Именно это и случилось со всеми посадками ели, созданными в начале XX века по схеме 0,71×1,42 и 1,07×2,13 м в Пермском крае (культуры Теплоуховых), которые мы обследовали на 28 участках в возрасте старше 70 лет [29].

5. В отличие от ели сосна более универсальная порода: она более долговечна, пластична, хорошо переносит загущение и устойчива к засухе; однако и её устойчивость не бесконечна, и намеренно испытывать её толерантность к загущению как в рядах культур, так и в биогруппах на сухих почвах, по-видимому, не стоит. Во всяком случае, проведённый краткий обзор результатов наших работ и некоторые правила выращивания лесов, из них вытекающие, не оставляют надежд на повышение продуктивности и долговечности её культур и естественных молодняков, выращи-

ваемых вплоть до 40 лет в загущенном состоянии. Вполне возможно, что культуры с попарно сближенными рядами, с расстоянием между ними до 7–9 м, будут продуктивными ещё некоторое время. Но опасность утраты их устойчивости реальна, по-

этому в будущих опытах по уходу в культурах были бы показательны варианты ранних (в 10–13 лет) разреживаний по правилам плантационного выращивания, для которого и в самых сухих условиях имеются для сосны отличные предпосылки.

Работа выполнена при финансовой поддержке задания 2014/153 государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России (№ гос. регистрации 01201461915).

Список литературы

1. Калинин, К.К. Особенности естественного и искусственного лесовосстановления на гарях 1921 и 1972 годов в Марийском Заволжье / К.К. Калинин // Лесовосстановление в Поволжье: состояние и пути совершенствования: сборник статей. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. – С. 55-61.
2. Романов, Е.М. Искусственное лесовосстановление в Среднем Поволжье: состояние и задачи по совершенствованию / Е.М. Романов, Т.В. Нурева, Н.В. Еремин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 3. – С. 5-14.
3. Голиков, А. М. Использование эколого-диссимметрического подхода в селекционной практике генетического улучшения хвойных лесов: Методические рекомендации / А. М. Голиков, А.В. Жигунов. – СПб.: СПбНИИЛХ, 2012. – 62 с.
4. Голиков, А.М. Влияние экстремальных условий местопроизрастания на диссимметрическую и генетическую структуру популяций сосны обыкновенной / А.М. Голиков // Опыт внедрения устойчивого лесопользования и лесопользования в практику: Материалы междунар. науч.- практ. конф. – Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2013. – С. 67-71.
5. Голиков, А.М. Рост и конкурентные свойства энантиоморф ели европейской в 28-летних культурах / А.М. Голиков, М.В. Рогозин // Вестник Пермского университета. – 2013. – № 1. – С. 4-13.
6. Карасева, М.А. Агротехнические аспекты повышения биологической устойчивости культур сосны обыкновенной на гарях в боровых условиях / М.А. Карасева, В.Н. Карасев, К.Т. Лежнин // Лесовосстановление в Поволжье: состояние и пути совершенствования: сборник статей. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. – С. 68-74.
7. Маслаков, Е. Л. Об особенностях роста и дифференциации деревьев в молодняках сосны / Е. Л. Маслаков // Восстановление и мелиорация лесов Северо-Запада РСФСР. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1980. – С. 53-61.
8. Марченко, И.С. Биополесные экосистемы / И.С. Марченко. – Брянск: БГИТА, 1995. – 188 с.
9. Горелов, А.М. Биолокация и ее использование в изучении растений / А.М. Горелов. – Киев: Фитосоциогенез, 2007. – 112 с.
10. Рогозин, М.В. Деревья-лидеры, биогруппы и геоактивные зоны / М.В. Рогозин // Лабораторный журнал. – 2013. – №2. – С.29-44. [Электронный ресурс]: <http://labfranep.com/article/7>
11. Горячев, В.М. Влияние пространственного размещения деревьев в сообществе на формирование годичного слоя древесины хвойных в южнотажных лесах Урала / В.М. Горячев // Экология. – 1999. – № 1. – С. 9-19.
12. Сеннов, С.Н. Итоги 60-летних наблюдений за естественной динамикой леса / С.Н. Сеннов. – СПб.: СПбНИИЛХ, 1999. – 98 с.
13. Шутов, И.В. Значение неравномерного размещения деревьев в культурах сосны / И.В. Шутов, Л.Н. Товкач, Н.М. Минакова и др. // Лесное хозяйство. – 2001. – № 4. – С. 18-20.
14. Бакшаева, В.И. Явление диссимметрии морфологических признаков вегетативных и генеративных органов сосны и ели в Карелии / В.И. Бакшаева // Лесоведение. – 1971. – № 6. – С. 55-61.
15. Голиков, А.М. Формы сосны обыкновенной и их селекционное значение в условиях Псковской области / А.М. Голиков. – Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01. – Свердловск, 1985. – 18 с.
16. Голиков, А. М. Эколого-диссимметрический и изоферментный анализ структуры модельных популяций сосны обыкновенной / А. М. Голиков // Лесоведение. – 2011. – № 5. – С. 46-51.
17. Хохрин, А.В. Внутривидовая диссимметрическая изменчивость древесных растений в связи с их экологией: Автореф. дис. ... д-ра. биол. наук. 03.00.16. / А.В. Хохрин. – Свердловск, 1977. – 49 с.
18. Голиков, А.М. Влияние густоты посадки на рост и конкурентные отношения энантиоморф сосны и ели в 28-летних плантационных культурах / А.М. Голиков, Н.Л. Бурый // Рациональное природопользование и перспектива устойчивого развития лесного сектора экономики: Тез. докл. конф. – Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2008. – С. 78-81.

19. Разин, Г.С. Вопросы онтогенеза и динамики древостоев / Г.С. Разин, М.В. Рогозин // Лесная таксация и лесоустройство. – 2013. – Вып. 2(50). – С. 23-32.
20. Рогозин, М.В. Изменение параметров ценопопуляций *Pinus sylvestris* L. и *Picea x fennica* (Regel) Kom. в онтогенезе при искусственном и естественном отборе: Автореф. дисс. ... д. б. наук. / М.В. Рогозин. – Пермь: ПГНИУ, 2013. – 47 с.
21. Golikov, A.M. Adaptive disparity of dissymmetrical forms of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* L. Karst. in the north – west of Russian SFSR / A.M. Golikov // Symmetry of structure. Interdisciplinary symmetry symposia. – Budapest: The Hungarian Academy of Sciences, 1989. – Pt. 1. – Pp. 168-171.
22. Чернов, Н.Н. Биотектоника – методологическая основа изучения форм в живой природе / Н.Н. Чернов. – Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2013. – 137 с.
23. Швиденко, А.З. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы) / А.З. Швиденко, Д. Г. Щепаченко, С.Нильсон, Ю. И. Бугуй. – М.: Рослесхоз, 2008. – 886 с.
24. Разин, Г.С. Динамика сомкнутости одноярусных древостоев / Г.С. Разин // Лесоведение. – 1979. – № 1. – С. 23-25.
25. Верхунов, П.М. Таксация леса / П.М. Верхунов, В.Л. Черных. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 395 с.
26. Разин, Г.С. О методических подходах построения эскизов таблиц хода роста / Г.С. Разин, М.В. Рогозин // Лесная таксация и лесоустройство. – 2011. – № 1-2 (45-46). – С. 48-57.
27. Разин, Г.С. Способ формирования одноярусных древостоев / Г.С. Разин. – Описание изобретения к а. с. SU 1464970 A1.15.03.1989. Опубликовано: Бюлл. №10.
28. Разин, Г.С. О ходе роста древостоев. Догматизм в лесной таксации / Г.С. Разин, М.В. Рогозин // Вестник Пермского университета. Сер.: Биология. – 2009. – Вып.10 (36). – С. 9-38.
29. Рогозин, М.В. Лесные культуры Теплоухова в имении Строгановых на Урале: история, законы развития, селекция ели / М.В. Рогозин, Г.С. Разин; Издание второе. – Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2012. – 210 с. [Электронный ресурс]: <http://www.elibrary.ru>; www.psu.ru.
30. Рогозин, М.В. Вопросы онтогенеза и динамики древостоев / М.В. Рогозин, Г.С. Разин // Лесная таксация и лесоустройство. – 2013. – № 2 (50). – С. 23-32.
31. Сеннов, С.Н. Уход за лесом: экологические основы / С.Н. Сеннов – М.: Лесная промышленность, 1984. – 127 с.

Статья поступила в редакцию 07.07.14.

Ссылка на статью: Рогозин М. В., Голиков А. М., Разин Г. С. О выращивании леса на сухих почвах: теоретические подходы // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 3 (23). – С. 5-17.

Информация об авторах

РОГОЗИН Михаил Владимирович – доктор биологических наук, заведующий лабораторией экологии леса, доцент кафедры ботаники и генетики, Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета. Область научных интересов – лесоведение, лесная таксация, моделирование хода роста, взаимодействие генотип-среда, биополья растений и физические поля Земли, лесные культуры, селекция и семеноводство. Автор 115 публикаций, в т.ч. двух монографий.

E-mail: rog-mikhail@yandex.ru

ГОЛИКОВ Анатолий Матвеевич – кандидат сельскохозяйственных наук, инженер 1 категории, Филиал ФГУ «Рослесозащита» «ЦЗЛ Новгородской области». Область научных интересов – лесоведение, лесная генетика, лесные культуры, селекция и семеноводство сосны обыкновенной, ели европейской и финской. Автор более 50 публикаций, в т.ч. одной монографии.

E-mail: toly.golikov@yandex.ru

РАЗИН Геннадий Сергеевич – консультант лаборатории экологии леса, Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета. Автор более 80 публикаций, в т.ч. одной монографии

E-mail: zhal73@mail.ru

ON FOREST CULTIVATION IN DRY SOIL LANDS: THEORETICAL APPROACH

M.V. Rogozin¹, A.M. Golikov², G.S. Razin¹¹Perm State National Research University,
4, Genkelya St., Perm, 614990, Russian Federation
E-mail: rog-mikhail@yandex.ru²Forest Protection Centre in Novgorod Oblast,
81 (building 2), B.Sankt-Peterburgskaya St., Velikiy Novgorod, 173008, Russian Federation
E-mail: toly.golikov@yandex.ru**Key words:** stand; development; models; density; genotypic structure; offspring; hereditability; dry soils.

ABSTRACT

Forest restoration at the dry soils is one of the crucial problems for modern forestry. **The goal** of the research is to develop a logical model stand growth in dry sandy soil with the purpose to predict stand growth (up to mature age) based on the analysis of the model of plantations growth (plantations have specific initial density and soil moisture conditions). **Methods.** A comparative analysis of data, obtained by the authors, was used in the research. The authors obtained data in the gradients of soil moistening and in the gradients of initial density of the cenosis of artificial origin. The following characteristics were analyzed: the reverse reaction to competitiveness by way of frequency and productivity change of the right and left types (according to A.V.Khokhrin) of pine and fir; heritable adaptation of these species either to dry or moist soils; differences in genotypic structure (population of different density); heritable "memory" of new generation to competitive conditions, which parent trees were growing in; stands growth depending on initial density strongly within the definite growth models. **Results.** The analysis showed that all these factors lead to the critical period occurrence in stands development. Later it will be almost impossible to change development of stands. Thus, it is vital to control density of plantations and natural young stands well before trees have maximum density, closure stands, canopy closure and increment. The earlier this work is done, the more productive the stand will be and the longer the period of intensive growth will be.

The research was carried out with the financial support of state works in the field of research activity 2014/153 within the basic part of the state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (registration number 01201461915).

REFERENCES

1. Kalinin K.K. Osobennosti estestvennogo i iskusstvennogo lesovosstanovleniya na goryakh 1921 i 1972 godov v Mariyskom Zavolzh'e [Peculiarities of Natural and Artificial Forest Restoration at the Fire Sites of 1921 and 1972 (Mari Forests)]. *Lesovosstanovlenie v Povolzh'e: sostoyanie i puti sovershenstvovaniya: sbornik statey* [Forest Restoration in the Middle Volga Region: Condition and Ways of Improvement: collected papers]. Yoshkar-Ola: Volga Tech, 2013. Pp.55-61.
2. Romanov E.M., Nureeva T.V., Eremin N.V. Iskusstvennoe lesovosstanovlenie v Srednem Povolzh'e: sostoyanie i zadachi po sovershenstvovaniyu [Artificial Reafforestation in the Middle Volga Region: Present-Day Situation and Tasks in Hand for Improvement]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie. [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management].* 2013. № 3. Pp. 5-14.
3. Golikov A. M., Zhigunov A.V. *Ispolzovanie ekologo-disimmetricheskogo podkhoda v selektsionnoy praktike geneticheskogo uluchsheniya khvoynykh lesov: metodicheskie rekomendatsii* [Application of Ecological and Dissymmetry Approach in Selection Directed to Genetic Improvement of the Coniferous Forests: methodic recommendations]. Saint-Petersburg: SPbNIILKh, 2012. 62 p.
4. Golikov A.M. Vliyanie ekstremalnykh usloviy mestoproizrastaniya na dissimmetricheskuyu i geneticheskuyu strukturu populyatsiy sosny obychnovnoy [Influence of Extreme Conditions of the Habitat on the Dissymmetry and Genetic Structure of Scots Pine Population]. Opyt vnedreniya ustoychivogo lesopolzovaniya i lesoupravleniya v praktiku [An Experience of Sustainable Forest Management Introduction]. *Materialy mezhdun. nauch.- prakt. konf* [Proceedings of International Research Conference.]. Velikiy Novgorod: Nov.GU im. Yaroslava Mudrogo. 2013. Pp. 67-71.
5. Golikov A.M., Rogozin M.V. Rost i konkurentnye svoystva ehnantiomorf eli evropeyskoy v 28-letnikh kulturakh [Growth and Competitive Properties

of the European Fir (28-year old plantations)]. *Vestnik Permskogo universiteta* [Vestnik of Perm University]. 2013. № 1. Pp. 4-13.

6. Karaseva M.A., Karasev V.N., Lezhnin K.T. Agrotekhnicheskie aspekty povysheniya biologicheskoy ustoychivosti kultur sosny obyknovennoy na garyakh v borovykh usloviyakh [Agrotechnical Aspects for Improvement of Biological Stability of Scots Pine Plantations at the Fire Sites in Pine Forests]. *Lesovostanovlenie v Povolzhe: sostoyanie i puti sovershenstvovaniya: sbornik statey* [Forest Restoration in the Middle Volga Region: Condition and Ways of Improvement: collected papers]. Yoshkar-Ola: Volga Tech, 2013. Pp. 68-74.

7. Maslakov E. L. Ob osobennosti rosta i differentsiatsii derev v molodnyakakh sosny [On Peculiarity of Growth and Differentiation of Trees in Young Pine Forests]. *Vosstanovlenie i melioratsiya lesov Severo-Zapada RSFSR* [Restoration and Amelioration of the Forests in the North-West of RSFSR]. Leningrad: LenNIILKh, 1980. Pp. 53-61.

8. Marchenko I.S. *Biopole lesnykh ekosistem* [Biofield of Forest Ecosystems]. Bryansk: BGITA, 1995. 188 p.

9. Gorelov A.M. *Bioloatsiya i ee ispolzovanie v izuchenii rasteniy* [Biolocation and Its Use in Plants Study]. Kiev: Fitosotsiotsentr, 2007. 112 p.

10. Rogozin M.V. Derevy-lidery, biogruppy i geoaktivnye zony [Trees-Leaders, Biogroups and Geoactive Zones]. *Laboratory zhurnal* [Laboratory Journal]. 2013. № 2. Pp. 29-44. URL: <http://labfrap-nep.com/article/7>

11. Goryachev V.M. Vliyanie prostranstvennogo razmeshcheniya derev v soobshchestve na formirovanie godichnogo sloya drevesiny khvoynykh v yuzhnataezhnykh lesakh Urala [Influence of Spatial Distribution of Trees in the Community on the Formation of an Annual Layer in Coniferous Trees in the South-Taiga Ural Forests]. *Ekologiya* [Ecology]. 1999. № 1. Pp. 9-19.

12. Sennov P.N. *Itogi 60-letnikh nablyudeniy za estestvennoy dinamikoylea* [Results of 60-year Observations of Natural Forest Dynamics]. Saint-Petersburg.: SPbNIILKh, 1999. 98 p.

13. Shutov I.V., Tovkach L.N., Minakova N.M., et al. Znachenie neravnomernogo razmeshcheniya derev v kulturakh sosny [The Role of Irregular Distribution of Trees in Pine Plantations]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 2001. № 4. Pp. 18-20.

14. Bakshaeva V.I. Yavlenie dissimmetrii morfologicheskikh priznakov vegetativnykh i generativnykh organov sosny i eli v Karelii [The Phenomenon of Dissymmetry of Morphological Characteristics of Vegetative and Generative Organs of Pine and Fir in Karelia]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1971. № 6. Pp. 55-61.

15. Golikov A.M. Formy sosny obyknovennoy i ikh selektsionnoe znachenie v usloviyakh Pskovskoy

oblasti: avtoref. dis.kand.biologicheskikh nauk: 06.03.01. [Types of Scots Pine and Their Selective Significance in Pskov Oblast: avtoref. of the thesis for the Candidate degree (Biological sciences): 06.03.01.]. Sverdlovsk, 1985. 18 p.

16. Golikov A. M. Ekologo-dissimmetriynyy i izofermentnyy analiz strukturnykh modelnykh populyatsiy sosny obyknovennoy [Ecological and Dissymmetry and Isoenzyme Analysis of the Structural Model Populations of Scots Pine]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2011. № 5. Pp. 46-51.

17. Khokhrin A.V. Vnutrividovaya dissimmetricheskaya izmenchivost drevesnykh rasteniy v svyazi s ikh ekologiyey: avtoref. dis.d-ra. biol. nauk. 03.00.16. [Intraspecific Dissymmetry Variability of Woody Plants Depending on Ecology: avtoref. of the thesis for Doctor degree (Biological sciences). 03.00.16.]. Sverdlovsk, 1977. 49 p.

18. Golikov A.M., Burihi N.L. Vliyanie gustoty posadki na rost i konkurentnye otnosheniya ehnantiomorf sosn i eli v 28-letnikh plantatsionnykh kulturakh [Influence of Planting Density on the Growth and Competitive Relations of Pines and Fir in 28-year Old Plantations]. *Ratsionalnoe prirodopolzovanie i perspektiva ustoychivogo razvitiya lesnogo sektora ekonomiki: tez. dokl. konf.* [Rational Nature Management and Perspective of Sustainable Development of Forest Sector of Economy: proceedings of the conference reports]. Velikiy Novgorod: NovGU im. Yaroslava Mudrogo, 2008. Pp. 78-81.

19. Razin G.S., Rogozin M.V. Voprosy ontogeneza i dinamiki drevostoev [Problems of Ontogeny and Dynamics of Stands]. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest Valuation and Forest Surveying]. 2013. Issue 2(50). Pp. 23-32.

20. Rogozin M.V. Izmenenie parametrov tsenopopulyatsiy Pinus sylvestris L. i Picea fennica (Regel) Kom. v ontogeneze pri iskusstvennom i estestvennom otbore: avtoref. diss. d. b. nauk. [Change in Parameters of Cenopopulation of Pinus sylvestris L. and Picea fennica (Regel) Kom. in Ontogeny in Natural and Artificial Selection: avtoref. of the thesis of Doctor degree (Biological sciences)]. Perm: PGNIU, 2013. 47 p.

21. Golikov A.M. Adaptive Disparity of Dissymmetrical Forms of Pinus Sylvestris L. and Picea Abies L. Karst. in the North – West of Russian SFSR. Symmetry of Structure. Interdisciplinary Symmetry Symposia, Budapest: The Hungarian Academy of Sciences, 1989. Pt. 1. Pp. 168-171.

22. Chernov N.N. *Biotehtonika – metodologicheskaya osnova izucheniya form v zhivoy prirode* [Biotehtonics – Methodological Basis to Study the Forms of Wildlife]. Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2013. 137 p.

23. Shvidenko A.Z., Thepathenko D. G., Nilson P., Buguy Yu. I. *Tablitsy i modeli khoda rosta i*

produktivnosti nasazhdeniy osnovnykh lesobrazuyushchikh porod Severnoy Evrazii (normativno-spravochnye materialy) [Tables and Models of Growth Course and Productivity of Stands of the Main Forest-Forming Species in North Eurasia (regulatory-reference materials)]. Moscow: Rosleskhoz, 2008. 886 p.

24. Razin G.S. Dinamika somknutosti odnoryasnykh drevostoev [Dynamics of Closure of Single-Storey Forest]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1979, № 1. Pp. 23-25.

25. Verkhunov P.M., Chernykh V.L. *Taksatsiya lesa* [Forest Valuation]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2007. 395 p.

26. Razin G.S., Rogozin M.V. O metodicheskikh podkhodakh postroeniya eskizov tablits khoda rosta [About Methodical Approaches of Growth Course of the Sketches of Tables Construction]. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest Valuation and Forest Surveying]. 2011. № 1-2 (45-46). Pp. 48-57.

27. Razin G.S. Sposob formirovaniya odnoryasnykh drevostoev [A Way of Formation of Single-Storey Stands]. Opisaniye izobreteniya k a.s. SU 1464970 A1.15.03.1989. Opublikovano: Byull. №10

[Description of Invention k a.s. SU 1464970 A1.15.1989. Published: Bul.№10].

28. Razin G.S., Rogozin M.V. O khode rosta drevostoev. Dogmatizm v lesnoy taksatsii [On the Stands Growth Course]. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya biologiya* [Vestnik of Perm University. Series: Biology]. 2009. Issue 10 (36). Pp.9-38.

29. Rogozin M.V., Razin G.S. Lesnye kultury Teploukhovykh v imenii Stroganovykh na Urale: istoriya, zakony razvitiya, selektsiya eli. Izdanie vtoroe. [Forest Plantations of Teploukhovs in Stroganov Estate in the Ural: History, Development Laws, Selection of Fir]. Perm: Perm State National Research Institute, 2012. 210 p. URL: <http://www.elibrary.ru>; www.psu.ru.

30. Rogozin M.V., Razin G.S. Voprosy ontogeneza i dinamiki drevostoev [Problems of Ontogeny and Dynamics of Stands]. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest Surveying and Forest Valuation]. 2013. №2 (50). Pp. 23-32.

31. Sennov P.N. *Ukhod za lesom: ekologicheskie osnovy* [Forest Care: Ecological Basis.]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1984. 127 p.

The article was received 07.07.14.

Citation for an article: Rogozin M.V., Golikov A.M., Razin G.S. On forest cultivation in dry soil lands: theoretical approach. *Vestnik of Volga State University of Technology*. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2014. No 3(23). Pp. 5-17.

Information about the authors

ROGOZIN Mikhail Vladimirovich – Doctor of Biological Sciences, Head of the “Forest Ecology” laboratory, Associate Professor at the Chair of Botany and Genetics, Perm State National Research University. Research interests – forestry, forest valuation, yield simulation, interaction genotype-environment, biofields of plants and physical fields of the Earth, plantations, selection and seedage. The author of 115 publications, including two monographs. E-mail: rog-mikhail@yandex.ru

GOLIKOV Anatoliy Matveyevich – Candidate of Agricultural Sciences, 1st category engineer, Branch of Federal State University “Russian Forests Protection” (Rosleskhozashchita) of TSZL Novgorod oblast”. Research interests – forestry, forest genetics, plantations, selection and seedage of Scots pine, Norway spruce, Finnish spruce. The author of more than 50 publications, including one monograph. E-mail: toly.golikov@yandex.ru

RAZIN Gennadiy Sergeyevich – consultant at the “Forest Ecology” laboratory, Perm State National Research University. The author of more than 80 publications, including one monograph. E-mail: zhal73@mail.ru

УДК 630*5 : 630*9

РЕСУРСНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ЛЕСОВ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

М. В. Устинов¹, М. М. Устинов²

¹Брянская государственная инженерно-технологическая академия,
Российская Федерация, 241050, Брянск, проспект Ленина, 26
E-mail: mvustinov@mail.ru

²Российский государственный аграрный университет (МСХА) им. К.А.Тимирязева,
Российская Федерация, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49, корпус № 6
E-mail: max32br@rambler.ru

Обосновано разделение территории Брянской области на ресурсно-экологические лесные районы с учётом почвенно-климатических, экологических условий, пространственной структуры и таксационных показателей лесного фонда с применением многомерных статистических методов.

Ключевые слова: районирование; фактор; переменная; лесничество; типичность; кластер; дисперсия.

Введение. На современном этапе развития государственной системы лесопользования коренным образом изменилось отношение к оценке земель лесного фонда. Признание географической дифференциации условий ведения хозяйства и его интенсификация требуют систематизации деления территории лесного фонда на типичные районы.

Общепризнано, что только по однородным лесным районам возможно научно обоснованное планирование лесозаготовительных, лесовосстановительных, лесозащитных и других мероприятий, направленных на сохранение, рациональное использование и повышение продуктивности лесов, совершенствование правил ведения лесного хозяйства и нормативно-справочных материалов для инвентаризации лесов.

Актуальность разработки схемы достоверного лесного районирования подтверждается Лесным кодексом РФ [1], которым предусмотрено (статья 15) установление лесных районов с относительно сходными условиями использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов.

Анализ работ по районированию Н.А. Гвоздецкого [2], Д.Л. Арманда [3], Ф.Н. Милькова [4], А.Г. Исаченко [5], В.И. Прокаева [6], А.С. Шейнгауза и др [7], Н.И. Михайлова [8], В.Б. Сочавы [9], Г.В. Крылова [10], Б.П. Колесникова [11], В.П. Цепляева [12], Л.В. Шумилова [13], В.Н. Смагина [14, 15], С.Ф. Курнаева [16, 17], Д.М. Киреева [18], Е.П. Смолоногова, Н.Н. Чернова [19], В.Н. Манович [20], И.А. Фрейберг и др.[21], Е.И. Кузьменко [22], Н.Н. Чернова [23], Н.Н. Кашпор и др. [24] и других показывает, что во все времена лесное районирование имело и имеет важное значение для ведения лесного хозяйства.

Разнообразие и пестрота ландшафтно-экологических условий в значительной мере определяют уклад жизни местного населения, специализацию и концентрацию производств. При этом эффективное ведение лесного хозяйства и лесной промышленности тесно связано с ресурсным, экологическим и социально-экономическим потенциалом субъекта федерации. Особо следует отметить, что неравномерность структуры земель лесного фонда,

типов лесов, их продуктивности и пространственной структуры требуют решения задач по многомерной группировке (классификации) лесничеств и лесопарков по целому комплексу показателей, поэтому место и роль достоверного ресурсно-экологического районирования трудно переоценить. Именно оно в сочетании с трудовыми, материальными и денежными ресурсами должно являться основой разработки оптимального лесного плана субъекта федерации. При этом оптимальное распределение денежных ресурсов на проведение мероприятий по лесничествам в типичных лесных районах позволит обеспечить доходность лесного сектора области.

Целью наших исследований является разделение территории Брянской области на ресурсно-экологические лесные районы с учётом почвенно-климатических, экологических условий, пространственной структуры и таксационных показателей лесного фонда с применением многомерных статистических методов.

Методика исследований. Реализация ресурсно-экологического лесного районирования требует оценки комплекса переменных, характеризующих почвенно-климатические, экологические, лесорастительные факторы и таксационные параметры лесов области.

Анализ данных выполнялся по алгоритму, содержащему последовательное использование многомерных статистически-классификационных методов – факторного, кластерного и дискриминантного анализов.

На первом этапе производился факторный анализ переменных. При этом все переменные принимались в качестве независимых переменных. Для выявления наиболее значимых факторов применялся метод главных компонент, при котором освобождение переменных от автокорреляции производилось по критерию Дарбина-Уотсона [25]: в один фактор объединялись сильно коррелирующие между со-

бой переменные; перераспределение дисперсии производилось методом «вари-макс». Как следствие – получены главные компоненты. Путём факторного анализа выполнялось как выделение, так и интерпретация главных компонент, которые должны вместе объяснять не менее 50,1 % дисперсии всех переменных. В нашей работе путём факторного анализа решаются задачи выделения типичных однородных групп по комплексу переменных.

На втором этапе с помощью кластерного анализа происходило объединение лесничеств в кластеры, используя некоторую меру сходства или расстояние между объектами. Для этого все переменные сводили в одну весовую категорию путём стандартизации их значений. Разделение лесничеств на кластеры производилось на основе матрицы расстояний: для некоррелированных переменных использовалось евклидово расстояние; для коррелированных, измеренных в разных единицах измерения и имеющих различные стандартные отклонения, – расстояние Махаланобиса. Распределение кластеров на плоскости заданных факторов проводилось по разделяющей (дивизивной) стратегии.

В окончательном виде решение классификационной задачи осуществляется при помощи дискриминантного анализа. В результате получаем распределение всех объектов с критериально-статистической оценкой принадлежности каждого из них к однородному кластеру по внутрикластерному расстоянию Евклида (при $P > P_{05}$). Статистическая достоверность различий между отдельными кластерами объектов оценивается по суммарному межкластерному расстоянию Махаланобиса (при $P < P_{05}$).

Результаты исследований. Брянская область – одна из экономически развитых областей Нечерноземного центра. В географическом отношении территория области весьма своеобразна. Здесь находится стык трёх ландшафтно-географических зон, в каждой из которых немаловажную

роль играют природные условия, влияющие на специализацию и уровень развития лесного хозяйства. Особую важность при лесном районировании оказывает и радиоактивное загрязнение территории области в результате аварии 26 апреля 1986 года на Чернобыльской АЭС.

Низшей единицей лесохозяйственного районирования и исходной единицей сбора информации является лесничество – основное подразделение гослесфонда, обладающее возможностями для осуществления устойчивого управления лесами в конкретных условиях на своей территории. Невозможность принятия более мелкой единицы обоснована ранее А.С. Шейнгаузом [26].

К анализу взяты 34 переменных, изменяющие свои значения в пределах границ области.

Почвенно-климатические переменные представлены показателями, характеризующими потенциальную продуктивность почв, выраженную в баллах от «0 – очень бедные» до «6 – очень богатые» (X_3 – X_7), и агроклиматическими показателями – суммарной обеспеченностью теплом (X_8), продолжительностью весны (X_9), увлажнением весной (X_{10}), средней температурой наиболее тёплого (X_{11}) и холодного (X_{12}) месяцев. При этом для распределения почв по области использованы результаты исследований, проведённых МГУ [27].

Структура земель лесного фонда (%) представлена общей площадью земель, покрытых лесом (X_{13}), фондом лесовосстановления (X_{14}), общей площадью лесных земель (X_{15}), общей площадью сельскохозяйственных (пашни, сенокосы, пастбища, сады, ягодники) (X_{16}), водами (X_{17}), протяжённостью на 1 км² лесного фонда дорог и просек (X_{18}), усадьбами (X_{19}), болотами (X_{20}), песками (X_{21}), прочими землями (X_{22}), общей площадью нелесных земель (X_{23}).

Показатели, характеризующие структуру площадей под типами лесов (%),

представлены долей светлохвойных (X_{24}), темнохвойных (X_{25}), твердолиственных (X_{26}), мягколиственных (X_{27}) лесов, а также под кустарниками (X_{28}). Продуктивность и сомкнутость древостоев представлена средневзвешенными бонитетом и полнотой соответственно под хвойными (X_{29}), (X_{32}), твердолиственными (X_{30}), (X_{33}) и мягколиственными типами лесов (X_{31}), (X_{34}).

В анализе многомерной группировки хозяйствующих субъектов задействованы все 18 лесничеств. Переменные, используемые в исследованиях, непосредственно или косвенно отражают экономические, социальные и экологические факторы.

Факторизация проведена по установленным корреляционным связям между всеми парами переменных по исходным данным, включая геопозиционирование объектов – северную широту (X_1) и восточную долготу (X_2).

Достоверная многомерная классификация лесничеств по комплексу показателей возможна лишь после устранения автокорреляции между переменными методом факторного анализа или главных компонент. При его проведении оценена корреляция между парно связанными переменными, использованными для исследований. Критическое значение коэффициента корреляции на 5-процентном доверительном уровне значимости равно 0,449. При этом 86 (15 %) коэффициентов корреляции из общего числа значимы. Линейные тесные связи корреляции (с коэффициентом Пирсона $r \geq 0,7$) имеют, в большинстве своём, следующие переменные: почвы с потенциальной продуктивностью 1, 2, 4, 5 и 6 (X_3 , X_4 , X_5 , X_6 и X_7) с агроклиматическими факторами (X_8 , X_9 , X_{10} , X_{11} , X_{12}); агроклиматические факторы в свою очередь с геопозиционированием лесничеств по долготе восточной (X_2); отдельные категории земель структуры лесного фонда между собой; площади под типами лесов (X_{27} – X_{28}) с категориями земель структуры лесного фонда.

Освобождение переменных от автокорреляции выполнено по критерию Дарбина–Уотсона [25]. Нагрузки на оси первой (X_1) и второй (X_2) переменных до вращения (рис. 1) и после «варимакс» вращения системы координат (рис. 2) представлены с использованием расстояния Евклида.

После вращения системы координат структура нагрузок существенно упростилась. Явно коррелированные между собой переменные, объединяемые в понятие

главного компонента или фактора, стали располагаться ближе друг к другу. Упрощение структуры факторных нагрузок позволяет наглядно по рис. 2, без дополнительных статистических оценок, выявить число главных компонент, как минимум, равное четырём.

Соотношение автокоррелированных переменных после поворота осей координат позволило получить собственные значения факторов (табл. 1) и показать их на графике (рис. 3).

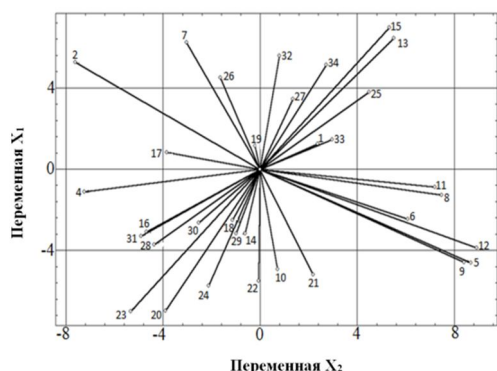


Рис. 1. Нагрузки на оси переменных X_1 и X_2 до вращения системы координат

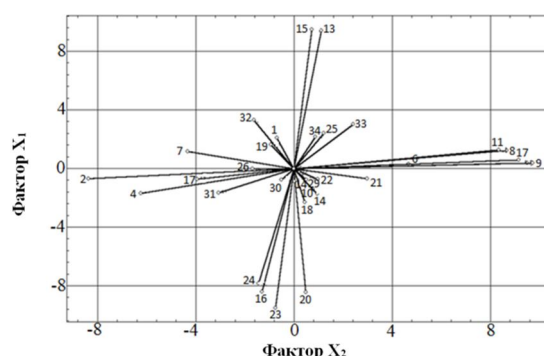


Рис. 2. Нагрузки на оси факторов X_1 и X_2 после вращения системы координат

Таблица 1

Собственные значения и процент объясняемой дисперсии факторов относительно номеров главных компонент

Показатели	Собственные значения и объясняемые дисперсии факторов					
	1	2	3	4	5	6
Номера главных компонент	1	2	3	4	5	6
Собственные значения	8,089	6,328	4,732	3,371	2,566	1,938
Дисперсия, %	23,79	18,61	13,92	9,91	7,54	5,70
Накопленная дисперсия, %	23,79	42,40	56,32	66,23	73,77	79,47



Рис. 3. Изменение дисперсий и собственных значений факторов относительно номеров факторов

Числовые (табл. 1) и графически представленные собственные значения факторов и дисперсий относительно номеров факторов (рис. 3) позволили обоснованно определить необходимое число главных компонент. В нашем случае их количество составляет от 3 до 6, они охватывают накопленную дисперсию соответственно от 56 до 79 %. Такое число главных компонент подтверждено графическим критерием «каменистой осыпи» Кеттелла.

Объективность распределения нагрузок на факторные оси подтвердим примером. Коэффициент корреляции $R=0,941$ соответствует тесноте связи между показателями X_{13} и X_{15} ; $R=0,704$ между X_{16} и X_{28} ; $R=0,840$ между X_{20} и X_{23} ; $R=0,997$ между X_8 и X_{11} ; $R=0,796$ между X_8 и X_9 и т.д. Расшифровка аббревиатуры перечисленных переменных позволяет более полно представить наличие взаимосвязей анализируемого комплекса переменных.

Оценка переменных по общности и специфичности позволяет более объек-

тивно оценить особенности формирования главных компонент из представленного к анализу комплекса переменных. Так, из 34 переменных 29 являются общими для лесничеств Брянской области и пять переменных проявляют специфичность (водные объекты, усадьбы, пески, продуктивность твердолиственных пород, полнота хвойных насаждений). При изменении числа главных компонент соотношение доли общности и специфичности меняется. Так, специфичность переменных лучше проявляется при уменьшении числа главных компонент. В нашем случае оптимальным количеством следует считать шесть главных компонент.

Завершающим этапом факторизации является распределение факторных нагрузок по шести главным компонентам после «варимакс» вращения системы координат (табл. 2), позволяющее определить перечень переменных, сформировавших каждый главный компонент, и дать ему семантическую интерпретацию.

Таблица 2

Факторные нагрузки по шести главным компонентам после «варимакс» вращения системы координат

Переменные		Факторные нагрузки после вращения по номерам главных компонент					
		1	2	3	4	5	6
Северная широта		-0,022	0,166	-0,655	0,524	0,155	-0,101
Восточная долгота		-0,832	-0,079	0,284	0,221	0,047	0,294
Класс продуктивности почв	первый	0,951	0,043	-0,235	0,0209	0,001	0,096
	второй	-0,692	-0,174	-0,455	-0,166	0,214	0,358
	третий	0,941	0,046	-0,291	0,041	-0,017	-0,083
	четвертый	0,509	0,045	-0,340	0,104	-0,081	-0,710
	шестой	-0,369	0,115	0,841	0,092	-0,172	-0,045
Суммарная обеспеченность теплом		0,871	0,121	0,331	0,062	-0,092	0,270
Весна	продолжительность	0,951	0,043	-0,235	0,021	0,001	0,096
	увлажнение	0,039	-0,129	-0,889	-0,068	0,149	-0,289
Средняя температура	наиболее тёплого месяца	0,842	0,126	0,384	0,065	-0,099	0,282
	наиболее холодного месяца	0,926	0,069	-0,222	0,075	-0,059	-0,248
Структура лесных земель	всего покрытых лесом, %	0,102	0,941	0,052	0,191	0,100	-0,142
	фонд лесовосстановлен., %	0,151	-0,226	-0,141	-0,067	-0,019	0,668
	всего лесных земель, %	0,097	0,938	0,120	0,240	0,059	0,003

Окончание таблицы 2

Переменные		Факторные нагрузки после вращения по номерам главных компонент					
		1	2	3	4	5	6
Структура нелесных земель	сельхозугодья, %	-0,126	-0,833	0,093	0,179	0,184	0,115
	воды, %	-0,492	-0,077	-0,366	0,149	-0,219	0,102
	протяжён. дорог и просек на 1 км ² лесного фонда	-0,042	-0,229	-0,174	-0,094	-0,722	0,151
	усады и пр., %	-0,067	0,127	-0,107	0,110	0,601	0,099
	болота, %	0,054	-0,830	0,059	-0,385	0,031	-0,176
	пески, %	0,366	-0,056	-0,191	-0,469	-0,046	-0,146
	прочие, %	0,080	-0,055	-0,507	-0,490	-0,345	0,054
	всего нелесных земель, %	-0,097	-0,938	-0,120	-0,240	-0,059	-0,003
Структура площадей по типам лесов на покрытых лесом землях	светлохвойные, %	-0,008	-0,047	-0,196	-0,831	-0,306	0,240
	тёмнохвойные, %	0,158	0,198	-0,255	0,775	0,129	-0,266
	твёрдолиственные, %	-0,148	0,036	0,913	-0,038	-0,125	-0,234
	мягколиственные, %	0,003	-0,074	-0,099	0,784	0,457	-0,052
	кустарники, %	-0,122	-0,813	-0,095	0,198	-0,091	0,266
Средневзвешенные таксационные показатели насаждений по типам лесов	класс бонитета	хвойные	0,027	-0,095	-0,310	-0,213	0,726
		тв.листв.	-0,089	-0,010	-0,004	-0,507	0,036
		м.листв.	-0,312	-0,147	-0,028	-0,666	0,483
	полнота	хвойные	-0,224	0,320	0,012	0,497	-0,247
		тв.листв.	0,179	0,358	0,248	-0,170	-0,681
		м.листв.	0,031	0,169	-0,015	0,808	-0,273

В табл. 2 жирным шрифтом выделены максимальные факторные нагрузки, соответствующие переменным в разрезе шести главных компонент. Из них наиболее информативным является первый главный компонент, на который приходится 8,089 собственных значений факторов или 23,79 % дисперсии из всех 34 переменных, включённых в анализ.

Так, в состав первого главного компонента вошли:

- классы продуктивности почв 1 (X_3), 2 (X_4), 3 (X_5), 4 (X_6);
- суммарная обеспеченность теплом (X_8);
- продолжительность весны (X_9);
- средняя температура наиболее тёплого месяца (X_{11});
- средняя температура наиболее холодного месяца (X_{12}).

На второй главный компонент приходится 6,328 собственных значений фактора, охвативших 18,61 % дисперсии переменных. В его состав вошли следующие переменные:

- земли, покрытые лесом (X_{13});

- всего лесных земель (X_{15});
- сельхозугодья (пашни, сенокосы, пастбища, сады, ягодн.) (X_{16});
- болота (X_{20});
- всего нелесных земель (X_{23});
- кустарники (X_{28}).

На третий главный компонент приходится 4,732 собственных значения фактора, охвативших 13,9 % дисперсии переменных. Его составили следующие переменные:

- продуктивность почв 6 (X_7);
- увлажнение весной (X_{10});
- нелесные прочие земли (X_{22});
- площади под твёрдолиственными лесами (X_{26}).

На четвёртый главный компонент приходится 3,371 собственное значение фактора, охватившее 9,9 % дисперсии переменных. Его составили следующие переменные:

- площади под светлохвойными лесами (X_{24});
- площади под темнохвойными лесами (X_{25});
- площади под мягколиственными лесами (X_{27});

- средневзвешенный бонитет твердолиственных пород (X_{30});
- средневзвешенный бонитет мягколиственных пород (X_{31});
- средневзвешенная полнота мягколиственных пород (X_{34}).

На пятый главный компонент приходится 2,566 собственных значений фактора, охвативших 7,5 % дисперсии. Его составили следующие переменные:

- протяжённость дорог и просек на 1 км² лесного фонда (X_{18});
- усадьбы (X_{19});
- средневзвешенный бонитет хвойных пород (X_{29});
- средневзвешенная полнота твердолиственных пород (X_{33}).

На шестой главный компонент приходится 1,938 собственных значений фактора, охвативших 5,7 % дисперсии. Его составили следующие переменные:

- площади с продуктивностью почв 5 (X_6);
- фонд лесовосстановления (X_{14}).

В результате проведения факторного анализа ликвидирована автокорреляция между переменными, что позволило освободиться от так называемых «шумов» и получить координаты объектов в системе факторов. При этом выполнено важное условие факторизации – третье условие Гаусса–Маркова, согласно которому должны отсутствовать корреляции между главными компонентами. В нашем случае коэффициенты корреляции между факторами ниже 5-процентного уровня значи-

мости ($r_{05}=0,335$). Полученные координаты объектов в системе факторов использованы на следующем этапе решения классификационной задачи при проведении кластеризации.

Для решения задачи кластеризации объектов, согласно методике, была выбрана разделяющая (дивизивная) стратегия. Эта стратегия позволяет представить проекции кластеров на плоскость первого и второго факторов.

На рис. 4 наглядно представлено семь кластеров со статистическим расстоянием от каждого лесничества до центроида. Достоверность выделения семи групп лесничеств по шести главным компонентам подтверждается кластеризацией объектов, дополнительно проведённой по координатам объектов в системе 5-, 4- и 3-х главных компонент.

В результате анализа группировки таксонов (лесничеств) определено, что внутрикластерные расстояния Евклида находятся в пределах от $d^2 = 3,678$ – при дискриминации по трём главным компонентам, до $d^2 = 7,283$ – при дискриминации по пяти главным компонентам, а суммарное межкластерное расстояние Махаланобиса – в пределах от $D^2=1,831E6$ – при дискриминации по трём главным компонентам до $D^2=3,209E6$ – при дискриминации по шести главным компонентам. Во всех четырёх анализируемых вариантах дискриминантной оценки значимость D^2 превышает 5-процентный уровень доверительной вероятности.

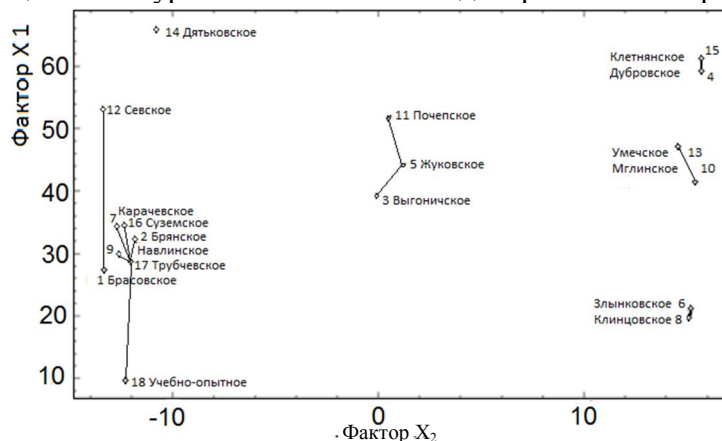


Рис. 4. Проекция семи кластеров на плоскость факторов X_1 и X_2 на основе 6 главных компонент

Последующая оценка различий между средними показателями переменных, участвующих в ресурсно-экологическом лесном районировании, выполнена по t-критерию Стьюдента. При этом выявлены переменные, которые оказывают влияние на различие между кластерами, и определена величина их дисперсий (табл. 3).

Представленное в табл. 3 распределение дисперсии переменных показывает, что дискриминация кластеров между собой обеспечивается в большинстве слу-

чаев почвенными переменными X_3 – X_7 , а между отдельными кластерами – климатическими переменными X_8 – X_{12} , показателями, характеризующими структуру площадей под типами лесов X_{24} – X_{28} , а также другими отдельными переменными, которые в сумме дают наибольшую дисперсию действующих переменных. Эти переменные обладают общностью и не претерпевают больших изменений в результате лесохозяйственной деятельности, рекреационных нагрузок и воздействия

Таблица 3

Распределение дисперсии переменных, определяющих различия между смежными кластерами

Переменные		Номера смежных кластеров										
		1..2	1..3	1..4	1..5	2..3	2..6	3..5	3..6	4..5	5..6	6..7
Продуктивность почв	1 класс	3,4	3,4	++				3,4			3,4	
	2 класс	2,5	2,5			2,5		2,5	2,5		2,5	2,5
	4 класс	3,3	3,3			3,3		3,3	3,3		3,3	3,3
	5 класс	1,8	1,8			1,8		1,8	1,8		1,8	1,8
	6 класс	3,8	3,8			3,8		3,8	3,8		3,8	3,8
Суммарная обеспеченность теплом		3,1	3,1					3,1			3,1	3,1
Весна	продолжительность	3,4	3,4					3,4			3,4	
	увлажнение											3,9
Температура средняя	наиболее тёплого месяца	3,0	++					3,0			3,0	3,0
	наиболее холодного месяца	3,3	3,3								3,3	
Лесные земли	всего покрытых лесом	3,3	3,3	3,3	3,3		+	++	+			++
	фонд лесовосстановления	++	2,7	++		2,7	2,7	2,7	2,7	+		
	всего лесных земель	++	3,3	3,3	3,3		++	+	+			++
Нелесные земли	сельхозугодья	+			+			+	+	+		
	воды				++		++	++	++	+		++
	протяжён. дорог и просек на 1 км ² лесного фонда	++	++	++	+		++		++			
	усадыбы и пр.	++				1,7	1,7			+		
	болота	++	++	2,9	2,9	+	++					+
	пески			++						++		
	прочие	+	+	2,2						2,2	++	2,2
	всего нелесн. земель	++	3,3	3,3	3,3		++	+	+			++
Площадь лесов	светлохвойных	++	++	1,9	1,9	1,9	1,9	++	1,9	1,9	++	
	тёмнохвойных	1,8		1,8	+	++	1,8		1,8	+	++	
	твёрдолиственных				+	++	4,0		+			4,0
	мягколиственных	++	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8			++		
	кустарников						+			+	+	+
Класс бонитета	хвойных						2,0		2,0		+	2,0
	тв.лиственных				+	+	1,1	++	1,1			+
	м.лиственных	+	+	+			1,5				++	++
Полнота	хвойных	+		+	+	++	1,8	+				
	тв.лиственных	+		+	+	1,8	+				+	+
	м.лиственных	+	+	+			1,8					
Сумма дисперсий переменных, определяющих различия, %		32,7	39,0	20,5	16,5	21,3	22,1	27,0	20,9	4,1	27,6	29,6

Примечание: в таблице цифрами приведены значения дисперсий переменных, имеющих различия на уровне доверительной вероятности $P=95\%$ и выше; знаком «++» – на уровне $80\% \leq P < 95\%$; знаком «+» – на уровне $60\% \leq P < 80\%$.

других факторов. Необходимо добавить, что важную роль при отнесении Клинцовского и Злынковского лесничеств к отдельному кластеру занимает высокий уровень загрязнения территории радионуклидами после аварии на Чернобыльской АЭС (от 5 до 40 и более Ки/км²).

Таким образом, проведённая классификация таксонов позволила выделить в действующей структуре управления лесами группы типичных лесничеств, представляющих отдельные ресурсно-экологические лесные районы (РЭЛР) Брянской области:

- Дубровско-Клетнянский лесной район (I РЭЛР), включает Дубровское и Клетнянское лесничества;
- Дятьковский лесной район (II РЭЛР), включает Дятьковское лесничество;
- Жуковско-Почепский лесной район (III РЭЛР), включает Жуковское, Выгоничское и Почепское лесничества;
- Клинцовско-Злынковский лесной район (IV РЭЛР), включает Клинцовское и Злынковское лесничества;
- Мглинско-Унечский лесной район (V РЭЛР), включает Мглинское и Унечское лесничества;
- Карачево-Суземский лесной район (VI РЭЛР), включает Карачевское, Брян-

ское, Учебно-опытное, Навлинское, Трубчевское и Суземское лесничества;

- Брасово-Севский лесной район (VII РЭЛР), включает Брасовское и Севское лесничества.

При этом выявлено, что Суражское участковое лесничество Клинцовского лесничества, отнесённое к IV РЭЛР, по комплексной оценке сходно с Мглинским лесничеством, отнесённым к V РЭЛР. Аналогично этому Негинское участковое лесничество Суземского лесничества (VI РЭЛР) сходно с Севским лесничеством (VII РЭЛР). Таким образом, в случае реорганизации лесничеств необходимо учесть, что Суражское участковое лесничество Клинцовского лесничества по комплексной оценке желательно присоединить к Мглинскому лесничеству, а Негинское участковое лесничество Суземского лесничества присоединить к Севскому лесничеству.

Для сохранения целостности (контуров) лесных районов была проведена незначительная корректировка принадлежности лесничеств к однородному классу, что позволило получить карту-схему ресурсно-экологических лесных районов Брянской области (рис. 5).



Рис. 5. Карта-схема ресурсно-экологических лесных районов Брянской области

Выводы. По результатам исследований почвенно-климатических и лесорастительных, экологических и других условий, оценки существующих лесных районирований лесов области сделаны следующие выводы:

- сложные почвенно-климатические, экологические, лесорастительные условия и множество таксационных параметров лесов области обуславливают использование большого комплекса переменных и их анализ с использованием многомерных статистически-классификационных методов при районировании лесов;

- границы существующих лесных районов области достоверно не обоснованы и в полной мере не могут удовлетворять практическим и теоретическим запросам лесного хозяйства;

- выделенные ресурсно-экологические лесные районы Брянской области имеют

наименьшую изменчивость включённых в анализ показателей и потому соответствуют понятию типичности (однородности) по всему перечню задействованных показателей государственного учёта лесного фонда;

- предложенные контуры ресурсно-экологических лесных районов отличаются не только по лесорастительным условиям, но и по экономическим, экологическим показателям и имеют большое значение при разработке новых нормативов для оценки и управления лесными ресурсами;

- составленная «Карта-схема ресурсно-экологических лесных районов Брянской области» может служить основой для типологического, экологического, экономического и иных видов дробного или целевого районирования, а также для других научных и производственных целей.

Список литературы

1. Лесной Кодекс Российской Федерации: федер. закон: [принят Гос. Думой 08 нояб. 2006 г.]. – М.: Проспект : КноРус, 2010. – 48 с.
2. Физико-географическое районирование Тюменской области / ред. Н.А. Гвоздецкий. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 246 с.
3. Арманд, Д. Л. Наука о ландшафте: Основы теории и логико-математические методы / Д.Л. Арманд. – М.: Мысль, 1975. – 286 с.
4. Мильков, Ф.Н. Физическая география СССР. Общий обзор европейской части СССР. Кавказ. Изд. 4 / Ф.Н. Мильков, Н.А. Гвоздецкий. – М.: Высшая школа, 1976. – 448 с.
5. Исаченко, А.Г. Методы прикладных ландшафтных исследований / А.Г. Исаченко. – Л.: Наука, 1980. – 222 с.
6. Прокаев, В.И. Об учете антропогенной дифференциации суши при физико-географическом районировании / В.И. Прокаев // География и природные ресурсы. – 1980. – № 2. – С. 24–30.
7. Шейнгауз, А.С. Комплексное лесохозяйственное районирование / А.С. Шейнгауз, А.А. Дорофеева, Д.Ф. Ефремов, А.П. Сапожников. – Владивосток: Дальневосточное книжн. изд-во, 1980. – 142 с.
8. Михайлов, Н.И. Физико-географическое районирование / Н.И. Михайлов. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 183 с.
9. Сочава, В. Б. Проблемы физической географии и геоботаники. Избранные труды / В.Б. Сочава. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1986. – 343 с.
10. Крылов, Г.В. Лесные ресурсы и лесорастительное районирование Сибири и Дальнего Востока / Г.В. Крылов. – Новосибирск: изд-во Сибирского отд. АН СССР, 1962. – 240 с.
11. Колесников, Б.П. Лесотехнологическое районирование и порайонная специализация лесохозяйственных мероприятий на территории Большого Урала / Б.П. Колесников. – Красноярск: Институт леса и древесины СО АН СССР, 1963. – 128 с.
12. Цепляев, В.П. Леса СССР / В.П. Цепляев. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 216 с.
13. Шумилова, Л.В. Ботаническая география Сибири / Л.В. Шумилова. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1962. – 439 с.
14. Смагин, В.Н. Типы лесов Южной Сибири / В.Н. Смагин, С.А. Ильинская, Д.И. Назимова, и др. – Новосибирск: Наука, 1980. – 336 с.
15. Смагин, В.Н. Леса бассейна реки Уссури / В.Н. Смагин. – М.: Изд-во «Наука», 1965. – 272 с.
16. Курнаев, С.Ф. Дробное лесорастительное районирование Нечерноземного центра / С.Ф. Курнаев. – М.: Наука, 1982. – 120 с.
17. Курнаев, С.Ф. Лесорастительное районирование СССР / С.Ф. Курнаев. – М.: Изд-во «Наука», 1973. – 204 с.

18. Киреев, Д.М. Лесное ландшафтоведение: учебное пособие / Д.М. Киреев. – СПб.: СПбГЛТА, 2007. – 540 с.
19. Смолоногов, Е.П. Система районирования лесных территорий на примере Урала / Е.П. Смолоногов, Н.Н. Чернов // Лесоведение. – 2005. – № 2. – С. 67-71.
20. Манович, В.Н. Лесорастительное районирование как один из основных элементов, лежащих в основе лесного кадастра / В.Н. Манович // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2006. – Т. 2, № 1. – С. 220-223.
21. Фрейберг, И.А. Лесорастительное районирование зауральской лесостепи / И.А. Фрейберг, С.В. Залесов, Н.А. Луганский // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2007. – № 2. – С. 34-40.
22. Кузьменко, Е.И. Эколого-географическое низовое районирование лесных территорий / Е.И. Кузьменко // География и природные ресурсы. – 2008. – № 3. – С. 139-144.
23. Чернов, Н.Н. Вклад уральских лесоводов в разработку теоретических основ районирования лесов / Н.Н. Чернов // Леса России и хозяйство в них. – 2009. – № 3 (34). – С. 4-9.
24. Кашпор, Н.Н. Схема лесного районирования Российской Федерации / Н.Н. Кашпор, А.А. Мартынюк, В.И. Желдак и др. // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. – 2011. – № 3. – С. 17-24.
25. Дж.-О. Ким. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: пер. с англ. / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др.; под ред. И. С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
26. Шейнгауз, А.С. Опыт лесохозяйственного районирования на основе математико-статистической оценки классификационных признаков / А.С. Шейнгауз // Лесоведение. – 1975. – № 1. – С. 12-19.
27. Материалы по природно-экономической характеристике сельскохозяйственных микрорайонов СССР (опыт деления сельскохозяйственной территории СССР на микрорайоны в целях специализации и размещения сельского хозяйства) Часть 1. / Отв. редакт. И.И. Никишин. – М.: изд-во экономической литературы, 1962. – 892 с.

Статья поступила в редакцию 06.05.14.

Ссылка на статью: Устинов М.В., Устинов М.М. Ресурсно-экологическое районирование лесов Брянской области // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 3 (23). – С. 18-30.

Информация об авторах

УСТИНОВ Михаил Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоустройства, Брянская государственная инженерно-технологическая академия. Область научных интересов – проблемы организации и ведения лесного хозяйства и лесной таксации, математического моделирования и информационных технологий. Автор (соавтор) пяти монографий и учебных пособий, более 60 методических разработок и статей.

УСТИНОВ Максим Михайлович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства, Российский государственный аграрный университет (МСХА) им. К.А. Тимирязева. Область научных интересов – проблемы организации и ведения лесного хозяйства и лесной таксации, математического моделирования лесных экосистем и информационных технологий. Автор трёх монографий и учебных пособий, более 20 методических разработок и статей.

RESOURCE AND ECOLOGICAL ZONING OF FORESTS IN BRYANSK OBLAST

M. V. Ustinov¹, M. M. Ustinov²¹ Bryansk State Engineering Academy,
26, Lenin avenue, Bryansk, 241050, Russian Federation
E-mail: mvustinov@mail.ru² Russian Timiryazev State Agrarian University,
49, Timiryazevskaya St. (Building № 6), Moscow, 127550, Russian Federation
E-mail: max32br@rambler.ru**Key words:** zoning; factor; variable; forestry; typicality; cluster; dispersion.

ABSTRACT

Forestry zoning has always been and still is of great importance for forest management. According to the Forest Code (2006), there was a radical change in the attitude to the forest lands rating towards their multipurpose use. Effective management of forestry and forest industry requires modern systematization of the division of the forest fund territory into the typical areas. **The purpose of the research** is to divide the Bryansk region territory into resource-ecological forest areas with the use of multivariate statistical methods. An assessment of the complex of 34 variables which are the characteristics of soil-climatic, ecological, forest and forest valuation factors was carried out. Besides the considered variables show economic, social and ecological factors in all the 18 forestries of the region. Six main components of the explained factors were determined. According to the Euclidean distance, soil and climatic factors have the greatest load. The second place in the load level take the areas of separate structures of the forest fund, the areas depending on the types of forests and taxation indices by forests' types. When clustering along the separation strategy, 7 groups of forestries by six main components were revealed. Their reliability is confirmed by clustering of the objects, subsequently conducted by the coordinates of objects in the system of 5 -, 4 - and 3 principal components. In the four analyzed variants of the discriminant assessment, an intercluster Mahalanobis distance (D^2) exceeds the 95 percent confidence level. An assessment of the differences between the averages of variables according to the Student's t-test revealed the variables influencing the difference between clusters. **Thus**, the selected clusters have the lowest variability of indicators, included in the analysis, and therefore they correspond to the notion of typicality (homogeneity) for the entire list of indicators involved. "A schematic map of the resource-ecological forest areas of the Bryansk region" which may serve as a basis for the typological, ecological, economic and other types of fractional or ambitious zoning as well as for other scientific and industrial purposes was made.

REFERENCES

1. Lesnoy Kodeks Rossiyskoy Federatsii: feder. zakon. Prinyat Gos. Dumoy 08 noyabrya 2006 g. [Forestry Code of the Russian Federation: federal law; adopted by State Duma on the 8th of November 2006]. Moscow: Prospekt : KnoRus, 2010. 48 p.
2. Fiziko-geograficheskoe rayonirovanie Tyumenskoi oblasti: nauchnoe izdanie; red. N.A. Gvozdetkiy [Physical and Geographical Regionalization in Tyumensk Oblast: study guide; under the editorship of N.A. Gvozdetkiy]. Moscow: Izd-vo MGU, 1973. 246 p.
3. Armand D. L. *Nauka o landshafte: osnovy teorii i logiko-matematicheskie metody* [The Science of Landscape: the Foundations of Theory and Logico-Mathematical Methods]. Moscow: Mysl, 1975. 286 p.
4. Milkov F.N., Gvozdetkiy N.A. *Fizicheskaya geografiya SSSR. Obshchiy obzor evropeyskoy chasti SSSR. Kavkaz. Izd. 4* [General Review of European USSR]. Moscow: Vysshaya shkola, 1976. 448 p.
5. Isachenko A.G. *Metody prikladnykh landshaftnykh issledovaniy* [Methods of Applied Landscape Researches]. Leningrad: Nauka, 1980. 222 p.
6. Prokaev V.I. Ob uchete antropogennoy differentsiatsii sushy pri fiziko-geograficheskom rayonirovanii [On the Role of Anthropogenic Land Differentiation in Case of Physico-Geographical Zoning]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources]. 1980. № 2. Pp. 24-30.
7. Sheingauz A.S., Dorofeeva A.A., Efremov D.F., Sapozhnikov A.P. *Kompleksnoe lesokhozyaystvennoe rayonirovanie* [Complex Forest Zoning]. Vladivostok: Dalnevostochnoe knizhnoe izdatelstvo, 1980. 142 p.
8. Mikhaylov N.I. *Fiziko-geograficheskoe rayonirovanie* [Physico-Geographical Zoning]. Moscow: Izdatelstvo MGU, 1986. 183 p.
9. Sochava V. B. *Problemy fizicheskoi geografii i geobotaniki. Izbrannye trudy* [Problems of Physical Geography and Geobotany: selecta]. Novosibirsk: Nauka, Sibirskoe otdelenie, 1986. 343 p.
10. Krylov G.V. *Lesnye resursy i lesorastitelnost rayonirovanie Sibiri i Dalnego Vostoka* [Forest Resources and Forest Zoning in Siberia and Far East]. Novosibirsk: izdatelstvo Sibirskogo otd. AN SSSR, 1962. 240 p.
11. Kolesnikov B.P. *Lesotekhnologicheskoe rayonirovanie i porayonnaya spetsializatsiya lesokhozyaystvennykh meropriyatiy na territorii Bolshogo Urala* [Forest Zoning and District Specialization of For-

est Activities at the Territory of Bolshoy Ural.]. *Institut lesa i drevesiny SO AN SSSR* [Institute of Forest and Timber, SO AN SSSR]. Krasnoyarsk, 1963. 128 p.

12. Tseplyaev V.P. *Lesy SSSR* [SSSR Forests]. Moscow: Selkhozizdat, 1961. 216 p.

13. Shumilova L.V. *Botanicheskaya geografiya Sibiri* [Botanical Geography of the Siberia]. Tomsk: Izdatelstvo Tomskogo universiteta, 1962. 439 p.

14. Smagin V.N., Ilinskaya S.A., Nazimova D.I., Novoseltseva I.F., Cherednikova Yu.S. *Tipy lesov Yuzhnoy Sibiri* [South Siberia Types of Forests]. Novosibirsk: Nauka, 1980. 336 p.

15. Smagin V.N. *Lesy basseyna reki Ussuri* [Forests in the Ussuri Basin]. Moscow: Izdatelstvo «Nauka», 1965. 272 p.

16. Kurnaev S.F. *Drobnoe lesorastitelnoe rayonirovaniye Nechernozemnogo tsentra* [Fraction Forest Zoning in the Non-Black Soiling District]. Moscow: Nauka, 1982. 120 p.

17. Kurnaev S.F. *Lesorastitelnoe rayonirovaniye SSSR* [SSSR Forest Zoning]. Moscow: Izdatelstvo «Nauka», 1973. 204 p.

18. Kireev D.M. *Lesnoe landshaftovedenie: uchebnoe posobie* [Forest Landscape Science: study guide]. Saint - Petersburg: SPbGLTA, 2007. 540 p.

19. Smolonogov E.P., Chernov N.N. Sistema rayonirovaniya lesnykh territoriy na primere Urala [Forest Territories Zone System (based on the example of the Ural)] *Lesovedenie* [Forestry]. 2005. № 2. Pp. 67-71.

20. Manovich V.N. Lesorastitelnoe rayonirovaniye kak odin iz osnovnykh elementov, lezhashchikh v osnove lesnogo kadastra [Forest Zoning as One of the Main Elements, Laid in the Basis of Forest Cadaster]. *Interyekspo Geo-Sibir*. 2006. Volume. 2. № 1. Pp. 220-223.

21. Freiberg I.A., Zalesov S.V., Luganskiy N.A. Lesorastitelnoe rayonirovaniye zauralskoy lesostepi [Forest Zoning of Trans-Uralian Forest-Steppe]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of Higher Institutions. Forest Journal]. 2007. № 2. Pp. 34-40.

22. Kuzmenko E.I. Ekologo-geograficheskoe ni-

zovoe rayonirovaniye lesnykh territoriy [Ecological and Geographic Grassroots Zoning of Forests]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources]. 2008. № 3. Pp. 139-144.

23. Chernov N.N. Vklad uralskikh lesovodov v razrabotku teoreticheskikh osnov rayonirovaniya lesov [Contribution of the Uralian Foresters to the Elaboration of the Theory of Forests Zoning]. *Lesy Rossii i khozyaystvo v nikh* [Russian Forests and their Management]. 2009. № 3 (34). Pp. 4-9.

24. Kashpor N.N., Martynyuk A.A., Zheldak V.I., Sidorenkov V.M., Trushina I.G., Kudryashov P.V., Solontsov O.N. Skhema lesnogo rayonirovaniya Rossiyskoi Federatsii [A Scheme of Forest Zoning in the Russian Federation]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa - Lesnoi vestnik* [Vestnik of Moscow Forest University – Forest Vestnik]. 2011. № 3. Pp. 17-24.

25. Kim Dzh.-O., Muller Ch.U., Klekka U.R. et al. Faktornyy, diskriminantnyy i klasternyy analiz: per. s angl.; pod. red. I. S. Enyukova [Factor, Discriminant and Cluster Analysis: translated from English; under the editotship of Enyukov I.S.]. Moscow: Finansy i statistika, 1989. 215 p.

26. Sheingauz A.S. Opyt lesokhozyaystvennogo rayonirovaniya na osnove matematiko-statisticheskoy otsenki klassifikatsionnykh priznakov [Forest Zoning Experience on the Basis of Mathematical and Statistical Assessment of the Criterion of Classification]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1975. № 1. Pp. 12-19.

27. Materialy po prirodno-ekonomicheskoy kharakteristike selskokhozyaystvennykh mikrorayonov SSSR (opyt deleniya selskokhozyaystvennoy territorii SSSR na mikrorayony v tselyakh spetsializatsii i razmeshcheniya selskogo khozyaystva); otv. redaktor I.I. Nikishin; chast 1 [Materials on the Natural and Economic Characteristics of Agricultural MicroDistricts of the USSR (an experience of division of the USSR agricultural territory into micro-districts with the aim to specialize and arrange agriculture.)]. Moscow: izdatelstvo ekonomicheskoy literatury, 1962. 892 p.

The article was received 06.05.14.

Citation for an article: Ustinov M. V., Ustinov M. M. Resource and ecological zoning of forests in bryansk oblast. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2014. No 3(23). Pp. 18-30.

Information about the authors

USTINOV Mikhail Vasilyevich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Forest Surveying, Bryansk State Engineering Academy. Research interests – organization and management of forests and forest inventory implementation, mathematic simulation and IT technologies. The author (coauthor) of five monographs and study guides, more than 60 guidance papers and articles.

USTINOV Maxim Mikhaylovich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Forestry, Russian Timiryazev State Agrarian University. Research interests – problems of forest and forest inventory management, mathematical simulation of forest ecosystems and IT technologies. The author of three monographs and study guides, more than 20 methodic papers.

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630*37

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ САМОХОДНЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН

Е. М. Царев, Е. М. Онучин, А. В. Кренев

Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: 651020@mail.ru

Проведено моделирование процессов функционирования системы автоматизированного управления манипулятором самоходной лесной машины. Выделено несколько этапов, составляющих хронологическую последовательность событий, характеризующих функционирование автоматизированной системы: сканирование площадки для размещения сортирента, нахождение графа перехода текущей конфигурации манипулятора в состояние, обеспечивающее захват сортирента, изменение конфигурации манипулятора путём подачи управляющих импульсов на гидроприводы. Приведены результаты моделирования вышеприведённых событий с найденными оптимальными параметрами.

Ключевые слова: моделирование; планирование; конфигурация сканирования площадки; распознавание объекта; алгоритм решения.

Введение. Механизация и автоматизация технологических и производственных процессов в различных отраслях промышленности предполагает широкое использование манипуляторов, выполняющих функции по доставке предмета труда или рабочих органов к месту выполнения технологических операций. При этом в ряде отраслей промышленности, таких как технический сервис транспортных и технологических машин, лесозаготовительная промышленность, сельское и лесное хозяйство, большого развития не произошло. Большой вклад в научное обоснование, теоретическую разработку, практическое применение систем автоматики и телемеханики внесли как зарубежные М. Ruscha [1], А. Shiriaev [2], S. Wester-

berg [2], так и отечественные учёные, такие как С.Е. Анисимов [3], И.Н. Багаутдинов [4], В.А. Грязин [5], П.М. Мазуркин [6], А.И. Павлов [7], Я.И. Шестаков [8]. Необходимо отметить, что к настоящему времени накоплен большой опыт в данном направлении и это позволяет использовать полученные знания при проектировании технологического оборудования, учитывающие особенности условий труда. В то же время недостаточно исследована проблема создания манипуляторов с применением систем автоматизации и автоматики управления технологическим оборудованием.

Актуальность исследования определяется неудовлетворительным уровнем механизации и автоматизации ряда работ

в лесной промышленности и лесном хозяйстве, а также в области технического обслуживания и несложного текущего ремонта машин и оборудования лесного комплекса.

Цель работы – повышение эффективности и расширение функциональных возможностей автоматизированных манипуляторов для самоходных лесных машин.

Для достижения поставленной цели решаются **задачи**, связанные с:

- описанием движений автоматизированного манипулятора лесной машины,
- нахождением уравнений динамики движения автоматизированного манипулятора лесной машины.

В настоящее время идёт исследование в области автоматизации гидравлических приводов, где выделены основные задачи:

- создать автоматический гидравлический привод для работы на самоходных машинах;
- сделать управление позиционным или контурным;
- создать автоматический привод, который мог бы доставлять предметы из начальной точки в конечную, обходя препятствия;
- создать манипулятор, который мог бы проложить сам себе путь к объекту.

Одним из этапов исследования самоходных машин (СМ) является проведение статических и динамических расчётов механизмов манипулятора и проведение динамических расчётов гидроприводов, позволяющих исследовать рабочие процессы с учётом влияния конструктивных и эксплуатационных факторов. Такие исследования на начальных этапах проектирования манипулятора с применением систем автоматизированного проектирования (САПР) позволяют сократить затраты на экспериментально-доводочные работы по выявлению дефектов и совершенствованию конструкций [9–10].

Важнейшей составной частью САПР являются системы автоматизации моделирования (САМ). Моделирование в таких

системах осуществляется под непосредственным контролем пользователя в форме человеко-машинного диалога. САМ позволяют оперативно оценивать функционирование систем СМ, составляющих его подсистем и устройств. Моделирование – это основной метод исследования во всех областях знаний [11]. Методы моделирования находят применение при исследовании, проектировании, внедрении вычислительных систем и автоматизированных систем управления.

Планирование движений манипулятора с использованием САМ позволяет добиться уменьшения погрешностей механизмов манипулятора, высокой точности позиционирования, плавности движений, быстроедействия, отсутствия колебаний и перерегулирования при остановках.

Для достаточно высокой точности, описывающей реальную систему, мы применили имитационное моделирование, которое позволит описать поведение системы во времени, а также учесть причинные связи, нелинейности, характерные для процессов функционирования систем автоматизированного управления. При этом взаимосвязь между отдельными элементами системы, описанными в модели, а также некоторыми параметрами, может быть представлена в виде аналитических зависимостей (например, при моделировании процесса приведения текущей конфигурации манипулятора к требуемому состоянию отработка алгоритма может быть описана на уровне логики, а возникающие процессы в гидроприводах рассчитываются аналитически). Кроме того, применение имитационного моделирования целесообразно по следующим причинам:

1) характер процессов, протекающих в системе автоматизированного управления манипулятором самоходной машины, не позволяет описать эти процессы в аналитической форме;

2) необходимо наблюдать за поведением системы в течение определённого

периода, в том числе с изменением скорости протекания процессов;

3) исследуемая система управления является элементом более сложной системы.

Наиболее перспективным подходом к моделированию, в контексте исследования процессов функционирования системы автоматизированного управления манипулятором самоходной лесной машины, является дискретно-событийное моделирование. Данный вид имитационного моделирования позволяет представить функционирование системы как хронологическую последовательность событий, что даёт возможность разбить процесс функционирования на отдельные этапы и рассмотреть их по отдельности [11–12].

Дискретно-событийное моделирование как подход к моделированию систем автоматизированного управления подразумевает представление функционирования системы как хронологическую последовательность событий. При этом событие происходит в определённый момент времени и знаменует собой изменение состояния системы. В процессе функционирования системы автоматизированного управления манипулятором самоходной лесной машины можно выделить следующие события:

1) сканирование площадки, по которой случайным образом разбросан сортимент (в данном процессе можно выделить принцип координации, заключающийся в согласовании движений всех элементов системы во времени и по форме; реализация данного принципа обеспечивает максимальные темпы сканирования площадки при минимальной вероятности ошибочного определения точек захвата сортимента);

2) нахождение конечного автомата в виде таблицы переходов и выходов, либо графа для приведения текущей конфигурации манипулятора к требуемому состоянию (при моделировании данного события особое значение приобретает принцип оптимальности, который состоит в таком согласовании функций переходов системы

по конечному числу промежуточных состояний, при котором обеспечивается максимальная эффективность системы управления);

3) приведение в действие гидроприводов для осуществления перехода к нужной конфигурации (при этом используется принцип обратной связи, заключающийся в такой организации взаимодействия элементов в системе, при котором принятие решения осуществляется не только по информации о целях системы, но и по информации о фактическом (текущем) состоянии системы).

Данный подход позволяет представить динамику системы как последовательность операций. Следует заметить, что система автоматизированного управления манипулятором самоходной лесной машины является однопоточной, поскольку имеет только одно текущее событие. Данное обстоятельство позволяет значительно упростить систему управления, поскольку позволяет избежать трудностей с синхронизацией между несколькими текущими событиями [12].

Целью моделирования вышеприведённых событий является нахождение оптимальных параметров, являющихся ключевыми в рамках соответствующих процессов:

1) шаг сканирующей системы. Нахождение оптимального шага осуществляется путём построения графических диаграмм причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени, что позволит обеспечить максимальный темп сканирования при приемлемой вероятности определения точки захвата сортимента;

2) время определения графа для приведения текущей конфигурации манипулятора к требуемому состоянию;

3) частотные характеристики, характеризующие эффективность функционирования гидроприводов манипулятора самоходной лесной машины.

Сканирование площадки, по которой случайным образом разбросан сортимент,

является первой операцией в составе хронологической последовательности событий, описывающей процесс функционирования системы автоматизированного управления манипулятором самоходной лесной машины. Условием завершения данного события является определение конфигурации размещения сортимента в пределах площадки. Основными данными, которые собираются в рамках моделирования системы сканирования, являются массивы точек, характеризующих размещение сортимента. Результатом обработки этих данных являются координаты точек захвата сортимента, являющиеся входными параметрами системы, осуществляющей приведение текущей конфигурации манипулятора к требуемому состоянию.

Этапы моделирования системы сканирования площадки для размещения сортимента:

1) формирование площадки для размещения сортимента с произвольной конфигурацией неровностей;

2) распределение сортимента в пределах площадки;

3) имитация сканирования площадки с заданными шагами Δx и Δy (по соответствующим координатным осям), результатами которой являются массивы точек, характеризующих размещение сортимента;

4) выделение трендов, по которым определяются оптимальные точки захвата сортимента. Графически данную операцию можно представить в виде, показанном на рис. 1.

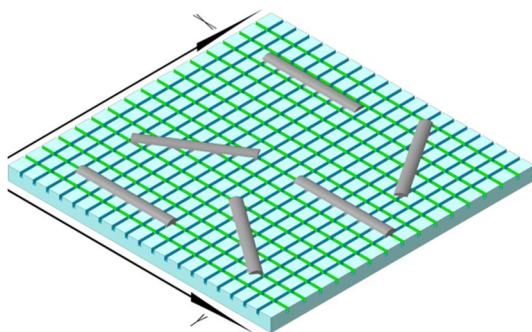


Рис. 1. Определение конфигурации размещения сортимента

Для реализации вышеприведённых этапов перспективно использовать пакет программ SolidWorks. Данный программный комплекс позволяет решить задачи, возникающие как в процессе построения произвольных поверхностей, так и в процессе определения линий трендов, путём поддержки разработанной программы для расчёта размещения сортимента. Вышеназванная программа выполнена в среде разработки приложений Netbeans на языке C++ [13].

Допущения, принятые при моделировании:

1) площадка для размещения сортимента имеет конечные размеры, которые являются неизменными в процессе моделирования;

2) размеры сортимента по длине и толщине являются постоянными величинами, которые задаются в начале моделирования;

3) размещение сортимента по площадке имеет конфигурацию, исключаящую пересечения;

4) расстояние между отдельными сортиментами превышает значение $\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$.

Приведение текущей конфигурации манипулятора к состоянию, обеспечивающему захват сортимента, является второй операцией в цепи событий, описывающих процесс функционирования системы автоматизированного управления манипулятором самоходной лесной машины. Условием завершения данного события является получение конечного автомата в виде таблицы переходов и выходов, либо графа для приведения текущей конфигурации манипулятора к требуемому состоянию. Основными данными, которые собираются в рамках моделирования системы, являются множества промежуточных состояний, обеспечивающих максимально высокий темп приведения манипулятора к заданной конфигурации. Следует заметить, что конечная конфигурация в значительной степени определяется выходными

данными предыдущей операции сканирования площадки для размещения сортамента. Критерием эффективности функционирования системы является минимальное время выполнения операции.

При моделировании системы контроля конфигурацией манипулятора можно выделить следующие этапы:

1) задаётся конечная конфигурация манипулятора, обеспечивающая захват сортамента;

2) определяется массив промежуточных состояний манипулятора путём элементарного приращения аргументов переходных функций в рамках дискретного автоматного времени, моментами которого являются такты;

3) из полученного массива выделяется состояние, обеспечивающее оптимальную промежуточную конфигурацию для перемещения манипулятора в направлении точки захвата сортамента;

4) этапы 2 и 3 повторяются до момента приведения конфигурации в требуемое состояние.

Графически данный алгоритм можно представить в виде, показанном на рис. 2.



Рис. 2. Алгоритм работы системы контроля конфигурацией манипулятора

Для реализации алгоритма функционирования системы для контроля конфигурации манипулятора использовался пакет программ MATLAB. Для визуального программирования алгоритма, а также оценки скорости вычисления конечного

графа использовалась программа Simulink, являющаяся элементом вышеназванного программного комплекса.

Допущения, принятые при моделировании:

1) переход между промежуточными состояниями выполняется за один такт;

2) не учитывалось время выбора оптимального промежуточного состояния.

Контроль работы гидроприводов является третьей операцией в составе хронологической последовательности событий, описывающей процесс функционирования системы автоматизированного управления манипулятором самоходной лесной машины. Условием завершения данного события является приведение текущей конфигурации манипулятора к состоянию, обеспечивающему захват сортамента. Основными данными, которые собираются в рамках моделирования системы контроля гидроприводами, являются частотные характеристики объекта управления, необходимые для оценки эффективности работы системы управления.

Этапы моделирования системы контроля гидроприводами:

1) разработка структурной схемы системы контроля гидроприводами;

2) имитация работы системы контроля гидроприводами на основе входных данных, полученных в результате выполнения предыдущей операции нахождения графа для приведения конфигурации манипулятора к требуемому состоянию;

3) анализ частотных характеристик объекта управления.

Поскольку построение и анализ частотных характеристик являются трудоёмкой задачей, для выполнения моделирования использовались инструменты программного пакета MATLAB. Моделирование работы системы управления гидроприводами осуществлялось с помощью программы Simulink.

Структурные схемы, которые использовались при моделировании системы контроля гидроприводами, представлены на рис. 3 и 4 [13].

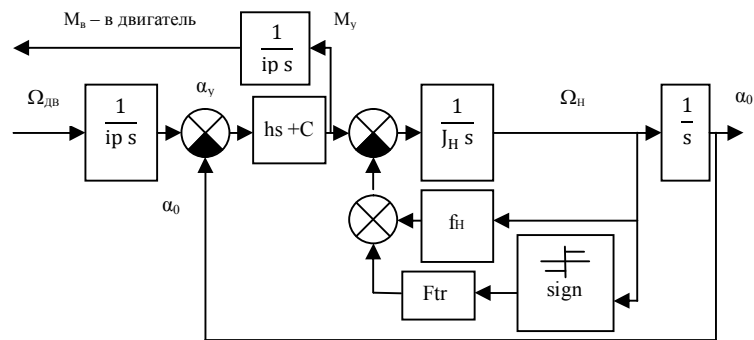


Рис. 3. Структурная схема объекта управления: s – оператор Лапласа; ip – передаточное число редуктора; h – коэффициент диссипативных сил передающего вала; C – коэффициент упругости передающего вала; J_H – момент инерции объекта управления; f_H – коэффициент вязкого трения объекта управления; $F_{тр}$ – коэффициент сухого трения объекта управления; $\Omega_{дв}$ – угловая скорость двигателя; Ω_H – угловая скорость объекта управления; M_B – момент упругих сил, действующих на двигатель

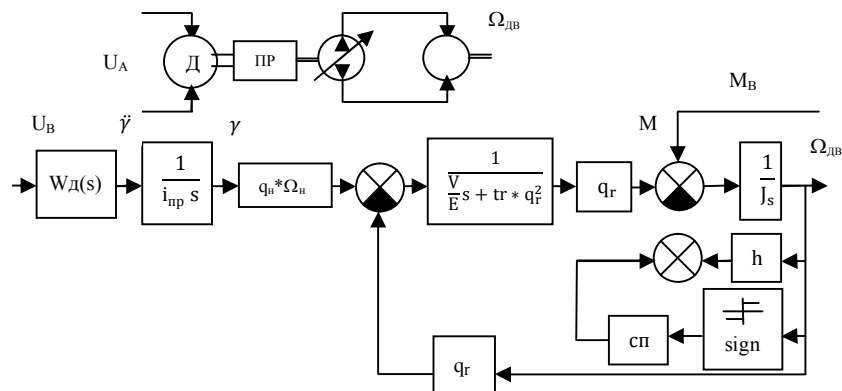


Рис. 4. Структурная схема гидропривода объёмного регулирования: $W_d(S)$ – передаточная функция управляющего двигателя; $i_{пр}$ – передаточное число редуктора; q_H – удельный объём гидронасоса; Ω_H – угловая скорость вала гидронасоса; V – объём жидкости в системе насос-мотор; E – модуль упругости жидкости в системе насос-мотор; q_r – удельный объём гидравлического мотора; J – момент инерции гидравлического мотора; h – коэффициент вязкого трения гидравлического мотора; $C_{п}$ – коэффициент сухого трения объекта управления; $\Omega_{дв}$ – угловая скорость гидравлического мотора; M_B – момент упругих сил, действующих на двигатель

Было проведено исследование модели системы сканирования площадки для размещения сортифта. Целью моделирования системы сканирования является нахождение оптимального шага сканирования, что позволит обеспечить максимальный темп выполнения данной операции при приемлемой вероятности определения точки захвата сортифта.

При моделировании системы сканирования можно выделить несколько этапов:

1) формирование площадки для размещения сортифта с произвольной

конфигурацией неровностей. Для решения данной задачи использовался программный пакет MATLAB. Сначала формировалась ровная поверхность, затем по случайному закону распределения выбирались точки, которые затем смещались относительно базовой плоскости на произвольную величину в рамках выбранного диапазона перепада высот. В результате выполнения вышеприведённых операций мы получили поверхность с произвольной конфигурацией неровностей. Внешний вид окна генерации произвольной поверхности представлен на рис. 5;

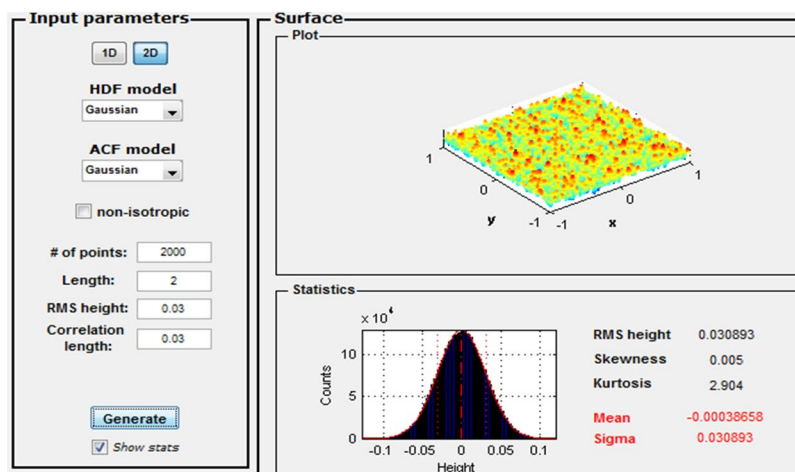


Рис. 5. Внешний вид окна генерации произвольной поверхности

2) распределение сортимента в пределах площадки, полученной в результате выполнения предыдущей операции. Закон распределения сортимента по площадке носил случайный характер, однако при этом учитывались допущения, приведённые выше;

3) имитация сканирования площадки для размещения сортимента с шагами Δx и Δy (по соответствующим координатным осям). В результате выполнения данной операции мы получили массивы точек, характеризующих размещение сортимента;

4) выделение трендов на основе значений массивов, полученных в результате выполнения предыдущей операции. Линейные тренды, построенные при обработке значений каждого массива, использовались для определения точек захвата сортимента.

Для достижения цели моделирования этапы 3 и 4 повторялись для разных шагов сканирования, при этом оптимальное значение выбиралось на основании анализа графиков, отражающих зависимость вероятности распознавания сортимента от выбранного шага сканирования. Итоговое значение шага сканирования по соответствующим осям выбиралось на основании допустимой погрешности определения расположения сортимента с учётом необходимости обеспечения максимального темпа сканирования. Следует заметить, что при моделировании системы сканирования за допустимую погрешность было принято значение 0,98, т.е. из ста единиц

сортимента допускалось ошибочное определение двух сортиментов.

Вышеназванные графики для различных шагов сканирования по осям X и Y представлены на рис. 6, а и 6, б.

Из графиков, приведённых на рис. 6, а и 6, б, можно сделать вывод, что оптимальными шагами сканирования по осям X и Y являются значения 5 и 6 см соответственно. Данные значения позволяют определять конфигурацию расположения сортимента с вероятностью 0,98.

При моделировании системы контроля конфигурацией манипулятора можно выделить несколько этапов:

1) задаётся конечная конфигурация манипулятора, обеспечивающая захват сортимента. Исходными данными для определения конфигурации манипулятора являются массивы точек, описывающие линии трендов, полученных в результате выполнения операции сканирования площадки для размещения сортимента;

2) определяется массив промежуточных состояний манипулятора. Данная операция выполняется путём элементарного приращения координат исполнительных механизмов;

3) выбирается промежуточное состояние из массива, обеспечивающее максимальное приближение захвата манипулятора к точке, заданной на первом этапе;

4) исходя из новой конфигурации, повторяются этапы 2 и 3, 4 до момента при-

ведения состояния манипулятора в конфигурацию, обеспечивающую захват сортифта.

Для достижения положительных результатов моделирования этапы повторялись для разных элементарных приращений координат пространственных механизмов манипулятора. Имитация данного процесса проводилась с помощью программы Simulink. Однако при выборе оптимального приращения важно учитывать ошибки приведения конфигурации манипулятора к требуемому состоянию. Итоговое значение элементарного приращения выбиралось на основании анализа графиков, отражающих зависимости

времени определения конечного графа и вероятности ошибки от приращения координат исполнительных механизмов. Следует заметить, что при моделировании системы контроля конфигурацией манипулятора учитывались допущения, приведённые выше. Вышеназванные графики представлены на рис. 6, а и б, в и г [13–14].

Из графиков, приведённых на рис. 6, а и б, можно сделать вывод, что оптимальным приращением координат пространственных механизмов является 4 см. Данные значения позволяют определять конечный граф за 230 мс с вероятностью ошибки приведения 0,02.

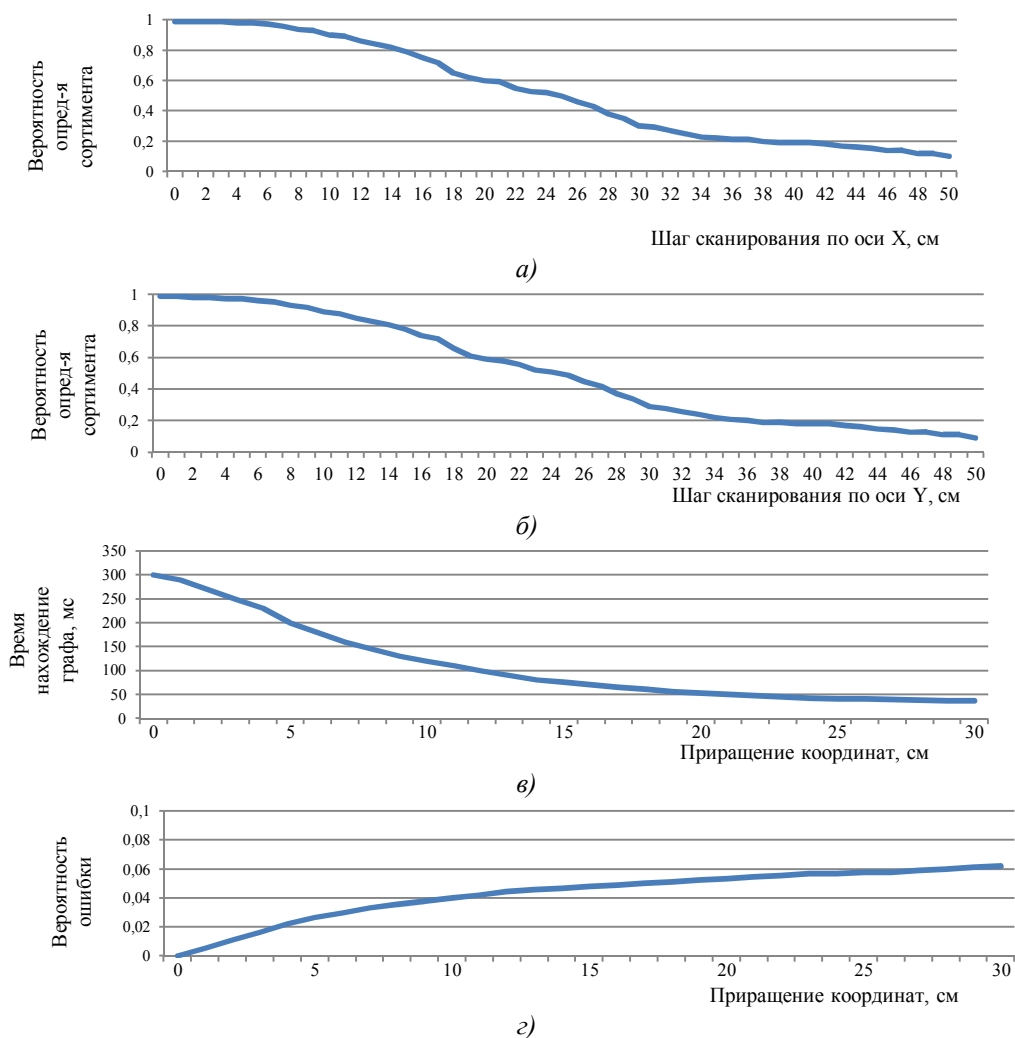


Рис. 6. Графики зависимостей: а – вероятностей распознавания расположения сортифта от шага сканирования по оси X; б – вероятностей распознавания расположения сортифта от шага сканирования по оси Y; в – времени определения графа от элементарного приращения координат исполнительных механизмов; г – ошибки приведения конфигурации манипулятора к требуемому состоянию от элементарного приращения координат исполнительных механизмов

Исследованием модели системы контроля гидроприводами является нахождение частотных характеристик, характеризующих эффективность функционирования гидроприводов манипулятора самоходной лесной машины.

При моделировании системы сканирования можно выделить несколько этапов:

1) разработка структурной схемы системы контроля гидроприводами в программе Simulink, являющейся элементом программного пакета MATLAB.

Структурная схема представлена на рис. 7;

2) имитация работы системы контроля гидроприводами на основе входных данных, полученных в результате выполнения операции нахождения графа для приведения конфигурации манипулятора к требуемому состоянию. При этом используются паспортные данные структурных элементов гидропривода;

3) анализ частотных характеристик объекта управления. Частотные характеристики приведены на рис. 8.

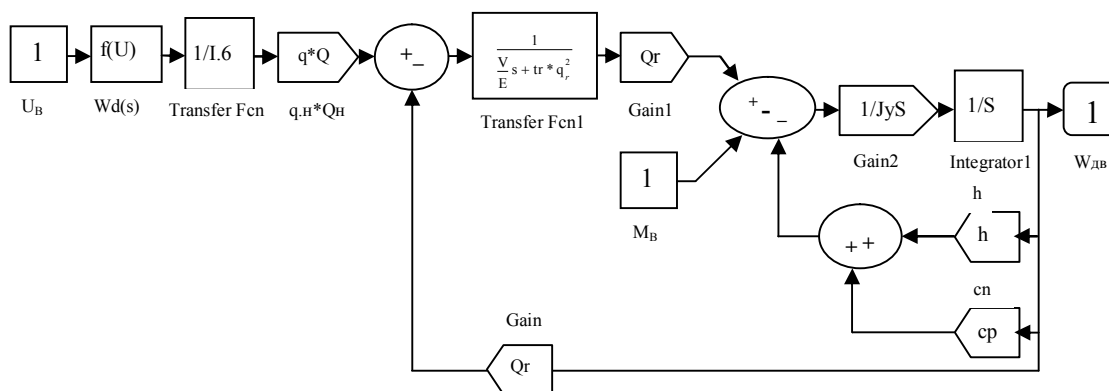


Рис. 7. Структурная схема гидропривода объёмного регулирования

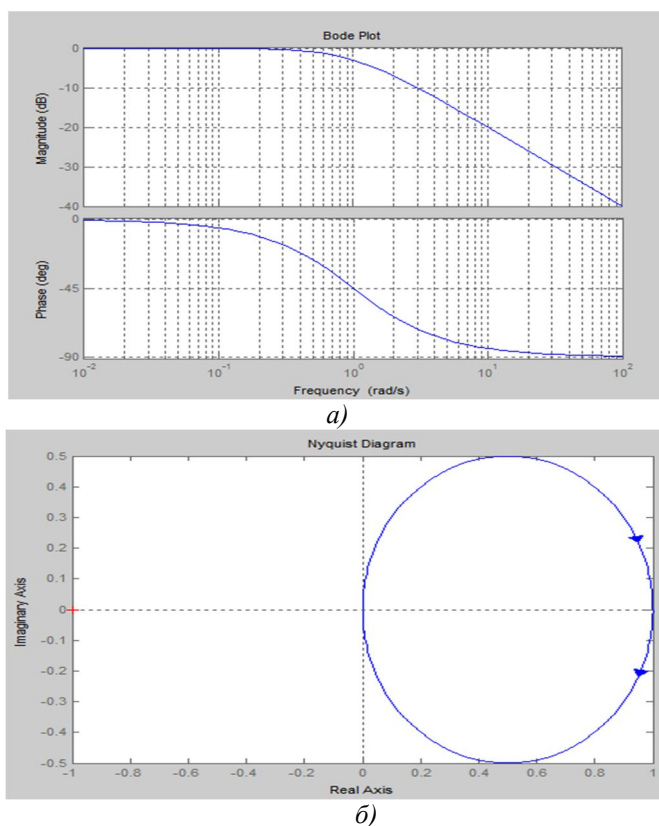


Рис. 8. Частотные характеристики гидропривода объёмного регулирования: а – фазо-частотная характеристика; б – годограф частотной передаточной функции

Изменяя коэффициенты усиления в каналах обратной связи, можно добиться устойчивости системы, затем проанализировать качество полученной коррекции по критерию запаса устойчивости системы.

Наиболее перспективным подходом к моделированию, в контексте исследования процессов функционирования системы автоматизированного управления манипулятором самоходной лесной машины, является дискретно-событийное моделирование, поскольку данный подход даёт возможность разбить процесс функционирования на отдельные этапы и рассмотреть их по отдельности. Можно выделить несколько этапов, составляющих хронологическую последовательность событий, характеризующих функционирование автоматизированной системы: сканирование площадки для размещения сортимента, нахождение графа перехода текущей конфигурации манипулятора в состояние, обеспечивающее захват сортимента, изменение конфигурации манипулятора путём подачи управляющих импульсов на гидроприводы.

Вывод. Результат повышения эффективности и расширения функциональных

возможностей автоматизированных манипуляторов для самоходных лесных машин достигается при моделировании вышеприведённых событий при нахождении оптимальных параметров, являющихся ключевыми в рамках соответствующих процессов:

1) шаг сканирующей системы. По результатам моделирования были определены шаги сканирования по осям X и Y – 5 и 6 см соответственно. Данные значения позволяют определять конфигурацию расположения сортимента с вероятностью 0,98;

2) приращение координат исполнительных механизмов манипулятора, время определения графа для приведения текущей конфигурации манипулятора к требуемому состоянию. Оптимальным приращением координат пространственных механизмов является 4 см. Данные значения позволяют определять конечный граф за 230 мс с вероятностью ошибки приведения 0,02;

3) частотные характеристики, характеризующие эффективность функционирования гидроприводов манипулятора самоходной лесной машины.

Список литературы

1. *Ruscha, M. L. Spatial Ability and Map-Based Software Applications* / M. L. Ruscha, S. M. Nusserb, L. L. Millerc, G. I. Batinovc, K. C. Whitneyc // *ACHI 2012: The Fifth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, Pp. 35 – 40.
2. *Westerberg, S. Virtual Environment-Based Teleoperation of Forestry Machines: Designing Future Interaction Methods* / S. Westerberg, A. Shiriaev // *Journal of Human-Robot Interaction*. – 2013. – Vol. 2, No.3. – Pp. 84-110.
3. *Анисимов, С. Е. Многозвенные манипуляторы: науч. изд.* / С. Е. Анисимов, П. М. Мазуркин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 73 с.
4. *Багаутдинов, И. Н. Проектирование специальных лесных машин* / И. Н. Багаутдинов, В. А. Грязин, Я. И. Шестаков. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. – 46 с.
5. *Грязин, В. А. Энергоаккумулирующий привод лесозаготовительных и подъемно-транспортных машин: монография* / В. А. Грязин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – 95 с.
6. *Мазуркин, П. М. Метод функционального поискового конструирования машин и их узлов* / П. М. Мазуркин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – 55 с.
7. *Павлов, А. И. Надежность гидроприводов лесосечных машин* / А. И. Павлов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. – 211 с.
8. *Шестаков, Я. И. Совершенствование манипуляторов лесозаготовительных машин* / Я. И. Шестаков, А. Ф. Галиахметов // *Наука в условиях современности: сб. ст. студ., асп., докторантов и преподавателей по итогам науч.-техн. конф.* – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. – 89 с.
9. *Алексенцев, В. И. Исследование случайных процессов при различных подходах к математическому моделированию* / В. И. Алексенцев // *Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия*. – 2006. – № 6/1(46). – С. 297-304.
10. *Кукин, Н. С. Синтез алгоритма оптимального управления дискретной системой по квадратичному критерию максимальной точности* / Н. С.

Кукин, И.В. Некрасов // Известия института инженерной физики. – 2012. – Том 2, № 26. – С. 13-18.

11. Денисова, Л.А. Событийное моделирование цифровой системы регулирования / Л.А. Денисова // Омский научный вестник. – 2011. – №3 (103). – С. 261-265.

12. Ратушняк, Г.Я. Методы моделирования процессов восстановления сложных технических систем на основе детерминированного подхода /

Г.Я. Ратушняк // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2007. – Т. 5, № 5. – С. 58-62.

13. Труды Второй всероссийской научной конференции «Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB» / Под общ. ред. Е.В. Никульчева. – М., 2004. – 1955 с.

14. Мазуркин, П. М. Манипуляторные машины / П. М. Мазуркин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 354 с.

Статья поступила в редакцию 28.05.14.

Ссылка на статью: Царев Е. М., Онучин Е. М., Кренев А. В. Расширение функциональных возможностей автоматизированных манипуляторов самоходных лесных машин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 3 (23). – С. 31-42.

Информация об авторах

ЦАРЕВ Евгений Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – исследования по направлениям: технологии, оборудование, конструкции, механика. Автор 153 публикаций. E-mail: 651020@mail.ru

ОНУЧИН Евгений Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации машин и оборудования, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – технологии и машины для рационального природопользования с адаптивно-модульными свойствами. Автор 140 публикаций. E-mail: OnuchinEM@volgatech.net

КРЕНЕВ Андрей Вячеславович – аспирант кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – технологии, оборудование лесопромышленного комплекса. Автор шести публикаций. E-mail: krenev.andrei@mail.ru

EXPANSION OF FUNCTIONALITY OF THE AUTOMATED MANIPULATORS OF FOREST COMPLEX

E. M. Tsarev, E. M. Onuchin, A. V. Krenov

Volga State University of Technology,
3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: 651020@mail.ru

Keywords: modeling; planning; configuration of scanning platform; object recognition algorithm solutions.

ABSTRACT

Mechanization and automation are inseparably connected with forest industry. Besides, it is the main field of activity. The main component of logging is represented by modern logging cars which allow to considerably improve the labor productivity and the quality of work. Relevance of the research is defined by the unsatisfactory level of mechanization and automation of a number of works in forest industry and forestry, in the field of maintenance and simple maintenance of cars and equipment of forest complex. The goal of the research is to increase the efficiency and to extend functionality of the automated manipulators for cars and the equipment of forest complex. The main stages of modeling of the system of scanning of a platform are reflected in the work for placement of assortments, the main stages of the monitoring system modeling by a manipulator configuration, stages of modeling of the monitoring system by hydraulic actuators are offered. In course of realization of modeling dependences of probabilities of recognition of arrangement of assortment on a step of scanning in axes X and Y, time of definition of the count from an elementary increment of coordinates of executive mechanisms and an error of reduction of a configuration of the manipulator to a demanded condition of an increment of coordinates of executive mechanisms were received. As a result, a value allowing to define a configuration of an arrangement of assortment with probability of 0.98 was obtained. The optimum increment of coordinates of spatial mechanisms equal to 4 cm by means of which the final count decides for 230 ms on probability of reduction 0.02 is found. The frequency characteristics showing efficiency of functioning of hydraulic actuators of the manipulator of the self-propelled car are received.

REFERENCES

1. Ruscha M. L., Nusserb S. M., Milner L. L., Batinov G. I., Whitney K. C. Spatial Ability and Map-Based Software Applications. ACHI 2012: The Fifth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions. Pp. 35-40.
2. Westerberg S., Shiriaev A. Virtual Environment-Based Teleoperation of Forestry Machines: Designing Future Interaction Methods. Journal of Human-Robot Interaction. 2013. Vol.2, No.3, Pp. 84-110.
3. Anisimov S. E. *Mnogozvennyye manipulyatory* [Multi-Link Manipulators: scientific publication]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2003. 73 p.
4. Bagautdinov I. N., Gryazin V.A., Shestakov Ya.I. *Proektirovanie spetsialnykh lesnykh mashin* [Designing of Special Forest Machines]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2008. 46 p.
5. Gryazin V. A. *Energoakkumuliruyushchiy privod lesozagotovitelnykh i podemno-transportnykh mashin: monografiya* [Energy-Accumulating Drive of Logging and Carrying and Lifting Machines: monograph]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2009. 95 p.
6. Mazurkin P. M. *Metod funktsionalnogo poiskovogo konstruirovaniya mashin i ikh uzlov* [Method of Functional Search Machines Construction and Construction of Its Parts]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2009. 55 p.
7. Pavlov A. I. *Nadezhnost gidroprivodov lesosechnykh mashin: nauchnoe izdanie* [Reliability of Hydraulic Gear of Stump-to-Roadside Equipment: scientific edition]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2004. 211 p.
8. Shestakov Ya. I., Galiakhmetov A.F. *Sovershenstvovanie manipulyatorov lesozagotovitelnykh mashin* [Improvement of Manipulators of Forestry Machines]. *Nauka v usloviyakh sovremennosti: sb.st.stud., asp., doktorantov i prepodavateley po itogam nauch.- tekhn.konf.* [Science of Today: collected papers of the works of students, postgraduate students, candidates for a Doctor degree, lecturers on the results of the research and technical conference]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2008. 89 p.
9. Alekseyev V.I. *Issledovanie sluchaynykh protsessov pri razlichnykh podkhodakh k matematicheskomu modelirovaniyu* [Study of Random Processes with the Use of Different Approaches to Mathematical Simulation]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennonauchnaya seriya* [Vestnik of Samara State University. Naturalistic series]. 2006. № 6/1 (46). Pp. 297-304.
10. Kukin N.S., Nekrasov I.V. *Sintez algoritma optimalnogo upravleniya diskretnoy sistemoy po kvadrachnomu kriteriyu maksimalnoy tochnosti* [Synthesis of an Algorithm for the Optimal Control of Discrete System by Quadratic Criterion of Maximum Precision]. *Izvestiya instituta inzhenernoy fiziki* [News of the Institute of Engineering Physics]. 2012. Vol. 2, № 26. Pp. 13-18.
11. Denisova L.A. *Sobytiynoe modelirovanie tsifrovoy sistemy regulirovaniya* [Activity - Directed Simulation of Digital Control System]. *Omskiy nauchnyy vestnik* [Omsk Research Journal]. 2011. № 3 (103). Pp. 261-265.
12. Ratushnyak G.Ya. *Metody modelirovaniya protsessov vosstanovleniya slozhnykh tekhnicheskikh sistem na osnove determinizirovannogo podkhoda* [Methods for Simulation of the Processes of Reconstruction of Complex Technical Systems Based on the Deterministic Approach]. *Informatsionno-izmeritelnye i upravlyayushchie sistemy* [Information-Measuring and Management Systems]. 2007. Vol. 5, № 5. Pp. 58-62.
13. *Trudy vtoroy vserossiyskoy nauchnoy konferentsii «Proektirovanie inzhenernykh i nauchnykh prilozheniy v srede MATLAB»* [Proceedings of the Second All-Russian Scientific Conference «Design of Engineering and Scientific Applications in MATLAB»]. Moscow, 2004. 1955 p.
14. Mazurkin P. M. *Manipulyatornye mashiny* [Manipulator Machines: study guide]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2001. 354 p.

The article was received 28.05.14.

Citation for an article: Tsarev E. M., Onuchin E. M., Krenov A. V. Expansion of functionality of the automated manipulators of forest complex. Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2014. No 3(23). Pp. 31-42.

Information about the authors

TSAREV Evgeniy Mikhaylovich – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Chair of Technology and Equipment for Timber Industries, Volga State University of Technology. Research interests – technologies, equipment, structures, mechanics. The author of 153 publications. E-mail: 651020@mail.ru

ONUCHIN Evgeniy Mikhaylovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Chair of Machines and Equipment Exploitation, Volga State University of Technology. Research interests – technologies and machines for rational nature management with adaptive and modular properties. The author of 140 publications. E-mail: OnuchinEM@volgategh.net

KRENEV Andrey Vyacheslavovich – Postgraduate student (PhD student) at the Chair of Technology and Equipment for Timber Industries, Volga State University of Technology. Research interests – technologies, equipment, of timber industry complex. The author of 6 publications. E-mail: krenov.andrei@mail.ru

УДК 674.8

ПРИМЕНЕНИЕ АРБОЛИТА В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННО-БАЛЛАСТНОГО МАТЕРИАЛА ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

А. Н. Чемоданов¹, Ю. А. Горинов¹, Р. Г. Сафин², С. Я. Алибеков¹

¹Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: gelios62@mail.ru

²Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Российская Федерация, 420015, Казань, ул. К.Маркса, 68
E-mail: safin_rg@kstu.ru

Обосновано применение арболита для тепловой изоляции и балластировки подводных теплопроводов. Выполнены расчёты устойчивости трубопровода и передачи теплоты через стенку трубопроводной конструкции, включающей стальную трубу в защитном полиэтиленовом кожухе с заполненным межтрубным пространством арболитом в качестве теплоизоляционно-балластного материала.

Ключевые слова: теплоизоляционно-балластное арболитовое покрытие трубопроводов; подводная прокладка теплопроводов; расчёт устойчивости; расчёт передачи теплоты через стенку.

Введение. Развитие современной техники невозможно без замены применяемых традиционных «чистых» материалов на композиционные материалы. В отличие от традиционных материалов, композиты обладают более широким спектром физико-механических свойств. Это позволяет применять материал с характеристиками, максимально отвечающими требованиям эксплуатации и экологической безопасности. К таким материалам относится арболит, который при установленном компонентном составе, помимо традиционного применения в виде строительного материала для малоэтажного строительства, может быть использован в качестве теплоизоляционно-балластного материала покрытия теплопроводов централизованного теплоснабжения при сооружении переходов через водные преграды. Потребность сооружения таких переходов возникает при наличии единой с одним источником тепла системы централизованного теплоснабжения населённого пункта, расположенного на противоположных берегах водоёма, либо необходимости объеди-

нения тепловых сетей, подключённых к различным источникам тепла в одну общую систему, с целью оптимизации и повышения надёжности теплоснабжения. Трубопроводная конструкция с арболитом, используемым в качестве заполнителя межтрубного пространства между стальной рабочей трубой и защитной полиэтиленовой оболочкой, отвечает требованиям по балластирующей способности, теплопроводности, прочности, надёжности, технологичности изготовления, ремонтпригодности и экологической безопасности.

Целью работы является обоснование применения разработанного композиционного арболитового материала, имеющего плотность 1160 кг/м^3 и коэффициент теплопроводности $0,12 \text{ Вт/(м·К)}$, в качестве теплоизоляционно-балластного материала подводной конструкции трубопроводов централизованного теплоснабжения [1].

Решаемые задачи: 1) проверка условия устойчивости данной подводной трубопроводной конструкции; 2) определение потерь тепла через стенку.

Под устойчивым состоянием подводного трубопровода понимается такое состояние, при котором он будет находиться в покое в заранее заданном (проектом) положении при самой неблагоприятной комбинации нагрузок, стремящихся вывести его из этого положения [2].

В общем случае такими нагрузками являются: выталкивающая архимедова сила, горизонтальная и вертикальная составляющие гидродинамического воздействия потока. Для компенсации этих сил и воздействий используется собственная масса трубопроводной конструкции и заполняющего его перекачиваемого продукта, а также балластные устройства. Описание

способов балластировки изложено в [3].

Самое неблагоприятное сочетание нагрузок имеет место, когда трубопровод не заглублён, т.е. находится на дне водоёма в траншее без засыпки грунтом. При обтекании потоком жидкости подводные трубопроводы подвергаются силовому воздействию потока и действию подъёмной силы Архимеда. При положении, когда трубопровод уложен в подводную траншею, засыпан грунтом и заполнен транспортируемым продуктом, число нагрузок, снижающих устойчивость трубопровода, значительно уменьшается

Для выполнения расчётов введём необходимые обозначения (табл. 1):

Таблица 1

Условные обозначения, принятые в расчётах устойчивости

Символ	Название	Единица измерения
ρ	плотность воды водоёма	кг/м ³
ρ_1	плотность теплоносителя	кг/м ³
ρ_2	плотность материала стальной трубы	кг/м ³
ρ_3	плотность теплоизоляционно-балластного арболитового покрытия	кг/м ³
ρ_4	плотность материала защитной полиэтиленовой оболочки	кг/м ³
D_1	внутренний диаметр стальной трубы	м
D_2	наружный диаметр стальной трубы – внутренний диаметр теплоизоляционно-балластного арболитового покрытия	м
D_3	наружный диаметр теплоизоляционно-балластного арболитового покрытия – внутренний диаметр защитной полиэтиленовой оболочки	м
D_4	наружный диаметр защитной полиэтиленовой оболочки	м
$m\vec{g}$	сила тяжести трубопроводной конструкции с теплоносителем и балластом	Н
$\vec{F}_A$	выталкивающая сила Архимеда	Н
$\vec{N}$	реакция опоры	Н
$\vec{F}_{TP}$	сила трения покоя	Н
$\vec{P}_X$	сила лобового сопротивления потока со скоростью $\vec{U}$	Н
$\vec{P}_Y$	подъёмная сила потока со скоростью $\vec{U}$	Н
f_{TP}	коэффициент трения поверхности трубы о грунт	-
s	расстояние от трубопровода до дна траншеи	м
$v_{нов}$	скорость потока на поверхности водоёма	м/с
$v_{дон}$	скорость потока у дна водоёма	м/с
$k_{y.c.}$	коэффициент запаса устойчивости на сдвиг	-
$\varphi_{ГР}$	угол внутреннего трения грунта	градус
n_1	коэффициент перегрузки по весу трубопровода и конструкции	-
n_2	коэффициент перегрузки выталкивающей силы Архимеда	-

Расчётная схема нагрузок и воздействий приведена на рис. 1.

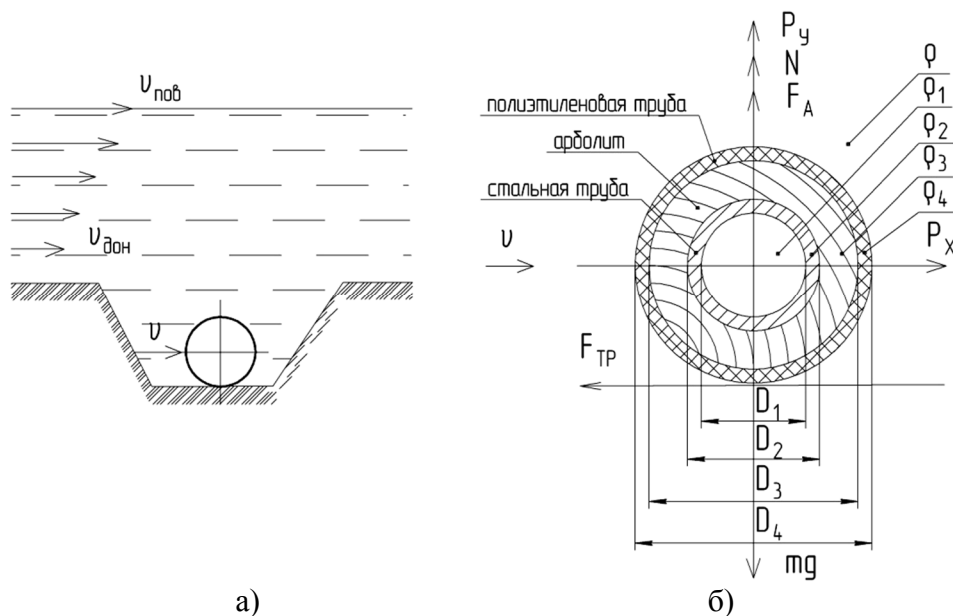


Рис. 1. Расчётная схема нагрузок и воздействий на подводный трубопровод в траншее: а – общая схема размещения трубопровода на дне водоёма; б – схема сил, действующих на трубопровод

В общем виде уравнение условия равновесия для трубопроводной конструкции, помещённой в водоём:

$$m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{N} + \vec{F}_{TP} + \vec{P}_x + \vec{P}_y = 0. \quad (1)$$

Проекция сил на ось X:

$$\vec{F}_{TP} - \vec{P}_x = 0. \quad (2)$$

Проекция сил на ось Y:

$$-m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{N} + \vec{P}_y = 0. \quad (3)$$

Силы, действующие на трубопровод:

1) вес трубопроводной конструкции складывается из веса транспортируемого теплоносителя, стальной трубы, теплоизоляционно-балластного покрытия и полиэтиленовой трубы:

$$n_1 mg = \frac{1}{4} \pi [\rho_1 D_1^2 + \rho_2 (D_2^2 - D_1^2) + \rho_3 (D_3^2 - D_2^2) + \rho_4 (D_4^2 - D_3^2)] g; \quad (4)$$

2) выталкивающая сила Архимеда определяется по формуле:

$$F_A = \frac{1}{4} n_2 \rho g \pi D_4^2; \quad (5)$$

3) сила трения трубопровода о грунт определяется по формуле:

$$F_{TP} = f_{TP} N; \quad (6)$$

4) составляющие гидродинамического воздействия потока определяются по формулам, в которых коэффициенты C_x, C_y характеризуют следующие виды сопротивлений: сопротивление трения, обусловленное касательными напряжениями, приложенными к поверхности обтекаемого трубопровода; сопротивление давления, обусловленное нормальными напряжениями, приложенными к поверхности обтекаемого трубопровода:

$$P_x = \frac{1}{2} C_x \rho v^2 D_4, \quad (7)$$

$$P_y = \frac{1}{2} C_y \rho v^2 D_4.$$

Из уравнения (2) следует:

$$F_{TP} = P_x. \quad (8)$$

Из уравнения (3) следует:

$$N = mg - F_A - P_y. \quad (9)$$

Таким образом, устойчивость трубопроводной конструкции в пространстве определяется из условия:

$$P_X \cdot (mg - F_A - P_V) f_{TP}. \quad (10)$$

В общем случае условие устойчивости единицы длины трубопровода с учётом коэффициента запаса устойчивости $k_{y.c.}$ имеет вид:

$$P_X \cdot k_{y.c.} \leq (mg - F_A - P_V) f_{TP}. \quad (11)$$

Левая половина уравнения представляет собой горизонтальную сдвигающую силу, а правая половина уравнения – силу трения трубы о грунт.

Авторы [2,4–7], обобщая результаты выполненных ими опытов и исследований, рекомендуют принимать:

- коэффициент лобового сопротивления $C_X = 1,2$;
- в практических расчётах при касании трубопровода дна ($s/D=0$) коэффициент подъёмной силы $C_V = 0,6$;
- коэффициент перегрузки по весу трубопроводной конструкции для двухтрубной конструкции с заполнением межтрубного пространства цементно-песчаным раствором n_1 при диаметре трубы $D \leq 600$ мм равен 1,00, для трубы $D > 600$ мм равен 0,95;
- коэффициент перегрузки выталкивающей силы Архимеда при диаметре трубы $D \leq 700$ мм для пресной воды равен 1,00, для трубы $D \geq 700$ мм равен 1,05;
- донную скорость потока (0,4 – 0,6) м/с от поверхностной скорости;
- коэффициент устойчивости $k_{y.c.}$ равен 1,10 при диаметре трубы $D \leq 600$ мм и 1,15 при $D > 600$ мм;
- наибольшее значение коэффициента трения поверхности трубы о грунт f_{TP} равно $tg \varphi_{GP}$;
- наименьшее значение угла внутреннего трения грунта φ_{GP} примем для глины, имеющей наименьшее значение по табл. 2.

Таблица 2

Расчётные характеристики уплотнённых влажных грунтов

Грунт	φ_{GP} , градусы
Гравелистый песок	36...40
Песок средней крупности	33...38
Мелкий песок	30...36
Супеси	21...25
Суглинки	17...22
Глины	15...18
Торф	16...30

- среднюю скорость потока 5 км/ч.

Используя приведённые выше расчётные формулы и рекомендации по определению составляющих, выполнены расчёты устойчивости подводных трубопроводов из труб различного типоразмера.

Данные о стальных электросварных прямошовных трубах, изготовленных по [ГОСТ 10704-91], применяемых для прокладки тепловых сетей, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Трубы стальные электросварные прямошовные

Ду, мм	Дн, мм	δ , мм	Масса, кг/п.м
50	57	3,0	4,00
70	76	4,0	7,10
80	89	4,0	8,38
100	108	5,0	12,70
125	133	5,0	15,78
150	159	5,0	18,99
200	219	6,0	31,52
250	273	6,5	42,64
300	325	7,0	54,90
350	377	7,0	63,87
400	426	7,0	72,33
450	480	7,0	81,65
500	530	7,0	90,28
600	630	8,0	122,72
700	720	8,0	140,50
800	820	9,0	180,00
900	920	9,0	202,20
1000	1020	10,0	249,10
1200	1220	10,0	298,00

Таблица 4

Трубы напорные из полиэтилена

Дн, мм	δ, мм	Масса, кг/п.м.
140	3,0	0,62
160	3,0	0,71
180	3,0	0,80
200	3,0	0,89
250	4,0	1,48
280	5,0	2,07
355	6,0	3,15
450	7,0	4,66
500	8,0	5,92
560	8,8	7,29
600	9,4	8,35
630	9,5	8,86
710	11,1	11,66
800	12,5	14,80
900	14,0	18,65
1100	17,5	28,48
1425	23,5	49,53
1425	23,5	49,53
1600	30,2	71,39

Данные о полиэтиленовых трубах, изготовленных согласно [ГОСТ 18599-2001], применяемых в качестве наружной защитной оболочки, приведены в табл. 4.

Толщина нанесённого на стальную трубу теплоизоляционно-балластного арболитового покрытия определяется как разность между внутренним диаметром полиэтиленовой трубы и наружным диаметром стальной трубы:

$$\delta = \frac{D_3 - D_2}{2}. \quad (12)$$

С учётом этого, принимая плотность теплоизоляционно-балластного материала $\rho = 1160 \text{ кг/м}^3$, определяем массу арболитового покрытия.

Массу транспортируемого теплоносителя для каждого типоразмера стальной трубы принимаем согласно [8].

Результаты расчётов сведены в табл. 5.

Таблица 5

Расчёт массы теплоизоляционно-балластного покрытия и транспортируемого теплоносителя

Условный диаметр стальной трубы, мм	Теплоизоляционно-балластное покрытие		Масса теплоносителя кг/п.м
	толщина δ, мм	масса, кг/п.м	
50	38,5	14,13	2,29
70	39,0	17,19	4,07
80	42,5	21,32	5,67
100	43,0	24,72	8,33
125	54,5	39,00	12,86
150	55,5	45,84	18,62
200	62,0	67,24	35,61
250	81,5	110,84	55,75
300	79,5	124,24	79,38
350	82,7	147,24	107,47
400	77,6	152,37	137,82
450	65,5	140,80	175,63
500	78,9	189,01	214,72
600	72,5	203,30	303,70
700	76,0	242,76	397,95
800	122,5	454,76	516,31
900	229,0	1017,87	651,49
1000	179,0	841,21	800,78
1200	159,8	888,63	1149,32

По формулам (4) и (5) определяем вес трубопроводной конструкции и величину выталкивающей силы Архимеда с учётом коэффициентов перегрузки. Результаты расчётов сведены в табл. 6.

Таким образом, для всего принятого ряда типоразмера труб условие отрицательной плавучести соблюдается.

Используя формулы (7), (8), (9), выполним расчёт устойчивости (табл. 7).

Таблица 6

Расчёт веса трубопроводной конструкции и силы Архимеда с учётом коэффициентов перегрузки

Условный диаметр стальной трубы, мм	Вес трубопроводной конструкции с коэфф. n_1 , Н/п.м	Сила Архимеда с коэфф. n_2 , Н/п.м
50	206,42	150,9367
70	285,12	197,1418
80	354,79	249,5075
100	308,03	308,034
125	678,06	481,3031
150	838,95	603,7466
200	1349,10	970,4996
250	2098,28	1559,422
300	2594,18	1925,213
350	3196,75	2414,987
400	3638,18	2772,306
450	3992,02	3056,467
500	4712,57	3881,998
600	6006,60	5174,971
700	7454,30	6549,573
800	10992,85	9783,93
900	17903,63	16419,42
1000	18085,68	16419,42
1200	22435,17	20699,88

Таблица 7

Расчёт устойчивости подводного трубопровода

Условный диаметр стальной трубы, мм	Сила лобового сопротивления потока R_x , Н/п.м	Подъёмная сила потока R_y , Н/п.м	Горизонтальная сдвигающая сила, Н/п.м	Сила трения трубы о грунт, Н/п.м
50	25,41	12,71	27,95	13,90
70	29,04	14,52	31,94	23,87
80	32,67	16,34	35,94	28,91
100	36,30	18,15	39,93	42,67
125	45,38	22,69	49,91	56,57
150	50,82	25,41	55,90	68,18
200	64,43	32,22	70,88	112,58
250	81,68	40,84	89,84	161,86
300	90,75	45,38	99,83	202,67
350	101,64	50,82	111,80	237,56
400	108,90	54,45	119,79	263,71
450	114,35	57,17	125,78	285,47
500	128,87	64,43	141,75	249,00
600	145,20	72,60	159,72	246,68
700	163,35	81,68	187,85	267,49
800	199,65	99,83	229,60	360,45
900	258,64	129,32	297,43	440,34
1000	258,64	129,32	297,43	499,51
1200	290,40	145,20	333,96	516,78

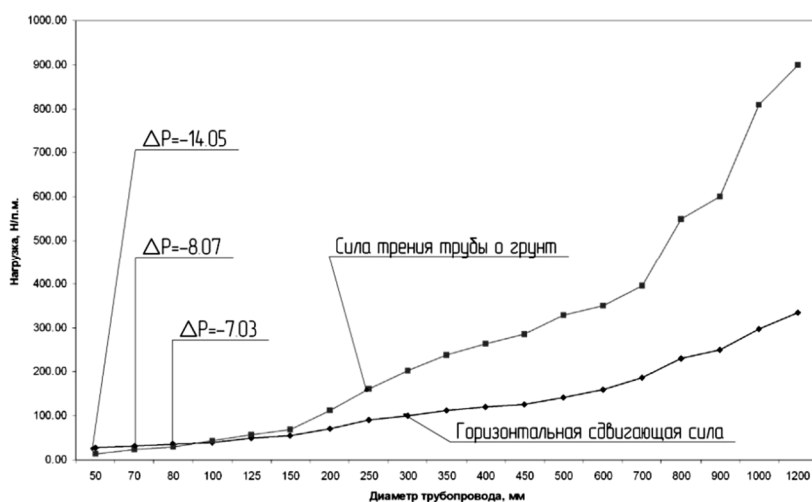


Рис. 2. Устойчивость трубопроводной конструкции в зависимости от действия сил:
 ΔP – превышение силы трения трубы о грунт над горизонтальной сдвигающей силой

Графическое изображение с помощью программы Microsoft Office Excel устойчивости трубопроводной конструкции приведено на рис. 2.

Из выполненного расчёта следует, что условие устойчивости (11) соблюдается для всего ряда типоразмера стальных труб за исключением первых трёх позиций.

Исследуемая трубопроводная конструкция представляет собой цилиндриче-

скую многослойную трубу. Особенность теплопроводности через цилиндрическую стенку, как и через другие криволинейные ограждения, заключается в том, что при прохождении тепла поверхности входа и выхода теплового потока не равны. При распространении тепла изнутри трубы поверхность входа теплового потока меньше, чем поверхность его выхода [9–11]. Расчёты выполним, используя схему рис. 3.

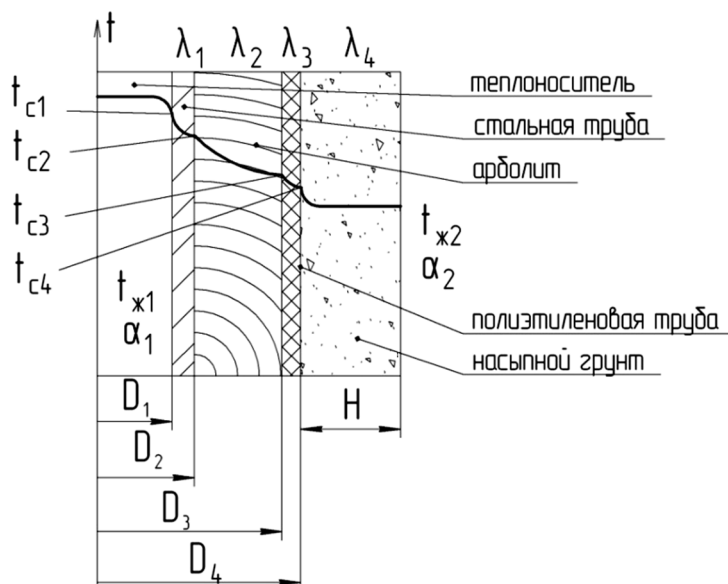


Рис. 3. Схема передачи тепла теплопроводностью через многослойную цилиндрическую стенку

В формулах приняты следующие обозначения, представленные в табл.8.

Таблица 8

Условные обозначения расчёта передачи тепла

Символ	Название	Единица измерения
$t_{ж1}$	температура теплоносителя в трубопроводе	К
$t_{ж2}$	температура окружающей среды (грунтовой засыпки траншеи)	К
α_1	коэффициент теплоотдачи со стороны теплоносителя к стенке трубы	Вт/м ² К
α_2	коэффициент теплоотдачи со стороны грунтовой засыпки траншеи	Вт/м ² К
$t_{c1}, t_{c2}, t_{c3}, t_{c4}$	температура на внутренней и наружной поверхности: стальной трубы, тепловой изоляции, защитной полиэтиленовой оболочки	К
$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$	коэффициент теплопроводности стальной трубы, тепловой изоляции, защитной полиэтиленовой оболочки, засыпного грунта	Вт/(м К)
d_1	внутренний диаметр стальной трубы	м
d_2	наружный диаметр стальной трубы – внутренний диаметр тепловой изоляции	м
d_3	наружный диаметр тепловой изоляции – внутренний диаметр защитной полиэтиленовой оболочки	м
d_4	наружный диаметр защитной полиэтиленовой оболочки	м
H	толщина засыпки траншеи	м
q	плотность теплового потока	Вт/м ²
k	коэффициент теплопередачи	Вт/(м К)
λ	коэффициент теплопроводности воды	Вт/(м К)
ν	коэффициент кинематической вязкости	м ² /сек
a	коэффициент температуропроводности	м ² /ч
w	скорость теплоносителя в трубопроводе	м/сек
l	характерный линейный размер поверхности теплообмена	м

Засыпной грунт траншеи является водонасыщенным, следовательно, его температуру можно принять равной температуре воды водоёма.

При условии установившегося (стационарного) теплового состояния плотность теплового потока q через отдельные элементы конструкции равна [9–11]:

$$q = \alpha_1 \pi D_1 (t_{ж1} - t_{c1}); q = \frac{\pi(t_{c1} - t_{c2})}{\frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{D_2}{D_1}};$$

$$q = \frac{\pi(t_{c2} - t_{c3})}{\frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{D_3}{D_2}}; q = \frac{\pi(t_{c3} - t_{c4})}{\frac{1}{2\lambda_3} \ln \frac{D_4}{D_3}}; \quad (13)$$

$$q = \alpha_2 \pi D_4 (t_{c4} - t_{ж2}).$$

Из этих уравнений определяем частные температурные напоры по формулам:

$$t_{ж1} - t_{c1} = \frac{q}{\pi \alpha_1 D_1}; t_{c1} - t_{c2} = \frac{q}{\pi 2\lambda_1} \ln \frac{D_2}{D_1}$$

$$t_{c2} - t_{c3} = \frac{q}{\pi 2\lambda_2} \ln \frac{D_3}{D_2}; \quad (14)$$

$$t_{c3} - t_{c4} = \frac{q}{\pi 2\lambda_3} \ln \frac{D_4}{D_3}; t_{c4} - t_{ж2} = \frac{q}{\pi \alpha_2 D_4}.$$

Сумма этих частных температурных напоров составляет полный температурный напор через конструкцию, который определяется по формуле:

$$t_{ж1} - t_{ж2} = \frac{q}{\pi} \left(\frac{1}{\alpha_1 D_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{D_3}{D_2} + \frac{1}{2\lambda_3} \ln \frac{D_4}{D_3} + \frac{1}{\alpha_2 D_4} \right). \quad (15)$$

Следовательно, плотность теплового потока равна:

$$q = \frac{\pi(t_{ж1} - t_{ж2})}{\frac{1}{\alpha_1 D_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{D_3}{D_2} + \frac{1}{2\lambda_3} \ln \frac{D_4}{D_3} + \frac{1}{\alpha_2 D_4}}. \quad (16)$$

Коэффициент теплопередачи для трёхслойной стенки определяется по формуле:

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 D_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{D_3}{D_2} + \frac{1}{2\lambda_3} \ln \frac{D_4}{D_3} + \frac{1}{\alpha_2 D_4}}. \quad (17)$$

В общем случае для многослойной стенки трубы термическое сопротивление определяется по формуле:

$$R = \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1 D_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{D_{i+1}}{D_i} + \frac{1}{\alpha_2 D_4}. \quad (18)$$

В общем случае коэффициент теплопередачи будет равен:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 D_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{D_{i+1}}{D_i} + \frac{1}{\alpha_2 D_4}}. \quad (19)$$

Чтобы определить температуры стенок $t_{c1}, t_{c2}, t_{c3}, t_{c4}$, значение q_i из уравнения (16) подставляем в уравнение (14). Решая их, получаем:

$$\begin{aligned} t_{c1} &= t_{ж1} - \frac{q}{\pi \alpha_1 D_1}, \\ t_{c2} &= t_{ж1} - \frac{q}{\pi} \left(\frac{1}{\alpha_1 D_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{D_2}{D_1} \right), \\ t_{c3} &= t_{ж1} - \frac{q}{\pi} \left(\frac{1}{\alpha_1 D_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{D_3}{D_2} \right), \\ t_{c3} &= t_{ж1} - \frac{q}{\pi} \left(\frac{1}{\alpha_1 D_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{D_2}{D_1} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{D_3}{D_2} + \frac{1}{2\lambda_3} \ln \frac{D_4}{D_3} \right), \\ t_{c4} &= t_{ж1} - \frac{q}{\pi} \left(\frac{1}{\alpha_1 D_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{D_2}{D_1} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{D_3}{D_2} + \frac{1}{2\lambda_3} \ln \frac{D_4}{D_3} \right). \end{aligned} \quad (20)$$

Согласно системе уравнений (14), внутри каждого слоя трубопроводной конструкции температура изменяется по логарифмическому закону. Для многослойной стенки температурная кривая представляет собой ломаную кривую.

Определение коэффициента теплоотдачи со стороны теплоносителя к стенке трубы α_1 и коэффициента теплоотдачи со стороны грунтовой засыпки траншеи α_2 является задачей, решение которой возможно только экспериментальным способом. Распространять результаты экспериментов можно только на подобные между собой явления. Закон теплового подобия определяет условия, при которых геометрически и гидромеханически подобные системы подобны и в тепловом отношении. Критерием теплового подобия являются [10]:

1) критерий Рейнольдса, характеризующий отношение сил инерции и сил вязкости в потоке жидкости:

$$Re = \frac{wl}{\nu}, \quad (21)$$

2) критерий Пекле, характеризующий отношение конвективных и кондуктивных потоков тепла при конвективном теплообмене:

$$Pe = \frac{wl}{a}, \quad (22)$$

3) критерий Нуссельта, характеризующий интенсивность теплообмена на границе «жидкость – стенка»:

$$Nu = \frac{al}{\lambda}, \quad (23)$$

4) критерий Прандтля, характеризующий физические свойства жидкости:

$$Pr = \frac{Pe}{Re} = \frac{\nu}{a}. \quad (24)$$

Критериальное уравнение для определения теплоотдачи капельной или упругой жидкости при турбулентном режиме течения ($Re > 10^4$) имеет вид [10]:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}. \quad (25)$$

Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к стенке трубы α_1 определяется по формуле:

$$\alpha_1 = 0,023 \frac{\lambda}{d} Re^{0,8} Pr^{0,4}. \quad (26)$$

Для расчёта внешнего коэффициента теплоотдачи α_2 подводного трубопровода применяем формулу Форхгеймера-Власова [12]:

$$\alpha_2 \approx \frac{2\lambda_4}{d_4 \ln \left[\frac{2H}{d_4} + \sqrt{\left(\frac{2H}{d_4} \right)^2 - 1} \right]}. \quad (27)$$

При $H/D_4 \gg 1$

$$\alpha_2 \approx \frac{2\lambda_4}{D_4 \ln \frac{4H}{D_4}}. \quad (28)$$

Авторами [9] опытным путём при оценочных расчётах установлено, что $\alpha_1 \gg \alpha_2$, и α_2 для влажной глины можно принять – 1,5, для мокрого песка – 3,5.

По таблицам физических свойств воды при максимальной температуре теплоносителя в подающем трубопроводе 150°C находим $\lambda = 68,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$, $\nu = 2,03 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 / \text{сек}$, $\alpha = 6,22 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{ч}$.

Критерий Прандтля рассчитываем по формуле (24):

$$Pr = \frac{2,03 \cdot 10^{-7} \cdot 3600}{6,22 \cdot 10^{-4}} = 1,18. \quad (29)$$

Результаты расчёта критерия Рейнольдса по формуле (21) и критерия Нуссельта по формуле (25) для каждого типоразмера стальной трубы сведены в табл. 9.

Таблица 9

**Значение критериев Рейнольдса и Нуссельта
в зависимости от условного диаметра стальной трубы**

Условный диаметр стальной трубы D_v , мм	Критерий Рейнольдса Re	Критерий Нуссельта Nu
50	246305	505
70	344828	662
80	394089	736
100	492611	880
125	615764	1052
150	738916	1217
200	985222	1532
250	1231527	1832
300	1477833	2119
350	1724138	2397
400	1970443	2668
450	2216749	2931
500	2463054	3189
600	2955665	3690
700	3448276	4174
800	3940887	4645
900	4433498	5104
1000	4926108	5552
1200	5911330	6424

Таблица 10

Значение коэффициента теплопередачи α_1 в зависимости от условного диаметра стальной трубы

Условный диаметр стальной трубы D_y , мм	Коэффициент теплопередачи α_1 , Вт/м ² К
50	6914
70	6464
80	6294
100	6019
125	5756
150	5550
200	5240
250	5011
300	4832
350	4685
400	4562
450	4456
500	4363
600	4206
700	4079
800	3971
900	3879
1000	3798
1200	3662

Таблица 11

Плотность теплового потока трубопроводной конструкции

Условный диаметр стальной трубы D_y , мм	Плотность теплового потока Вт/м
50	52,41
70	61,43
80	67,14
100	75,59
125	83,96
150	94,16
200	114,80
250	124,59
300	142,58
350	157,22
400	176,78
450	206,28
500	209,01
600	248,54
700	272,78
800	245,79
900	272,00
1000	240,20
1200	294,19

Коэффициент теплопередачи α_1 определяется по формуле (26), результаты расчётов сведены в табл.10.

Плотность теплового потока для трубопроводных конструкций принятых типоразмеров рассчитана по формуле (16) с использованием программы Microsoft Office Excel и сведена в табл.11.

Таким образом, полученная в результате расчёта плотность теплового потока ниже нормируемых значений.

Выводы.

1. Физико-механические свойства разработанного композиционного материала арболита (плотность 1160 кг/м³, коэффициент теплопроводности 0,12 Вт/(м·К)), позволяют его использование в качестве

теплоизоляционно-балластного материала подводных конструкций трубопроводов централизованного теплоснабжения [1].

2. Плотность теплового потока через стенку разработанной трубопроводной конструкции при расположении в воде ниже нормируемых значений.

3. Условие устойчивости данной подводной трубопроводной конструкции выполняется для трубопроводов, имеющих условный диаметр стальной трубы $D_y \geq 100$ мм.

4. При необходимости прокладки подводных трубопроводов $D_y = 50, 70, 80$ мм требуется дополнительная баллаستировка пригрузами весом более 14,05Н/п.м, 8,07Н/п.м, 7,03Н/п.м. соответственно.

Список литературы

1. Пат. 122746 Российская Федерация, МПК⁸ F16 L59/02. Труба централизованного теплоснабжения для сооружения переходов через водные преграды / Горин Ю.А., Чемоданов А.Н., Алибеков С.Я.; заявитель и патентообладатель: Феде-

ральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Марийский государственный технический университет». – № 2012122952/28; заявлено 04.06.2012; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 34.

2. *Бородавкин, П.П.* Подводные трубопроводы / П.П. Бородавкин, В.Л. Березин, О.Б. Шадрин. – М.: Недра, 1979. – 415 с.
3. *Соколов, Е.Я.* Теплофикация и тепловые сети / В. Я. Соколов; 6-е изд., перераб. – М.: Издательство МЭИ, 1999. – 472 с.:ил.
4. *Бородавкин, П.П.* Подземные магистральные трубопроводы (проектирование и строительство) / П.П. Бородавкин. – М.: Недра, 1982. – 384 с.
5. Основания, фундаменты и подземные сооружения / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др.; Под общ.ред. Е.А.Сорчана и Ю.Г.Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с., ил.
6. Строительные конструкции нефтегазовых объектов / Ф.М. Мустафин, Ю.Л.И. Быков, В.Н. Мохов и др. – СПб.: ООО «Недра», 2008. – 780 с.
7. *Тугунов, П.И.* Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов / П.И. Тугунов, В.Ф. Новоселов, А.А. Коршак, А.М.Шаммазов; Изд. 2-е, переработанное. – Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2002. – 658 с.
8. *Николаев, А.А.* Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей / А.А. Николаев. – М.: Стройиздат, 1965. – 359 с.
9. *Михеев, М. А.* Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева; Изд. 2-е, стереотип. М.: «Энергия», 1977. – 344 с.
10. *Швец, И.Т.* Общая теплотехника / И.Т. Швец. – М.: Машгиз, 1961. – 463 с.
11. *Коротких, А.Г.* Теплопроводность материалов / А.Г.Коротких; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 97 с.

Статья поступила в редакцию 09.10.13.

Ссылка на статью: Чемоданов А. Н., Горинов Ю. А., Сафин Р. Г., Алибеков С. Я. Применение арболита в качестве теплоизоляционно-балластного материала подводных трубопроводов централизованного теплоснабжения // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 3 (23). – С. 43-56.

Информация об авторах

ЧЕМОДАНОВ Александр Николаевич – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой деревообрабатывающих производств, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – технология и оборудование лесопромышленных складов, оборудование деревообрабатывающих производств, сушильные камеры периодического действия. Автор более 120 публикаций.

E-mail: ChemodanovAN@volgatech.net

ГОРИНОВ Юрий Аркадьевич – аспирант кафедры деревообрабатывающих производств, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки, трубопроводный транспорт энергоносителей. Автор 17 публикаций.

E-mail: gelios62@mail.ru

САФИН Рушан Гареевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ). Область научных интересов – исследование тепло-массообменных процессов; разработка энергосберегающих безотходных технологий и оборудования. Автор более 300 публикаций.

E-mail: safin_rg@kstu.ru

АЛИБЕКОВ Сергей Якубович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машиностроения и материаловедения, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – материаловедение и технологии современных и перспективных материалов. Автор более 200 публикаций.

E-mail: mim@volgatech.net

USAGE OF WOOD CONCRETE AS THERMAL INSULATION-BALLAST MATERIAL OF UNDERWATER PIPELINES OF THE CENTRALIZED HEATING SYSTEM

A. N. Chemodanov¹, Yu. A. Gorinov¹, R. G. Safin², S. Ya. Alibekov¹

¹Volga State University of Technology,

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

E-mail: gelios62@mail.ru

²Kazan National Research Technological University

68, K-Marks St., Kazan, 420015, Russian Federation

E-mail: safin_rg@kstu.ru

Key words: thermal insulation and ballast pipeline coating; underwater construction of heat pipes; stability calculation; calculation of heat passage through the wall.

ABSTRACT

New technique development is impossible without composite materials. By means of the optimum selection of the components, it is possible to obtain the best physical and mechanical properties of the materials. Wood concrete belongs to such materials. It can be used both for buildings construction and for underwater construction of heat pipes. Pipeline consists of a steel pipe in the plastic protective cover and tube space, filled with wood concrete. **The goal** of the research is to ground the usage of a new wood concrete composite with 1160 kg/m³ density and with the coefficient of heat conduction of 0.12 W/mK as a cover of underwater pipelines of the centralized heat supply. With this end in view, a test of stability was carried out and the waste of heat through the wall was defined. **Results.** The calculations showed the following: underwater pipe construction has a negative buoyancy and stable position in the soil, waste of heat is less than the normalized value. Based on these results, it was concluded that the elaborated wood concrete composite has the necessary properties to be used as thermal insulation and ballasting of underwater pipelines.

REFERENCES

1. Gorinov Yu.A., Chemodanov A.N., Alibekov S.Ya. Truba tsentralizovannogo teplosnabzheniya dlya sooruzheniya perekhodov cherez vodnye pregrady [A Pipe of Centralized Heat Supply to Construct Water Crossing]. Patent RF, no 122746 2012.
2. Borodavkin P.P., Berezin V.L., Shadrin O.B. *Podvodnye truboprovody* [Subwater Pipelines]. Moscow: Nedra, 1979. 415 p.
3. Sokolov E.Ya. *Teplofikatsiya i teplovyte seti: 6-e izd., pererab.* [District Heating and Heat Network: 6d edition, improved]. Moscow: MEI publishing house, 1999. 472 p.:illustrated.
4. Borodavkin P.P. *Podzemnye magistralnye truboprovody (proektirovanie i stroitelstvo)* [Subwater Main Pipelines (engineering and construction)]. Moscow: Nedra, 1982. 384 p.
5. Gorbunov-Posadov M.I., Ilichev V.A., Kru-tov V.I. et al. *Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya: pod obshch.red. E.A.Sorchana, Yu.G.Trofimenkova* [Foundation and Underground Constructions :under the general editorship of E.A.Sorchan and Yu.G.Trofimenkov]. Moscow: Stroyizdat, 1985. 480 p., illustrated.
6. Mustafin F.M., Bykov L.I., Mokhov V.N., et al. *Stroitelnye konstruksii neftegazovykh obektov* [Building Structures of Oil and Gas Facilities]. Saint-Petersburg: LLC «Nedra», 2008. 780 p.
7. Tugunov P.I., Novoselov V.F., Korshak A.A., Shammazov A.M. *Tipovye raschety pri proektirovanii i ekspluatatsii neftebaz i nefteprovodov: izd.2e, pere-rabotannoe* [Routine Calculations in Designing and Exploitation of Oil Plants: 2d edition, improved]. Ufa: LLC «Dizayn Poligraf Servis», 2002. 658 p.
8. Nikolaev A.A. *Spravochnik proektirovshchika. Proektirovanie teplovykh setey.* [A Guide of a Designer. Designing of Heat Networks]. Moscow: Stroyizdat, 1965. 359 p.
9. Mikheev M. A., Mikheeva I. M. *Osnovy tep-loperedachi. Izd. 2-e, stereotip* [Heat-Transfer Principles;2d edition, stereotypical]. Moscow: "Energiya", 1977. 344 p.
10. Svets I.T. *Obshchaya teplotekhnika* [General Heat Engineering]. Moscow: Mashgiz, 1961. 463 p.
11. Korotkikh A.G. *Teploprovodnost materialov* [Thermal Conductivity of Materials: study guide]. Tomskiy politechnicheskii universitet [Tomsk Poly-technical University]. Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnical Univesity, 2011. 97 p.

The article was received 09.10.13.

Citation for an article: Chemodanov A.N., Gorinov Yu.A., Safin R.G., Alibekov S.Ya. Usage of wood concrete as thermal insulation-ballast material of underwater pipelines of the centralized heating system. Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2014. No 3(23). Pp. 43-56.

Information about the authors

CHEMODANOV Alexander Nikolayevich – Candidate of Technical Sciences, Professor, Head at the Chair of Woodworking Industry, Volga State University of Technology. Research interests – technology and equipment of forest industrial warehouses, equipment of woodworking industry, intermittent kilns. The author of more than 120 publications.

E-mail: ChemodanovAN@volgatech.net

GORINOV Yuriy Arkadiyevich – Postgraduate student (PhD student) at the Chair of Woodworking Industry, Volga State University of Technology. Research interests – wood technology, technology and equipment of wood industry, pipe transport of energy sources. The author of 17 publications.

E-mail: gelios62@mail.ru

SAFIN Rushan Gareevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head at the Chair of Wood Materials Manufacturing, Kazan National Research Technological University. Research interests – study of heat and mass exchange processes; development of energy-saving non-waste technologies and equipment. The author of more than 300 publications.

E-mail: safin_rg@kstu.ru

ALIBEKOV Sergey Yakubovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head at the Chair of Machine Construction and Material Science, Volga State University of Technology. Research interests – material science and technologies of modern and perspective materials. The author of more than 200 publications.

E-mail: mim@volgatech.net

УДК 004.942, 630.387.33

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИКИ «ТОРМОЗА-СТАБИЛИЗАТОРА»

А. Ю. Мануковский, Д. А. Макаров

Воронежская государственная лесотехническая академия,
Российская Федерация, 394087, Воронеж, ул. Тимирязева, 8
E-mail: mayu1964@mail.ru

Рассмотрена проблема осуществления плотового сплава леса в условиях малых габаритов лесосплавного хода. Описаны основные факторы, затрудняющие лесосплав на малых глубинах. Для решения проблемы представлено устройство для осуществления управления плотом в стеснённых условиях плавания. Описаны основные особенности предлагаемого устройства, среди которых возможность работы на участках рек с критически малым донным запасом. Приведены результаты математического моделирования, а также результаты экспериментального исследования процессов гидродинамики при управлении плотом с помощью «тормоза-стабилизатора» в сравнении с расчётными показателями.

Ключевые слова: сплав леса; плавание в стеснённых условиях; контроль донного запаса; тормоз-стабилизатор.

Введение. Осуществление сплава леса в стеснённых условиях, а именно на малых, средних реках, по мелководным участкам крупных рек, сталкивается с проблемой обеспечения должного управления сложной динамической системой, которую представляет собой плот или линейка из плоских сплотовых единиц. В данных условиях невозможно применение типовых средств управления в виде цепей-волокуш и якорей без нанесения значительного экологического ущерба водоёму [1–3].

В настоящее время основные исследования ведутся в области совершенствования лесотранспортных единиц при использовании уже существующих средств управления [1, 3, 4, 5], для которых, как сказано, известна проблема их эксплуатации на малых и средних реках. По этой причине вопрос лесосплава в стеснённых условиях требует более детального изучения.

Целью работы является исследование гидродинамических процессов, формиру-

ющихся при использовании на плотях средства управления типа «тормоз-стабилизатор».

Объектом исследования являются технологии и системы сплава леса в плотях и линейках из плоских сплотовых единиц по рекам с малыми глубинами.

Методы исследования. Теоретической базой исследования являются основные законы гидродинамики, методы математического и физического моделирования. Математическое моделирование проводилось с использованием программного комплекса FlowVision 3.0. Экспериментальную основу составили исследования тормозного усилия и турбулентного проседания тормоза-стабилизатора в гидравлическом лотке. Обработка результатов исследования проводилась с помощью пакетов компьютерных программ GnuPlot, MathCad.

Решение задачи. Для решения проблемы управления и уменьшения воздействия на дно водоёма нами было предложено средство управления в виде «тормоза-стабилизатора» (рис. 1).

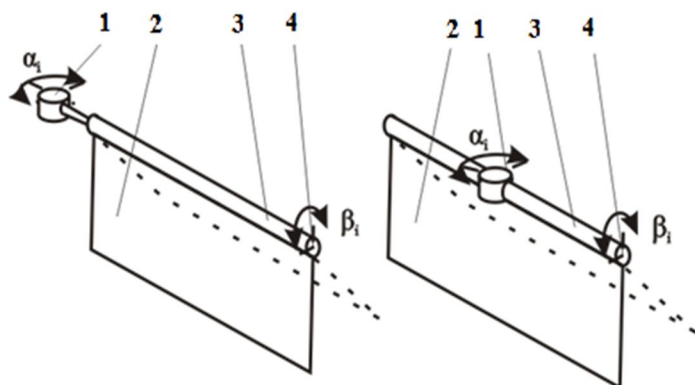


Рис. 1. Средство управления типа «тормоз-стабилизатор»: 1 – ось поворота в горизонтальной плоскости; 2 – тормозной щит; 3 – балка жёсткости (понтон); 4 – ось поворота в вертикальной плоскости

В ходе предварительных исследований [6, 7] была разработана конструкция самотормозящегося плота с кормовым расположением тормозных щитов типа «тормоза-стабилизатора» (рис. 2).

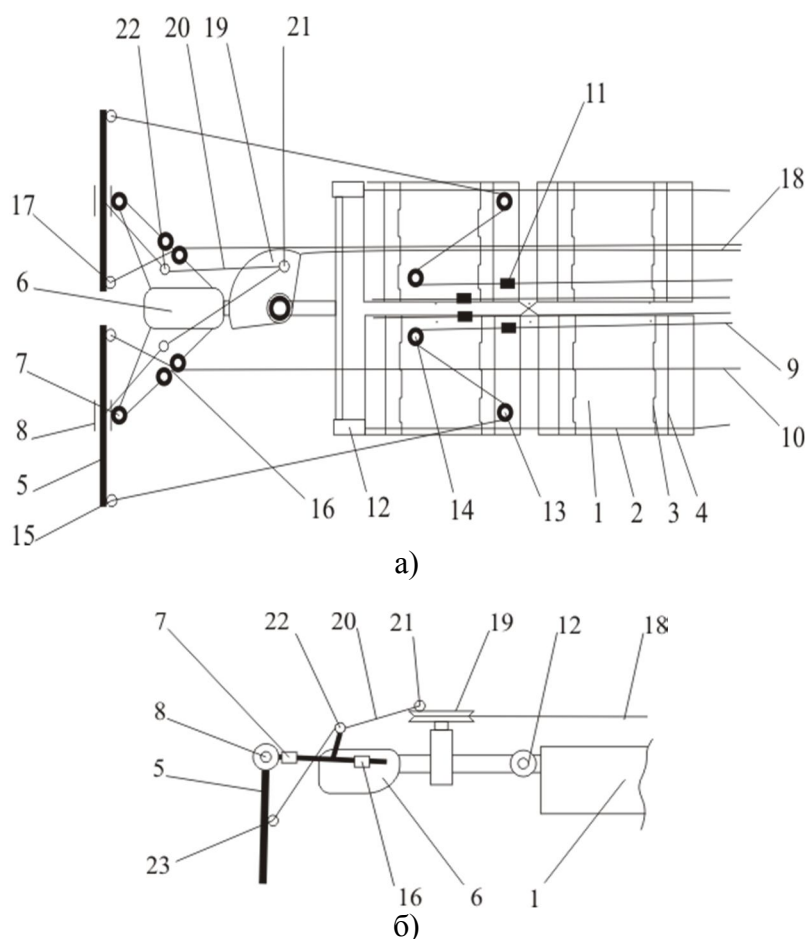


Рис. 2. Самотормозящийся плот: 1 – секция; 2 – лежни; 3 – счалы; 4 – брусстеры; 5 – тормозные щиты; 6 – понтон; 7, 8, 12 – шарнир; 9, 10, 18, 20 – тросовые тяги; 11 – ограничительные муфты; 13, 14, 16 – натяжные ролики; 15, 17, 21, 23 – крепёжные кольца; 19 – рулевой сектор, 22 – направляющие

Малый габарит предлагаемой конструкции самотормозящегося плота (рис. 2) делает возможным её применение на малых и средних реках, что актуально в условиях, когда возможность лесосплава в малых плотах или линейках из плоских сплотовых единиц ограничена параметром донного запаса, определяемым значениями силового проседания от цепей-волокуш и якорей.

При осуществлении плавания в стеснённых условиях на любое тело воздействуют ряд физических явлений, одним из которых является увеличение осадки, которое бывает скоростным, силовым и кавитационным [8].

Опираясь на общеизвестные рекомендации осуществления лесосплава по малым и средним рекам [1, 2, 4], знаем, что для плотового сплава леса параметр критического донного запаса составляет 0,15...0,25 м с поправкой на волнение и габарит лесосплавного хода по ширине, а параметр проседания, включая скоростное и кавитационное (турбулентное), при скоростях буксировки 0,2...1,2 м/с находится в интервале 0,02...0,25 м, т.е. вероятен контакт с дном водоёма, что чревато обрывом такелажных связей. При этом параметр силового проседания от цепей-волокуш колеблется в интервале 0,15...0,4 м, что в случае зацепа за некоторый подвод-

ный объект влечёт за собой обрыв цепей от плота и их затопление. Поэтому в условиях лесосплава в линейках из плоских сплотовых единиц по малым и средним рекам проблема проседания становится практически не решаемой при использовании традиционных средств управления в виде цепей-волокуш и якорей [5]. Данную проблему позволит решить предлагаемое нами средство управления типа «тормоз-стабилизатор» посредством снижения влияния силового проседания.

В процессе предварительных исследований были рассчитаны параметры проседания плота по классической методике Попова и уравнению Бернулли для плавания в стеснённых условиях [6], а также параметры тормозного усилия, создаваемого тормозом-стабилизатором по предложенной нами методике [7, 9]. В результате чего были получены параметры проседания (рис. 3, а) и тормозного усилия (рис. 3, б).

Для проверки результатов, полученных в ходе предварительных исследований, было выполнено математическое моделирование. Исследование гидродинамических характеристик предлагаемой конструкции самотормозящегося плота проводилось в системе автоматического моделирования процессов аэро- и гидродинамики FlowVision.

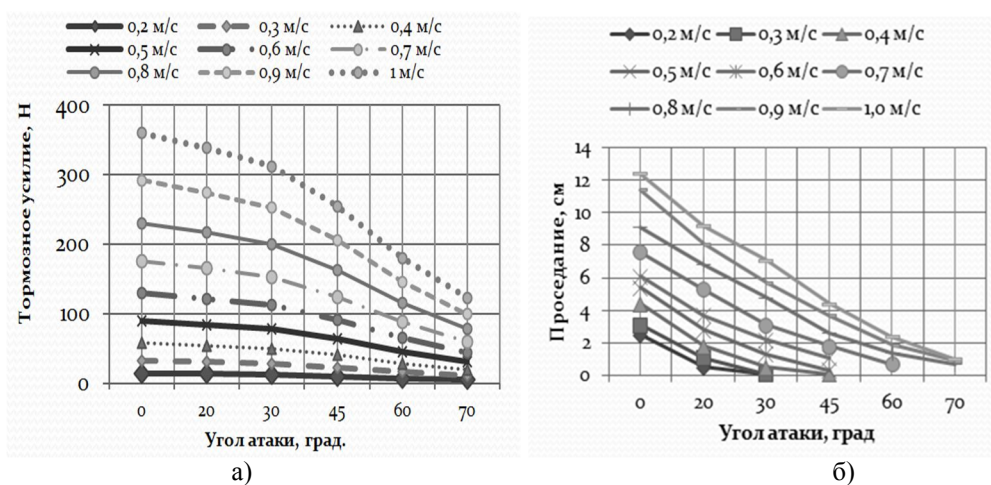


Рис. 3. Результаты предварительных исследований: а – значения тормозного усилия; б – параметры проседания

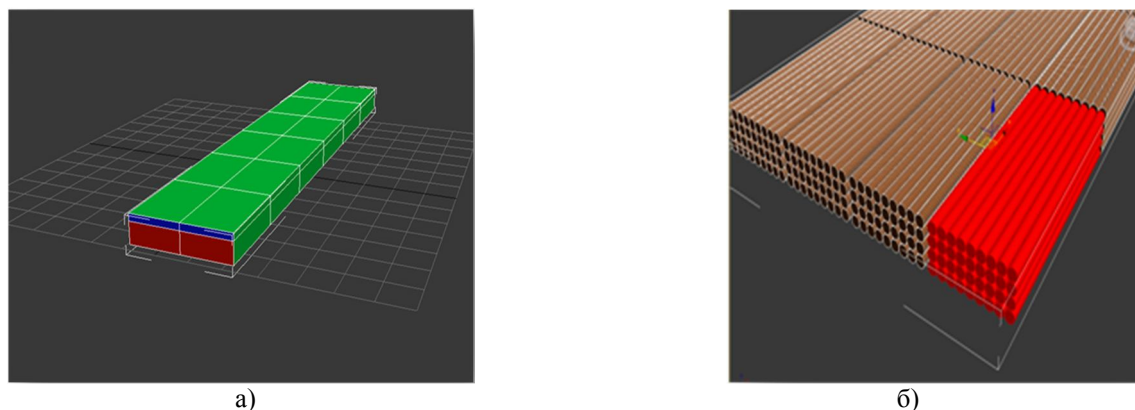


Рис. 4. Трёхмерные модели, полученные в редакторе 3DS Max: а – расчётная область; б – плот

На первом этапе исследований нами в натуральную величину были созданы 3D-модели в редакторе 3DS Max расчётной области (рис. 4, а) и плота (рис 4, б) в соответствии с принятой нами схемой (рис. 2).

При этом параметры 3D-модели плота составили следующие значения: ширина 2,5 м; длина 15 м; осадка 0,8 м; ширина тормозного щита 1 м; высота 1,2 м. Расчётная область имела габарит $2 \times 10 \times 30$ м, с высотой воздушного слоя 0,3 м.

Для моделирования была принята стандартная k-ε модель турбулентности (рис. 5, а) и заданы начальные параметры моделирования (рис. 5, б). Параметры расчётной сетки при этом были следующими: $X = 90$ ячеек; координата $Y = 12$ ячеек; координата $Z = 5$ ячеек.

Изучение распределения давлений при различных углах атаки «тормоза-стабилизатора» для определения параметров зон кавитации производилось в двухмерной системе координат с параметрами расчётной сетки $X = 80$ ячеек, $Z = 32$ ячейки.

По результатам моделирования были получены картины гидродинамического взаимодействия «тормоза-стабилизатора» с водной средой, определяющие тормозное усилие при различных скоростях буксировки и углах атаки в вертикальной плоскости (рис. 6, а), а также составлены зависимости изменения тормозного усилия от угла атаки «тормоза-стабилизатора» и скорости буксировки (рис. 6, б).



Рис. 5. Свойства модели турбулентности: а – параметры математической модели; б – начальные параметры моделирования

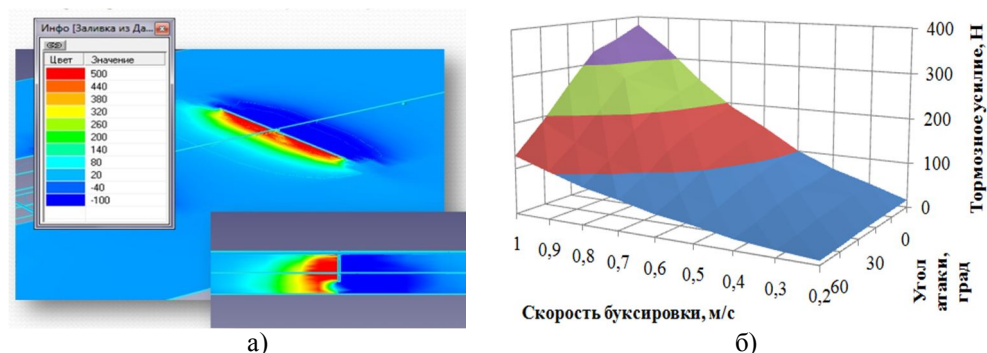


Рис. 6. Картины гидродинамического взаимодействия «тормоза-стабилизатора» с водной средой: а – распределение давлений по площади «тормоза-стабилизатора»; б – графическая зависимость тормозного усилия от углов атаки щита «тормоза-стабилизатора» при различных скоростях буксировки

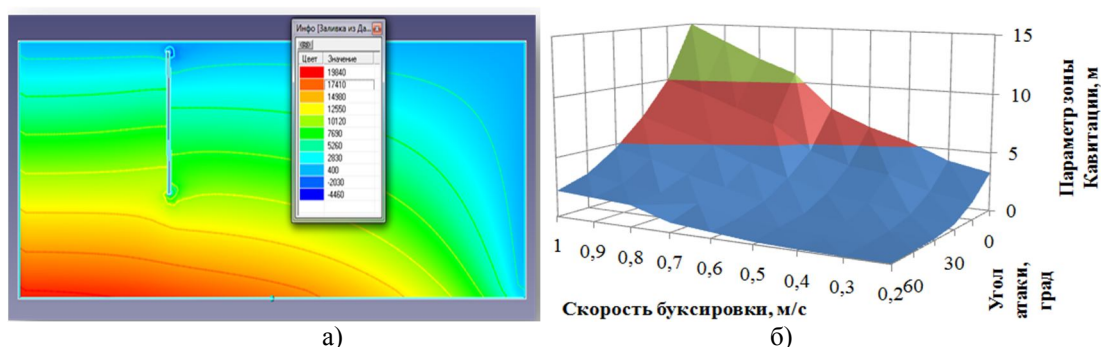


Рис. 7. Параметры проседания, полученные на математической модели: а – карта распределения давлений; б – графическая зависимость показателя проседания от углов атаки щита «тормоза-стабилизатора» при различных значениях скорости буксировки

Важно отметить, что изменение параметра тормозного усилия, создаваемого «тормозом-стабилизатором», имеет нелинейный характер и стремится к минимальным значениям с увеличением угла атаки и уменьшением скорости буксировки [10].

При изучении явления проседания были получены карты распределения давлений, позволяющие определить параметры зоны кавитации, образующейся при буксировке плота на различных скоростях и углах атаки «тормоза-стабилизатора», а также по полученным данным была составлена зависимость изменения вертикального параметра проседания от углов атаки и скорости буксировки самотормозящегося плота (рис. 7).

Как видно из графических зависимостей (рис. 6, б; рис. 7, б), при скоростях буксировки менее 0,5 м/с вертикальный параметр зоны кавитации, численно равный проседанию, стремится к своему минимуму, эта же тенденция наблюдается при уве-

личении угла атаки, и при 45° параметр проседания принимает значения менее 5 см, при этом для модели обеспечивается минимальное тормозное усилие в 100 Н.

Анализируя показатели, полученные в среде автоматического моделирования процессов аэро- и гидродинамики FlowVision, было решено проверить их экспериментально, для чего выполнено экспериментальное исследование. Для проведения эксперимента использовался гидравлический лоток, где была размещена лабораторная установка (рис. 8, а). Экспериментальная установка включает в себя штатив 1, тормоз-стабилизатор 2 размером 1×1,2 м, трубку Пито 3 (рис. 8, а), а также цифровой амперметр 4, блок-преобразователь 5 на базе микроконтроллера Atmega8 и пьезодатчик 6 (рис. 8, б) для определения давлений по площади модели плота. С целью получения масштабных фотоснимков зон кавитации (рис. 7, в) и определения их пара-

метров по градиенту концентрации пузырьков воздуха применяли высокоскоростную камеру Fastvideo-500M (рис. 8, з) и частицы люминофора.

Эксперимент проводился следующим образом. Тормоз-стабилизатор устанавливался под нужным углом к поверхности воды, после чего включалось измерительное оборудование и циркуляция воды с увеличением скорости потока. Измерение проводилось при углах атаки 0, 20, 30, 45, 60 и 70° и скоростях потока 0,2...1,0 м/с с градацией 0,1 м/с. При достижении необходимой скорости потока изменение скорости потока прекращалось и устанавливалось на текущем значении. После завершения переходного процесса производилось измерение давления с интервалом 30 секунд. Осреднение проводилось по десяти значениям давления. Автоматизация процесса измерения осуществлялась с помощью специализированной компьютерной программы. Затем процесс изме-

рения повторялся при других значениях потока.

Процесс измерения сопровождался фото- и видеофиксацией зон кавитации, образующихся при различных скоростях потока. Для визуализации процесса использовались частицы люминофора.

Результаты проведенных исследований показали, что изменение показателей в случае изменения тормозного усилия и параметра зоны кавитации имеют нелинейный характер. Данный результат позволяет оптимизировать режим работы тормоза-стабилизатора в заданных условиях. Как видно из графических зависимостей (рис. 9), при скоростях буксировки менее 0,5 м/с вертикальный параметр зоны кавитации стремится к своему минимуму, эта же тенденция наблюдается при увеличении угла атаки, и при 45° параметр проседания принимает значения менее 5 см, при этом для модели обеспечивается минимальное тормозное усилие в 100 Н.

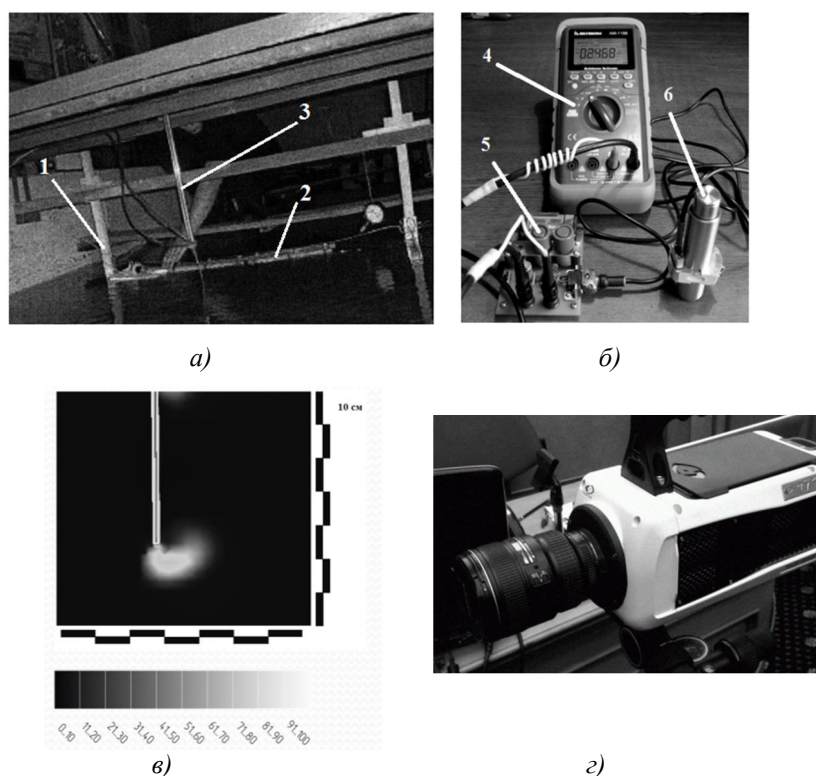


Рис. 8. Экспериментальная установка: а – внешний вид, б – прибор для определения давления; в – фото-снимок зоны кавитации; г – высокоскоростная видеокамера; 1 – штатив; 2 – тормоз-стабилизатор; 3 – трубка Пито; 4 – цифровой амперметр; 5 – блок-преобразователь на базе микроконтроллера Atmega8; 6 – пьезодатчик

Полученные фотоснимки позволяют судить об уменьшении параметров зоны кавитации с увеличением угла атаки, что свидетельствует и об уменьшении параметра проседания, приближённого к вертикальному параметру зоны кавитации.

Оценка полученных данных посредством критериев Фишера и Стьюдента показала, что они не превышают допустимых показателей в 5,05 и 2,26 соответственно.

Результаты экспериментальных исследований согласуются с результатами компьютерного моделирования. Отклонение экспериментального значения тормозного усилия при скоростях более 0,5 м/с не превышает 6 % от теоретической величины (рис. 10).

Параметры зон кавитации, полученные экспериментально и в процессе моделирования в среде FlowVision, также показывают хорошую сходимость (рис. 11).

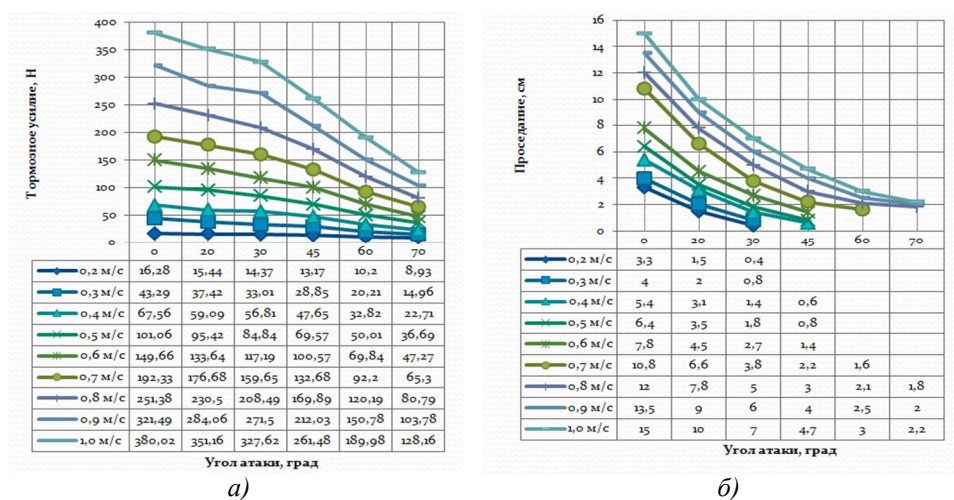


Рис. 9. Графические зависимости, полученные на лабораторной модели при различных углах атаки тормоза-стабилизатора и скоростях потока: а – тормозное усилие; б – параметр зоны кавитации

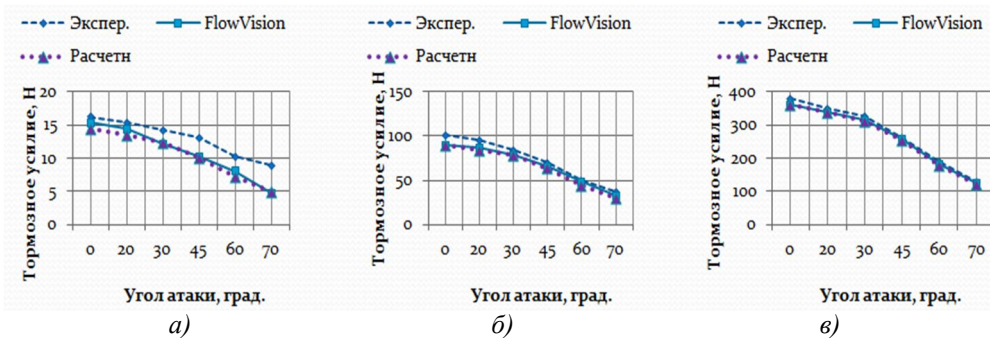


Рис. 10. Изменение тормозного усилия при различных скоростях потока: а – 0,2 м/с; б – 0,5 м/с; в – 1 м/с

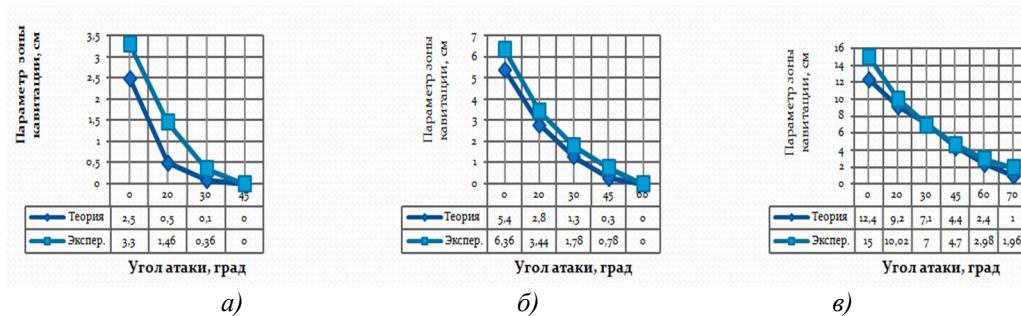


Рис. 11. Изменение проседания при различных скоростях потока: а – 0,2 м/с; б – 0,5 м/с; в – 1 м/с

Выводы. Произведённые исследования гидродинамических процессов, формирующихся при использовании на плотках средства управления типа «тормоз-стабилизатор», позволяют судить о перспективности применения предлагаемого устройства на малых и средних реках, а именно в условиях малого донного запаса.

Возможность изменения угла атаки и, как следствие, изменение параметров кавитационной зоны, влияющей на увеличение осадки конструкции плота, позволят избежать столкновения средства управления с дном водоёма, а создаваемого при этом тормозного усилия достаточно для обеспечения должного управления плотом.

Список литературы

1. Митрофанов, А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение/ А.А. Митрофанов. – Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2007. – 492 с.
2. Поздеев, А.Г. Совершенствование средств инженерно-экологического обустройства водохранилищ ГЭС / А.Г. Поздеев, И.А. Полянин, Е.М. Царев, Ю.А. Кузнецова// Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. –2011. –№ 1. – С. 83-98.
3. Поздеев, А.Г. Обоснование параметров средств регулирования перекатов для обустройства лесосплавных путей// А.Г. Поздеев// Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2011. – Вып. 197. – С. 118-130.
4. Поздеев, А.Г. Совершенствование оценки экологического состояния линейных частей нефтепроводов на территориях с интенсивным карстообразованием/ А.Г. Поздеев, С.Я. Алибеков, С.Ф. Киркин, Ю.А. Кузнецова// Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2011. – № 2. – С. 84-93.
5. Поздеев, А.Г. Обобщение модели экологии популяций Лотки-Вольтерры на основе принципов системной динамики / А.Г. Поздеев, В.П. Сапцин, Ю.А. Кузнецова // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. –2011. –№ 2. – С. 94-101.
6. Мануковский, А.Ю. Эксплуатационные характеристики системы управления типа «тормоз-стабилизатор» для плотового лесосплава/ А.Ю. Мануковский, Д.А. Макаров. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2013. – 70 с.
7. Мануковский, А.Ю. Система управления типа «тормоз-стабилизатор» для плотового лесосплава/ А.Ю. Мануковский, Д.А. Макаров, Ю.А. Макарова. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2013. – 27 с. Деп. в ВИНТИ 29.05.2013, №155-В2013.
8. Снопков, В.И. Управление судном / В.И. Снопков. – СПб: Проффессионал, 2004. – 536 с.
9. Мануковский, А.Ю. К вопросу о сплаве леса по рекам с малыми глубинами/ А.Ю. Мануковский, Д.А. Макаров// Леса России в XII веке: Материалы девятой международной научно-технической интернет-конференции (сентябрь 2012 г.). – СПб., 2012. – С. 90-93.
10. Мануковский, А.Ю. Моделирование процессов гидродинамики «тормоза-стабилизатора»/ А.Ю. Мануковский, Д.А. Макаров, Ю.А. Макарова// Моделирование систем и процессов. – 2014. – № 1. – С.70 – 74.

Статья поступила в редакцию 15.07.14.

Ссылка на статью: Мануковский А. Ю., Макаров Д. А. Исследование процессов гидродинамики «тормоза-стабилизатора» // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 3 (23). – С. 57-66.

Информация об авторах

МАНУКОВСКИЙ Андрей Юрьевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии, Воронежская государственная лесотехническая академия. Область научных интересов – проблемы водного транспорта и комплексного освоения водных ресурсов, математическое моделирование в гидродинамике и экологии. Автор более 95 научных работ, в т.ч. четырёх монографий, пяти учебных пособий, двух патентов на изобретения, четырёх свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. E-mail: mayu1964@mail.ru

МАКАРОВ Дмитрий Александрович – соискатель кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии, программист центра дистанционного образования, Воронежская государственная лесотехническая академия. Область научных интересов – проблемы водного транспорта и комплексного освоения водных ресурсов, математическое моделирование в гидродинамике и экологии. Автор 10 публикаций, в т.ч. одного авторского свидетельства на изобретение, одной монографии, семи свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. E-mail: d.a.makarov@mail.ru

THE «BRAKE – STABILIZER» HYDRODYNAMIC PROCESSES STUDY

A. Yu. Manukovskiy, D. A. Makarov

Voronezh State Forest Engineering Academy,
8, Timiryazeva St., Voronezh, 394087, Russian Federation
E-mail: mayu1964@mail.ru

Key words: rafting; constrained conditions of floating; ground stock control; brake-stabilizer.

ABSTRACT

The problem of the timber rafting in terms of small size floating route was considered in the paper. The main factors hindering timber rafting in the rivers with shallow depths were described. To solve the problem, a device for a float control in the constrained conditions was offered. The main features of the device including the ability to work in the rivers with critically small bottom margin as well as the ability to change the generated braking force were described. The main requirements for timber floating in the rivers with shallow depths and the phenomena which occur in this situation are offered to better understand the problem. On the basis of the described requirements for the proposed construction of the raft with a mounted in it the control device («brake-stabilizer»), a mathematical simulation and experimental study were carried out. Mathematical simulation in the FlowVision medium and a pilot study of flow raft with a mounted in it a «brake-stabilizer» were described in the article step by step. The main parameters under investigation are the parameters of the construction subsidence due to a number of factors as well as the braking force generated by the «brake-stabilizer». The results of mathematical simulation as well as the results of an experimental study of the hydrodynamic processes in raft control by means of «brake-stabilizer» in comparison with the calculated values are offered. In addition to the results of mathematical simulation in FlowVision and some experimental data, design parameters of subsidence made by the usual Popov techniques and Bernoulli's equation to swim in the constrained conditions are offered. Comparison of the obtained results of the study was made.

REFERENCES

1. Mitrofanov A.A. Lesosplav. Novye tekhnologii, nauchnoe i tekhnicheskoe obespechenie [Rafting. New Technologies, Scientific and Engineering Support]. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University, 2007. 492 p.
2. Pozdeev A.G., Polyanin I.A., Tsarev E.M., Kuznetsova Yu.A. Sovershenstvovanie sredstv inzhenerno-ekologicheskogo obustroystva vodokhranilishch GES [Improvement of the Facilities of Engineering and Ecological Arrangement of Hydro-Electric Power Stations]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2011. № 1. Pp. 83-98.
3. Pozdeev A.G. Obosnovanie parametrov sredstv regulirovaniya perekatov dlya obustroystva lesosplavnykh putey [Grounding of the Parameters of the Means to Control the Rifts for Floating Routes Arrangement]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy leso-tekhnicheskoy akademii* [Izvestiya of Saint-Petersburg Forest Engineering Academy]. 2011. Issue. 197. Pp. 118-130.
4. Pozdeev A.G., Alibekov S.Ya., Kirkin S.F., Kuznetsova Yu.A. Sovershenstvovanie otsenki ekologicheskogo sostoyaniya lineynykh chastey nefteprovodov na territoriyakh s intensivnym karstoobrazovaniem [Improvement of the Assessment of Ecological Condition of the Linear Parts of Pipelines at the Territories with Intensive Karstification]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2011. № 2. Pp. 84-93.
5. Pozdeev A.G., Saptsin V.P., Kuznetsova Yu.A. Obobshchenie modeli ekologii populyatsiy Lotki-Volterra na osnove printsipov sistemnoy dinamiki [Generalization of the Ecology Model of the Lotka-Volterra Population Based on the Principles of the Systems Dynamics]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2011. № 2. Pp. 94-101.
6. Manukovskiy A.Yu., Makarov D.A. Ekspluatatsionnye kharakteristiki sistemy upravleniya tipa «tormoz-stabilizator» dlya plotovogo lesosplava [Performance of the Control System «Brake-Stabilizer» for Rafting]. Voronezh: FSBEI HPE «VGLTA», 2013. 70 p.
7. Manukovskiy A.Yu., Makarov D.A., Makarova Yu.A. Sistema upravleniya tipa «tormoz-

stabilizator» dlya plotovogo lesosplava [Control System "Brake-Stabilizer" for Rafting]. Voronezh: FSBEI HPE «VGLTA», 2013. 27 p.

8. Snopkov V.I. *Upravlenie sudnom* [Manoeuvring a Ship]. Saint-Petersburg: Professional, 2004. 536 p.

9. Manukovskiy A.Yu., Makarov D.A. K vo-
prosu o splave lesa po rekam s malymi glubinami
[To the Problem of Forest Rafting in the Rivers
with Shall Depth]. Lesa Rossii v XII veke: Materialy
devyatoy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy

internet-konferentsii (sentyabr 2012 g.) [Russian
Forest in the XXIth Century: proceedings of the 9th
International Research and Technical Internet-
Conference (September 2012)]. Saint-Petersburg,
2012. Pp. 90-93.

10. Manukovskiy A.Yu., Makarov D.A.,
Makarova Yu.A. Modelirovanie protsessov gidro-
dinamiki «tormoza-stabilizatora» [Simulation of Hy-
drodynamics Processes "Brake-Stabilizer"]. Mod-
elirovanie system i protsessov [Systems and Processes
Simulation]. 2014. № 1. Pp.70 – 74.

The article was received 15.07.14.

Citation for an article: Manukovskiy A.Yu., Makarov D.A. The «brake – stabilizer» hydrodynamic processes study. Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2014. No 3(23). Pp. 57-66.

Information about the authors

MANUKOVSKIY Andrey Yuriyevich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor at the Chair of Industrial Transport, Construction and Geodesy, Voronezh State Forest Engineering Academy. Research interests – problems of water transport and complex development of water resources, mathematic simulation in hydrodynamics and ecology. The author of more than 95 scientific papers, including 4 monographs, 5 study guides, 2 patents for invention, 4 certificates of state registration of application software.

E-mail: mayu1964@mail.ru

MAKAROV Dmitriy Aleksandrovich – Applicant for a Candidate Degree at the Chair of Industrial Transport, Construction and Geodesy, Programmer at the Centre of Distance Education, Voronezh State Forest Engineering Academy. Research interests – problems of water transport and complex development of water resources, mathematic simulation in hydrodynamics and ecology. The author of 10 publications, including 1 author's certificate for invention, 1 monograph.

E-mail: d.a.makarov@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК 630*182

СТРУКТУРА МИКОБИОТЫ В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЛЕСАХ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

Н. Н. Гаврицкова

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

Приведены результаты детального изучения грибов-макромицетов на лесных территориях Республики Марий Эл с различными видами рекреационного лесопользования; изучен видовой состав и проведён анализ таксономической и эколого-трофической структуры выявленных макромицетов; изучено комплексное влияние рекреационных нагрузок на грибы-макромицеты в лесных фитоценозах. Выделены виды ксилотрофных макромицетов, реакция которых на антропогенное вмешательство служит показателем усиления рекреационного воздействия, среди них синантропные виды, проявляющие активность в антропогенно-нарушенных фитоценозах, и чувствительные виды, исчезающие при усилении рекреационной нагрузки.

Ключевые слова: микобиота; макромицеты; рекреация; эколого-трофические группы грибов.

Введение. Возрастающее рекреационное природопользование в лесах приводит к нежелательным экологическим последствиям – снижению почвозащитных, водоохраных и санитарно-гигиенических функций, уменьшению эстетической ценности и постепенной деградации. Длительное и интенсивное рекреационное лесопользование прямо или косвенно воздействует на все составляющие компоненты экосистемы. Значителен вклад грибов-макромицетов в поддержание устойчивости и стабильности природных сообществ. Грибы являются основным, наиболее важным звеном гетеротрофного блока экосистем, осуществляющим процессы биодеструкции и возврата органических

веществ в природный круговорот. В лесных биогеоценозах группировки грибов выполняют разнообразные функции, занимают различные эколого-трофические уровни, их видовой состав отличается огромным многообразием.

Рекреационная деятельность как фактор воздействия на грибные сообщества объектом внимания стала сравнительно недавно. Проблемы антропогенной трансформации микобиоты были затронуты в работах В. А. Мухина [1, 2], В. И. Шубина [3], Л. Г. Буровой [4], М. Н. Сионовой [5], В. Г. Стороженко [6] и др. По мнению В. А. Мухина и др. [2], усиление антропогенной нагрузки на лесные экосистемы сопровождается сокра-

щением биологического разнообразия грибов за счёт исчезновения антропофобных видов и увеличением численности и расширением ареала синантропных грибов, для которых деятельность человека выступает как положительный фактор.

Л. Г. Бузова [4] и М.Н Сионова [5] в своих работах рассматривали симбиотрофные макромицеты в качестве индикаторов нарушения и неустойчивости лесных экосистем. По их мнению, с возрастанием рекреационной нагрузки число видов микоризообразователей и их доля в микоценозе закономерно снижаются. При интенсивном посещении лесов, сопровождающемся уплотнением почвы и изменением состава растений напочвенного покрова, в первую очередь исчезают редко встречающиеся виды микоризных грибов (белый гриб, груздь белый, подосиновик красный, подосиновик жёлто-бурый), а получают доминирование виды, способные развиваться при повышенной плотности почвы (лисичка настоящая, подгруздок белый, валуй).

Ксилотрофные грибы в качестве индикаторов деградации лесных экосистем в своих работах рассматривали многие авторы. Высокое видовое богатство ксилотрофных грибов само по себе ещё не является индикатором устойчивого состояния лесов. Достоверными индикаторами рекреационного воздействия на лесные экосистемы могут являться отдельные виды грибов. Так, В. Г. Стороженко [6] отмечает, что с увеличением рекреационной нагрузки активизируется развитие ряда возбудителей корневых, комлевых и стволовых гнилей – корневая губка, еловый комлевой трутовик, опёнок осенний, северный трутовик, трутовик Швейнитца. Кроме того, В. А. Мухин [2] выделил синантропные виды макромицетов – трутовик тёмнопоровый, трутовик настоящий, трутовик плоский, трутовик горбатый, трутовик разноцветный, стереум шерстистый, щелелистник обыкновенный и др.

Учитывая большую важность грибов в процессе функционирования биогеоценозов, проблемы инвентаризации микобиоты и выявления закономерностей антропогенного изменения видового разнообразия и структуры макромицетов являются наиболее актуальными проблемами экологии. Вследствие этого оценка последствий воздействия рекреации на грибы-макромицеты, как компонент лесных фитоценозов, в настоящее время является одной из актуальных задач, имеющей как теоретическое, так и прикладное значение.

Цель исследования – выявление влияния рекреации на видовое разнообразие и структуру грибов-макромицетов.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

- определить видовое разнообразие грибов-макромицетов в исследуемых лесных фитоценозах;
- выявить особенности таксономической структуры изучаемых макромицетов;
- изучить эколого-трофическую структуру выявленных макромицетов;
- проанализировать изменения в видовом разнообразии и структуре макромицетов под влиянием рекреационных нагрузок.

Методика и объекты исследований.

В качестве территорий исследования были выбраны участки чистых насаждений и смешанных лесов Республики Марий Эл с разным типом и степенью рекреационного воздействия, уровень которого внутри объектов исследования (на пробных площадях) определялся по состоянию растительного покрова, верхнего слоя почвы и подстилки. Контрольные объекты – практически не затронутые рекреацией лесные массивы Ботанического сада ПГТУ, который характеризуется особым природоохранным режимом, и священные рощи Сернурского района Республики Марий Эл, посещение которых ограничено традиционной марийской культурой и сознанием людей. Объекты с высоким уровнем рекреационного воздействия – городские ле-

са (г. Йошкар-Ола): лесопарк «Сосновая роща» и лесопарк «Дубовая роща», а также территория национального парка «Марий Чодра» (далее НП «Марий Чодра»), вдоль туристической тропы к озеру Глухое.

Изучение видового состава макромицетов осуществлялось маршрутно-детальным способом на пробных площадях (0,25 га) лесопарков г. Йошкар-Олы, Ботанического сада ПГТУ, НП «Марий Чодра» и в целом на территориях священных рощ Сернурского района. Исследования проводились в типах леса: сосняк кисличный, лишайниково-мшистый и зеленомошный; дубняк кленово-пихтовый и кленово-липовый; осинник липняковый; липняк разнотравный; ельник кисличный, липняковый и липовый. Учитывались плодовые тела (карпофоры) на различных субстратах (почве, валеже, опаде, пнях, живых деревьях). При учёте на сухостое, пнях и валеже отмечалась давность их образования (старый, свежий).

Определение макромицетов проводилось по базидиомам в полевых и камеральных условиях [7, 8].

Экологические группы грибов выделяли по В. Рипачеку [9], В. Я. Частухину, М. А. Николаевской [10], М. А. Бондарцевой [11].

Количественная оценка видового разнообразия проводилась на основе традиционных показателей [12]. При проведении анализа сходства микобиоты разных участков по обилию видов экологических групп макромицетов использовался количественный коэффициент Жаккара.

Результаты исследования и их обсуждение. На изучаемых пробных площа-

дях по результатам микологических обследований всего было зарегистрировано 152 вида гриба-макромицета (табл. 1). Из них наибольшее количество было выявлено в священных рощах Сернурского района (76 видов). На пробных площадях лесопарков «Сосновая роща» и «Дубовая роща» величина видового богатства грибов, обитающих на различных субстратах, составляла соответственно: 65 и 50 видов; 60 видов макромицетов было обнаружено в Ботаническом саду-институте ПГТУ. Бедным видовым богатством была отмечена территория НП «Марий Чодра» вдоль туристической тропы (17 видов).

Биоразнообразие макромицетов в изученных насаждениях Республики Марий Эл выявляется при анализе таксономической структуры обнаруженных грибов. Выявленные в исследованных лесных фитоценозах Республики Марий Эл виды грибов-макромицетов относятся к 40 семействам и 84 родам.

В количественном отношении в группе макромицетов преобладали представители семейства Tricholomataceae, включающие 39 видов из 17 родов, что составляет 25,5 % от общего числа выявленных видов. Второе место по числу видов занимает семейство Russulaceae (26 видов, или 17,0 % от общего числа видов). По количеству видов преобладающими оказались и семейства Hymenochaetaceae (8 видов, или 5,2 %), Polyporaceae (8 видов, или 5,2 %), Boletaceae (7 видов, или 4,6 %). В остальных семействах насчитывалось менее чем по пять видов. Причём более половины семейств являлись однородовыми и одновидовыми.

Таблица 1

Видовое богатство грибов-макромицетов по числу видов, выявленных на объектах исследования

Лесопарки г. Йошкар-Олы		НП «Марий Чодра»	Ботанический сад ПГТУ	Священные рощи
«Дубовая роща»	«Сосновая роща»			
50	65	17	60	76

Таблица 2

Ранги и число видов ведущих семейств макромицетов на объектах исследования

Семейства	Лесопарки г. Йошкар-Олы				НП «Марий Чодра»		Ботанический сад ПГТУ		Священные рощи	
	«Дубовая роща»		«Сосновая роща»							
	ранг	число видов	ранг	число видов	ранг	число видов	ранг	число видов	ранг	число видов
Tricholomataceae	1	12	1	17			1	17	1	24
Polyporaceae	2	5	3-4	5	1	3	3-4	4	3-5	4
Hymenochaetaceae	3	4	3-4	5	2-3	2	3-4	4	3-5	4
Russulaceae	4	3	2	9			2	7	2	14
Fomitopsidaceae	5	2			2-3	2				
Boletaceae			5-4						3-5	4
Strophariaceae							5	3		

Для сравнительного анализа таксономической структуры макромицетов изучаемых территорий проведено сравнение рангов пяти ведущих семейств (табл. 2).

По данным представленной таблицы лидирующее положение в большинстве районов исследования занимает семейство Tricholomataceae, что указывает на преобладание южнотаежных черт в характере изученной микобиоты. На втором месте по числу видов оказались семейство Russulaceae – в лесопарке «Сосновая роща» [13], Ботаническом саду ПГТУ и в священных рощах Сернурского района Республики Марий Эл, а в лесопарке «Дубовая роща» на втором месте оказалось семейство Polyporaceae.

Чёткого рангового распределения среди других семейств выделено не было. Семейства Polyporaceae, Hymenochaetaceae, Fomitopsidaceae, Boletaceae и Strophariaceae немногочисленны, включают в разных объектах исследования от двух до пяти видов макромицетов.

При анализе рангового распределения ведущих семейств макромицетов в разных объектах исследования выявлено, что таксономическая структура микобиоты сравниваемых территорий характеризуется большим сходством и не претерпевает особых изменений с увеличением рекреационной нагрузки.

Необходимо обратить внимание на тот факт, что для территорий лесопарка «Дубовая роща», являющегося зоной активного отдыха, ранговое положение семейства Polyporaceae становится выше по сравнению с ненарушенными территориями, а на территориях НП «Марий Чодра» семейство Polyporaceae становится ведущим. Как известно, многие полипоровые или собственно трутовые грибы паразитируют на стволах и ветвях деревьев, и массовое их распространение является показателем нарушенности лесных фитоценозов.

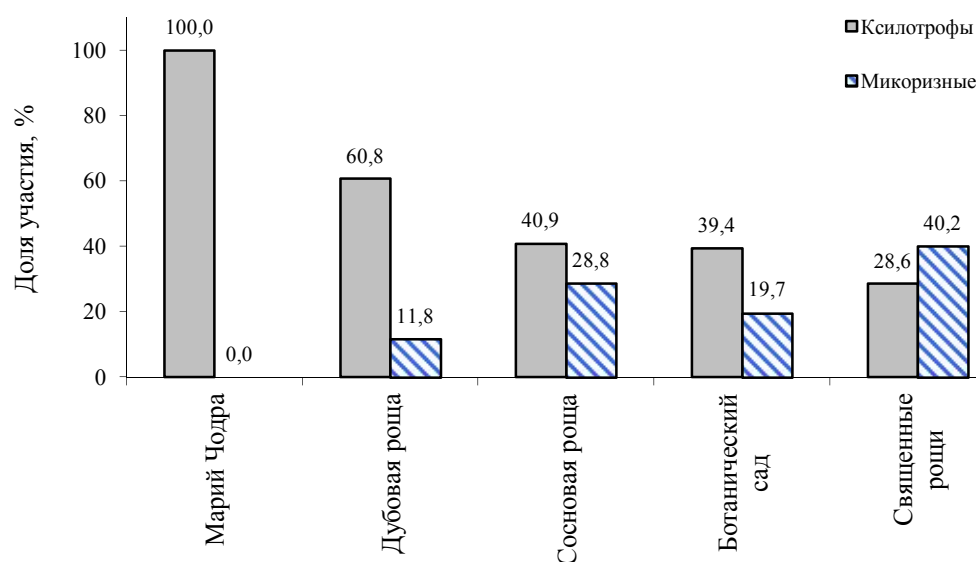
При усилении рекреационной нагрузки на лесные сообщества видовое обилие и процентное соотношение экологических групп макромицетов в лесах изученных объектов исследования претерпевают изменения (табл. 3).

Анализ табличных данных показал, что доля ксилотрофных макромицетов в микоценозе обследованных лесов увеличивается по градиенту усиления рекреационного воздействия. При этом порядок возрастания доли участия ксилотрофных макромицетов в микоценозе районов исследования представлен следующим рядом: священные рощи Сернурского района – Ботанический сад ПГТУ – лесопарк «Сосновая роща» – лесопарк «Дубовая роща» – НП «Марий Чодра» (см. рис. с. 61).

Таблица 3

Видовое обилие и процентное соотношение эколого-трофических групп макромицетов на объектах исследования

Эколого-трофическая группа	Лесопарки г. Йошкар-Олы				НП «Марий Чодра»		Ботанический сад ПГТУ		Священные рощи	
	«Дубовая роща»	«Сосновая Роща»								
	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%
Ксилотрофные сапротрофы	19	37,3	11	16,7	8	47,1	10	16,4	12	15,6
Факультативные паразиты	7	13,7	9	13,6	6	35,3	9	14,8	6	7,8
Факультативные сапротрофы	5	9,8	7	10,6	3	17,6	5	8,2	4	5,2
Подстилочные	12	23,5	18	27	-	-	22	36,0	20	26,0
Микоризные	6	11,8	19	28,8	-	-	12	19,7	31	40,2
Гумусовые	2	3,9	2	3,0	-	-	3	4,9	4	5,2



Доля участия ксилотрофных и микоризных макромицетов в биотопах

Наименьшая доля участия ксилотрофных макромицетов в формировании микоценозов характерна для практически ненарушенных лесных экосистем священных рощ, а наибольшая – для участка НП «Марий Чодра» вдоль туристической тропы к оз. Глухое, подверженному рекреационной нагрузке в сильной степени. Увеличение доли ксилотрофов в городских лесах и на изученном участке национального парка связано с увеличением

участия группы факультативных сапротрофов (доля факультативных сапротрофов увеличивается в изученных районах в той же последовательности), что в свою очередь обусловлено наличием большого числа повреждённых деревьев и кустарников, в наибольшей степени подверженных заражению спорами паразитических ксилотрофов.

Доля микоризных грибов в микобиоте обследованных лесов уменьшается по

градиенту усиления рекреационного воздействия и в порядке убывания объекты исследования представлены следующим рядом: священные рощи Сернурского района – Ботанический сад ПГТУ – лесопарк «Сосновая роща» – лесопарк «Дубовая роща» – НП «Марий Чодра».

Число видов подстилочных сапротрофов также сокращается при усилении рекреационной нагрузки. Максимальное количество видов подстилочных грибов было обнаружено в ботаническом саду (22 вида), минимальное – в лесопарке «Дубовая роща» (12 видов), а в национальном парке на изученном участке не было ни одного вида подстилочных грибов. Такая тенденция изменения видового богатства связана с максимальным разрушением лесной подстилки в лесах, подверженных сильному рекреационному воздействию. Однако сопоставление долей участия подстилочных макромицетов в микоценозе различных районов обследования не выявило подобной закономерности.

Таким образом, реакция отдельных экологических групп макромицетов на различную степень рекреационной нагрузки неоднозначна. Микоризные и подстилочные макромицеты однозначно избегают рекреационно-нарушенных сообществ с уплотнёнными верхними слоями почвы и разрушенной лесной подстилкой. Гумусовые макромицеты неодно-

значно реагируют на усиление рекреационной нагрузки на лесные экосистемы. Макромицеты эколого-трофической группы ксилотрофов положительно реагируют на рекреационное воздействие.

Для получения более полного представления об исследуемой микобиоте проведён сравнительный анализ видового обилия среди ксилотрофных макромицетов всех изученных районов. Для сравнения выбраны отдельно группы факультативных паразитов и факультативных сапротрофов, так как грибы-патогены являются достоверными индикаторами увеличивающейся антропогенной нарушенности фитоценозов.

В качестве меры сходства использовался традиционный коэффициент Жаккара, значения рассчитанного коэффициента для сравниваемых объектов представлены в табл. 4 и 5.

Наибольшее сходство между обилием видов факультативных паразитов (табл. 4) наблюдается в микобиоте священных рощ Сернурского района, НП «Марий Чодра» и Ботанического сада ПГТУ. Об этом свидетельствуют наибольшие значения коэффициента Жаккара для этих территорий (0,42 и 0,40). Кроме того, достаточно высокое значение коэффициента Жаккара по обилию видов факультативных паразитов характерно для Ботанического сада ПГТУ и лесопарка «Сосновая роща» (0,35).

Таблица 4

Значения коэффициента Жаккара сравниваемых объектов по обилию видов факультативных паразитов

Сравниваемые объекты	Лесопарк «Дубовая роща»	Лесопарк «Сосновая роща»	НП «Марий Чодра»	Ботанический сад ПГТУ	Священные рощи
Лесопарк «Дубовая роща»	1				
Лесопарк «Сосновая роща»	0,25	1			
НП «Марий Чодра»	0,05	0,11	1		
Ботанический сад ПГТУ	0,18	0,35	0,13	1	
Священные рощи	0,12	0,31	0,42	0,40	1

Обратившись к данным по обилию видов факультативных паразитов в изученных районах, можно сделать вывод, что сходство этих территорий обусловлено наличием общих видов макромицетов. Во всех без исключения районах обследования были встречены трутовик настоящий и трутовик окаймлённый. Причём, обилие трутовика окаймлённого было меньше на территориях, в большей степени подверженных рекреационному воздействию, за исключением лесопарка «Сосновая роща», что в значительной степени подтверждает закономерность, отмеченную В. А. Мухиным [1, 2], который в своих работах пришёл к выводу, что трутовик окаймлённый снижает свою активность с увеличением антропогенной нагрузки на лесные экосистемы. Сходным образом опёнок осенний и опёнок сернисто-жёлтый реагировали на увеличение рекреационной нагрузки, с её возрастанием обилие данных видов сокращалось.

Чешуйчатка золотистая и стереум шерстистый были отмечены на территориях, сильно подверженных рекреационному воздействию, и характеризовались высоким обилием среди факультативных паразитов. Многочисленными исследованиями доказано, что эти виды являются синантропными и проявляют максимальную биотическую активность в рудеральных местообитаниях.

Значения коэффициента сходства по обилию видов факультативных сапротрофов оказались ниже значений коэффициента сходства по обилию видов факультативных паразитов. По данному признаку наиболее близкими являются сообщества факультативных сапротрофов лесопарка «Дубовая роща» и лесопарка «Сосновая роща» (коэффициент Жаккара – 0,49).

Наибольшее сходство сообществ факультативных сапротрофов в лесопарках города обусловлено сходством в обилии видов данной группы макромицетов. Так, в лесопарках города наблюдается сходство в обилии следующих видов факультативных сапротрофов: трутовик серно-жёлтый (21,6 % – в Дубовой роще, 15 % – в Сосновой роще), ложный дубовый трутовик (33,3 % – в Дубовой роще, 25 % – в Сосновой роще), ложный осиновый трутовик (25,5 % – в Дубовой роще, 30 % – в Сосновой роще). Причём, обилие этих видов макромицетов в менее нарушенных рекреацией районах (Ботанический сад ПГТУ, священные рощи Сернурского района) было значительно меньше. Следовательно, увеличение обилия ложного дубового и ложного осинового трутовиков, а также серно-жёлтого трутовика может свидетельствовать об увеличении рекреационных нагрузок на лесные фитоценозы.

Таблица 5

Значения коэффициента Жаккара сравниваемых объектов по обилию видов факультативных сапротрофов

Сравниваемые объекты	Лесопарк «Дубовая роща»	Лесопарк «Сосновая роща»	НП «Марий Чодра»	Ботанический сад ПГТУ	Священные рощи
Лесопарк «Дубовая роща»	1				
Лесопарк «Сосновая роща»	0,49	1			
НП «Марий Чодра»	0,15	0,21	1		
Ботанический сад ПГТУ	0,34	0,18	0,13	1	
Священные рощи	0,10	0,11	0,01	0,04	1

Необходимо отметить, что особого сходства сообществ ксилотрофных сапротрофов в обследованных районах не наблюдалось. Большой частотой встречаемости характеризовались только фиолетовый трутовик, фулиго гниlostная, трутовик разноцветный, которые были отмечены в четырёх из пяти обследованных районах. Однако анализ обилия этих видов в обследованных районах не показал какой-либо зависимости со степенью рекреационной нарушенности территорий.

Следует отметить, что при распределении грибов на различных субстратах отмечается широкая экологическая пластичность некоторых видов, встречающихся на живых деревьях и детрите разной стадии разложения. Наибольшей экологической пластичностью в выборе субстратов характеризовались стереум шерстистый, трутовик плоский, трутовик окаймлённый, фиолетовый трутовик, которые встречались на пнях и валеже различной степени разложения, а также на свежем сухостое.

На валежной древесине в 4–5 стадиях разложения в основном отмечались виды, относящиеся к ксилотрофным сапротрофам (аурикулярия кишечная, панус уховидный, скутеллиния щитовидная, панелюс нежный, ирпекс складчатый, денежка длинноногая и др.). На живых деревьях встречались следующие виды макромицетов: вешенка легочная, ложный дубовый и ложный осиновый трутовики, ложный трутовик, опёнок зимний, опёнок осенний, сосновая губка, трутовик настоящий, трутовик опалённый, трутовик серно-жёлтый, трутовик скошенный, трутовик Швейнитца, чешуйчатка золотистая, щелелистник обыкновенный.

Проведённые исследования микобиоты изученных районов показали, что воздействие рекреации приводит к увеличению количества видов с более широкой экологической амплитудой-ксилотрофных макромицетов.

Анализ обилия видов ксилотрофных макромицетов в разных объектах исследова-

ния позволил выделить виды, реакция которых на антропогенное вмешательство служит показателем усиления рекреационного воздействия. Так, чешуйчатка золотистая и стереум шерстистый, ложный дубовый трутовик, ложный осиновый трутовик и серно-жёлтый трутовик на увеличение рекреационных нагрузок реагируют увеличением частоты встречаемости и обилия. Выделенные грибы-индикаторы нарушенности лесной среды соответствуют видам, которые были отмечены А.В. Мухиным [1, 2], В.Г. Стороженко [6], как синантропные и рудеральные виды при антропогенной нарушенности фитоценозов.

К наиболее чувствительным видам к усилению рекреационного воздействия отнесены опёнок осенний, опёнок серно-жёлтый, трутовик окаймлённый, которые снижали свою активность с увеличением антропогенной нагрузки на лесные экосистемы.

Сравнительная характеристика видового разнообразия макромицетов на территориях с разной степенью рекреационного воздействия не позволила выявить особенностей влияния рекреационных нагрузок на изменение видового богатства. Это связано с разной степенью изученности объектов исследования.

Однако оценка видового разнообразия каждого из объектов в отдельности выявила, что усиление рекреационной нагрузки на лесные экосистемы отражается на видовом разнообразии грибов-макромицетов. Причём, в большинстве случаев увеличение рекреационного воздействия на лесные экосистемы ведёт к уменьшению видового разнообразия макромицетов. Так, обеднение видового состава микобиоты вдоль туристической тропы НП «Марий Чодра» указывает на высокую степень антропогенной нагрузки.

Также в лесопарках города в большинстве сходных фитоценозов уменьшение видового разнообразия макромицетов наблюдалось на участках с большей ста-

дий деградации лесной среды. А видовое богатство макромицетов в священных рощах Сернурского района зависело от их функционирования, и видовое разнообразие было ниже в действующих священных рощах.

Выводы:

- на территории Республики Марий Эл в обследованных районах выявлено 152 вида гриба-макромицета, относящихся к 40 семействам и 84 родам;
- таксономическая структура микобиоты на объектах исследования характеризуется большим сходством, указывающим на её южнотаёжные черты, и не претерпевает особых изменений с увеличением рекреационной нагрузки;
- усиление рекреационной нагрузки

на лесные сообщества отражается на эколого-трофической структуре и видовом обилии макромицетов. В большинстве случаев увеличение рекреационного воздействия на лесные экосистемы ведёт к уменьшению видового обилия грибов;

– увеличение доли участия ксилотрофов и уменьшение доли участия микоризообразователей в микоценозе являются показателями рекреационной трансформации лесных экосистем;

– показателем усиления рекреационного воздействия являются выделенные синантропные виды ксилотрофных макромицетов, проявляющие активность в антропогенно-нарушенных фитоценозах, и чувствительные виды, исчезающие при усилении рекреационной нагрузки.

Список литературы

1. Мухин, В.А. Биота ксилотрофных базидиомицетов Западно-Сибирской равнины / В.А. Мухин. – Екатеринбург: Наука, 1993. – 231 с.
2. Мухин, В.А. Основные закономерности современного этапа эволюции микобиоты лесных экосистем / В.А. Мухин, Д.В. Веселкин, Е.В. Брындина и др. // Грибные сообщества лесных экосистем: материалы координационных исследований. – Москва-Петрозаводск: Институт лесоведения РАН, Институт леса Карельского НЦ РАН, 2000. – С. 26-36.
3. Шубин, В.И. Макромицеты лесных фитоценозов таежной зоны и их использование / В.И. Шубин. – Л.: Наука, 1990. – 197 с.
4. Бурова, Л.Г. Загадочный мир грибов / Л.Г. Бурова. – М.: Наука, 1991. – 97 с.
5. Сионова, М.Н. Изменение разнообразия макромицетов в широколиственных и сосновых лесах Калужской области в результате рекреационного воздействия / М.Н. Сионова // Вопросы археологии, истории, культуры и природы Верхнего Поочья // Материалы XI Всероссийской научной конференции. – Калуга: Полиграф-Информ, 2005. – С. 324-327.
6. Стороженко, В.Г. Стратегии и функции грибных сообществ лесных экосистем / В.Г. Стороженко // Грибные сообщества лесных экосистем: материалы координационных исследований. – Москва-Петрозаводск: Институт лесоведения РАН, Институт леса Карельского НЦ РАН, 2000. – С. 37-41.
7. Бондарцева, М.А. Определитель грибов России. Порядок афиллофоровые / М.А. Бондарцева. – СПб.: Наука, 1992. – Вып. 2. – 391 с.
8. Ключник, П.И. Определитель дереворазрушающих грибов / П.И. Ключник. – М.: Гослесбумиздат, 1957. – 139 с.
9. Рипачек, В. Биология дереворазрушающих грибов / В. Рипачек; Перевод с чешского М. Гашковой. Под ред. А.Т. Вакина. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 275 с.
10. Частухин, В.Я. Биологический распад и ресинтез органического вещества в природе / В.Я. Частухин, М.А. Николаевская. – Л.: Наука, 1969. – 326 с.
11. Бондарцева, М.А. Эколого-биологические закономерности функционирования ксилотрофных базидиомицетов в лесных экосистемах / М.А. Бондарцева // Грибные сообщества лесных экосистем: материалы координационных исследований. – Москва-Петрозаводск: Институт лесоведения РАН, Институт леса Карельского НЦ РАН, 2000. – С. 9-26.
12. Дылис, Н.В. Программа и методика биогеоценологических исследований / Н.В. Дылис. – М.: Наука, 1974. – 401 с.
13. Гаврицкова, Н. Н. Биоиндикационные возможности микобиоты для оценки состояния лесных экосистем в зонах рекреации / Н. Н. Гаврицкова, Т. Х. Гордеева // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2007. – №1. – С.67-76.

Статья поступила в редакцию 12.02.14.

Ссылка на статью: Гаврицкова Н. Н. Структура микобиоты в рекреационных лесах Республики Марий Эл // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 3 (23). – С. 67-77.

Информация об авторе

ГАВРИЦКОВА Наталья Николаевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экологии, почвоведения и природопользования, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – исследования в области микологии и фитопатологии. Автор 70 публикаций.

MICROBIOTA STRUCTURE IN RECREATIONAL FORESTS OF MARI EL REPUBLIC

N. N. Gavritskova

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

Key words: *micobiota; macromycetes; recreation; ecologo-trophic groups of fungi.*

ABSTRACT

Introduction. Taking into account high importance of fungi in functioning of biogeocoenosis, the problems of micobiota inventory and revealing of peculiarities of anthropogenic changes of species diversity and structure of macromycetes are the most vital tasks of fungology. **The goal of the paper is to reveal influence of recreation on species composition and on the structure of fungus-macromycetes. The objects of the research are forest communities of the Republic of Mari El with different nature and extent of recreational activity. Field methods of registration of fungus-macromycetes, geobotanical methods of assessment of species diversity and structure of macromycetes are used in the researches. Results.** A detailed study of fungus-macromycetes in Mari El Republic forests (different types of forest management) was carried out; species composition was studied and the analysis of taxonomic and ecologo-trophic structure of the revealed macromycetes was carried out; complex influence of recreational loads on fungus-macromycetes of forest communities was investigated. The types of basidiomycota were revealed, reaction of the macromycetes to anthropogenic interference serve as an index of intensification of recreational impact (synanthropes are among them), showing activity in the man-disturbed plant communities and sensible species, vanishing in case of intensification of recreational load.

REFERENCES

1. Mukhin V.A. *Biota ksilotrofnykh bazidomitsetov Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Biota of Basidiomycetes in West Siberian Plain]. Ekaterinburg: Nauka, 1993. 231 p.
2. Mukhin V.A., Veselkin D.V., Bryndina E.V., et al. Osnovnye zakonomernosti sovremennogo etapa evolyutsii mikrobioty lesnykh ekosistem [Basic Regularities of Present Stage of Evolution of Micobiota of Forest Ecosystems]. *Gribnye soobshchestva lesnykh ekosistem: materialy koordinatsionnykh issledovaniy* [Fungus Communities of Forest Ecosystems: materials of pathfinder]. Moscow-Petrozavodsk: Institute of Forest Science (Russian Academy of Sciences), Institute of Forest of the Karelian Research Center of Russian Academy of Sciences, 2000. Pp. 26-36.
3. Shubin V.I. *Makromitsety lesnykh fitotsenozov taezhnoy zony i ikh ispolzovanie* [Macromycetes of Forest Communities in the Taiga and Their Application]. Leningrad: Nauka, 1990. 197 p.
4. Burova L.G. *Zagadochnyy mir gribov* [Mysterious World of Mushrooms]. Moscow: Nauka, 1991. 97 p.
5. Sionova M.N. Izmenenie raznoobraziya makromitsetov v shirokolistvennykh i sosnovykh lesakh Kaluzhskoy oblasti v rezultate rekreatsionnogo vozdeystviya [Changes in Macromycetes Diversity in Large-Leaved and Pine Forests of the Kaluga Oblast Resulted by Recreational Effect]. *Voprosy arheologii, istorii, kultury i prirody Verkhnego Poochya: materialy XI Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii* [Problems of Archeology, History, Culture and Nature of the High Oka Region : proceedings of XI All-Russian research conference]. Kaluga: Poligraf-
Inform, 2005. Pp. 324-327.

6. Storozhenko V.G. Strategii i funktsii gribnykh soobshchestv lesnykh ekosistem [Strategies and Functions of Fungus Communities in Forest Ecosystems]. *Gribnye soobshchestva lesnykh ekosistem: materialy koordinatsionnykh issledovaniy* [Fungus Communities of Forest Ecosystems: materials of pathfinder]. Moscow-Petrozavodsk: Institute of Forest Science (Russian Academy of Sciences), Institute of Forest of the Karelian Research Center of Russian Academy of Sciences, 2000. Pp. 37-41.
7. Bondartseva M.A. *Opredelitel gribov Rossii. Poryadok afilloforovye* [Russian Fungus Determinant. Afilloforovye]. Saint-Petersburg: Nauka, 1992. Issue. 2. 391 p.
8. Kyushnik P.I. *Opredelitel derevorazrushayushchikh gribov* [Wood-Destroying Fungus Determinant]. Moscow: Goslesbumizdat, 1957. 139 p.
9. Ripachek V. *Biologiya derevorazrushayushchikh gribov. Perevod s cheshskego. Pod red. A.T. Vakina* [Biology of Wood-Destroying Fungus. Translated from Czech. Under the editorship of A.T. Vakin]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1967. 275 p.
10. Chastukhin V.Ya., Nikolaevskaya M.A. *Biologicheskiy raspad i resintez organicheskogo veshchestva v prirode* [Biodeterioration and Resynthesis of Organic Matter in the Nature]. Leningrad: Nauka, 1969. 326 p.
11. Bondartseva M.A. *Ekologo-biologicheskie zakonomernosti funktsionirovaniya ksilotrofnykh bazidiomitsetov v lesnykh ekosistemakh* [Ecological and Biological Regularities of Basidium Fungi Functioning in Forest Ecosystems]. *Gribnye soobshchestva lesnykh ekosistem: materialy koordinatsionnykh issledovaniy* [Fungus Communities of Forest Ecosystems: materials of pathfinder]. Moscow-Petrozavodsk: Institute of Forest Science (Russian Academy of Sciences), Institute of Forest of the Karelian Research Center of Russian Academy of Sciences, 2000. Pp. 9-26.
12. Dylis N.V. *Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy* [Program and Methods of Biogeotsecenologic Studies]. Moscow: Nauka, 1974. 401p.
13. Gavritskova N. N., Gordeeva T.Kh. *Biindikatsionnye vozmozhnosti mikrobioty dlya otsenki sostoyaniya lesnykh ekosistem v zonakh rekreatsii* [Indicative Opportunities of Micobiota to Assess Forest Ecosystems Condition in Recreational Zones]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2007. №1. Pp. 67-76.

The article was received 12.02.14.

Citation for an article: Gavritskova N. N. Micobiota structure in recreational forests of Mari El Republic. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2014. No 3(23). Pp. 67-77.

Information about the author

GAVRITSKOVA Natalia Nikolayevna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Ecology, Pedology and Nature Management, Volga State University of Technology. Research interests – fungology and phytopathology. The author of 70 publications.

УДК 630.17 : 635.9 : 470.324

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РОДА *JUNGLANS* L. В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

Т. В. Баранова, Е. А. Николаев

Воронежский государственный университет,
Российская Федерация, 394006, Воронеж, Университетская пл., 1
E-mail: tanyavosttric@rambler.ru

*Зимостойкость, заморозкоустойчивость, засухоустойчивость, устойчивость к вредителям и болезням, долговечность, характер роста, плодоношение являются показателями перспективности выращивания видов рода *Junglans* в условиях Центрального Черноземья. Доля многоядерных клеток как цитологический показатель связана с зимостойкостью форм *Junglans regia*. Доля многоядерных клеток в корешках значительно выше у местных форм *Junglans regia*, чем у молдавских. Местные формы *Junglans regia* отличаются большей зимостойкостью, чем молдавские. Частичная соматическая полиплоидия в онтогенезе предположительно способствует формированию более стойких особей. Виды рода *Junglans* перспективны для культивирования в Центральном Черноземье. Возможно их применение в садово-парковом строительстве и лесном хозяйстве.*

Ключевые слова: показатели перспективности; культивирование; цитология.

Введение. В Центральном Черноземье при цитогенетических исследованиях много внимания уделяется изучению аборигенных видов древесных растений, например, берёзе повислой (*Betula pendula* Roth), произрастающей в экологически безопасных районах и в условиях техногенной нагрузки [1–8]. Хотя хромосомы данного вида достаточно мелки, *Betula pendula* часто используется в качестве тест-объекта в мониторинговых исследованиях. Однако существуют разные мнения по поводу основного числа хромосом *Betula pendula*. Некоторые учёные склоняются к мысли, что основное хромосомное число берёзы 14, а не 7 (деревья считались гексаплоидными вместо триплоидов) [9–10]. Н.В. Мацкевич придерживается мнения, что основное число хромосом у рода *Betula* равно 7, а не 14, поэтому особи с 35, 42, 49 хромосомами относят к категории полиплоидов (а не анеуплоидов), что обуславливает их повышенную жизнеспособность [11].

Цитологические исследования позволяют точнее судить о плоидности расте-

ния и его селекционной ценности, помогают правильно понять его онтогенез и филогенез [12]. Данное утверждение относится и к ореху грецкому, цитология которого недостаточно изучена. По хозяйственной ценности и совокупности полезных свойств орех грецкий (*Juglans regia* L.) – наиболее важное растение. Кожура незрелых плодов по содержанию витамина С превосходит чёрную смородину в восемь раз, а отдельные цитрусовые – в 50 раз [14]. Основным лимитирующим фактором при продвижении культуры ореха на север является его недостаточная зимостойкость. Одним из способов повышения зимостойкости *Juglans regia* является межвидовая гибридизация с близкородственными видами, имеющими большую устойчивость к неблагоприятным факторам. Необходимо отметить, что успешных опытов по гибридизации ореха грецкого с другими видами рода *Juglans* в мировой практике немного [13–14]. Такие работы проводятся в Центральном Черноземье и достаточно актуальны. При проведении экспериментальных работ также изучались гибриды, заложенные под руковод-

ством М.М. Вересина в Воронеже в 1965 году. Лучшие из них выделены как элитные, оформлены как сорта и включены в «Государственный реестр селекционных достижений» [15].

При изучении *Junglans regia*, имеющего достаточно мелкие хромосомы (около 3 мкм), так же, как и в случае берёзы повислой, исследователи не пришли к единому решению вопроса основного числа хромосом (8 или 16). В настоящее время интродуценты всё чаще используются для озеленения городской территории, практически всегда антропогенно загрязнённой в большей или меньшей степени [16–19], поэтому актуально изучение цитологических характеристик растений для оценки их состояния, степени акклиматизации в определённой зоне и уровня плоидности.

Цель настоящей работы состояла в исследовании соматической плоидности местных форм ореха грецкого, их зимостойкости в связи с географическим происхождением и перспективности культивирования видов и гибридов рода в условиях Центрального Черноземья.

Материал и методы. Орех грецкий (*Junglans regia* L.) – растение средне- и центральноазиатской флоры, достаточно часто встречается и в других районах Азии и Средиземноморья [6,13]. Орех чёрный (*Junglans nigra* L.) и серый (*Junglans cinerea* L.) – представители флоры центральной части Северной Америки, где климатические условия имеют относительное сходство с таковыми в Черноземье. В эту же группу можно отнести и орех мелкоплодный (*Junglans microcarpa*), который отдельные исследователи считают формой ореха чёрного. Орехи маньчжурский (*Junglans mandshurica* Max.), Зибольда (*Junglans sieboldiana* Maxim.) и сердцевидный (*Junglans cordiformis* Max.) – представители приморско-дальневосточной флоры, климат которой отличается более низкими температурами (до – 50° С), чем в Центральном Черноземье, но значительно большим количеством

осадков (нередко до 1000 мм в год), большей влагоёмкостью почв и характерным муссонным ходом атмосферных явлений.

Материалом для исследования служили пророщенные орехи следующих местных форм *Junglans regia*: Верхнекиевская, Верхне-Рамонецкая, Тарусовская, Лимаревская, Кравцовская, Кантемировская, Переваленская, Морозовская. В качестве контроля были использованы пророщенные орехи молдавских форм: Тонкоскорлупая, Обыкновенная, Болгарская. Как промежуточная была взята Киевская форма репродукции Ботанического сада Киевского госуниверситета.

По десять орехов каждой формы ставили для проращивания в плошках с мокрым песком в растительные при температуре +20 ... + 25° С. При появлении корешка и растрескивании околоплодника орехи доращивали в лаборатории в комнатных условиях. Фиксацию корешков проводили в ацетоалкоголе (3 : 1), окрашивали ацетокармином, предварительно обработав их в растворе оксихинолина в течение 4 ч (концентрация 0,002 моль/л). Постоянно-давленные микропрепараты готовили по методике, разработанной для берёзы повислой [20]. Просмотр микропрепаратов проводили с помощью микроскопа МБИ-6 в световом поле при окуляре К7х и объективе 20, 40, 90. Анализировали по 20 корешков каждой формы. Изучали по 4000 интерфаз. Долю многоядерных клеток рассчитывали как отношение их числа к общему числу клеток в интерфазе и выражали в процентах. Зимостойкость определяли по шкале Н. К. Вехова [21].

В качестве материнского растения были взяты растения *Juglans regia*, которые опыляли пылью местных форм орехов чёрного (*Juglans nigra* L.), серого (*Juglans cinerea* L.) и сердцевидного (*Juglans cordiformis* Maxim.). Данные виды проявляют наибольшую устойчивость ко многим неблагоприятным природно-климатическим условиям в Центральном Черноземье, способны скрещиваться между собой, поэтому

могут служить опылителями для улучшения урожайности и качества плодов деревьев ореха грецкого. У опытных деревьев за несколько дней до распускания бутонов женские цветки изолировали марлевыми мешочками в два слоя. Через два-три дня на рыльца пестиков материнского растения наносили заранее собранную пыльцу. Опылённые цветки снова изолировали.

Показатели, по которым мы определяли степень перспективности культивирования в Центральном Черноземье изучаемых нами видов рода *Junglans*, следующие: зимостойкость, заморозкоустойчивость, засухоустойчивость, устойчивость к вредителям и болезням, долговечность, характер роста, плодоношение. В число показателей, дополнительно характеризующих эти интродуценты, следует включить физико-технические и биохимические показатели качества древесины, плодов и иных частей растительной массы, фитонцидность, газоустойчивость.

Результаты и обсуждение. Результаты исследования приведены в таблице.

Из таблицы видно, что количество многоядерных клеток в корешках значительно выше у местных форм ореха, чем у молдавских. Промежуточное положение по этому признаку занимает Киевская форма. Зимостойкость разных форм *Junglans regia* колебалась от 1 до 3 баллов (1 – полная зимостойкость, 5 – полная гибель). Зимостойкость коррелировала с до-

лей многоядерных клеток. Местные формы ореха грецкого отличаются большей зимостойкостью, чем молдавские.

В литературе имеются сведения о зимостойких сортах яблонь, в клетках которых содержится больше ядер, чем в незимостойких. Однако более глубоких причин данного явления в настоящее время не выяснено [12]. Исследования на цитологическом уровне помогают объяснить причины и возможности формообразования в онтогенезе при интродукции и акклиматизации зимостойких видов и форм. Известно, что большинство полиплоидных форм и видов растений более устойчиво к холоду и другим неблагоприятным условиям [22]. Поскольку многоядерным клеткам присущи свойства полиплоидных, можно предположить, что большая доля многоядерных клеток у местных форм ореха объясняет их более высокую зимостойкость по сравнению с молдавскими. Интересен тот факт, что среди местных форм *Junglans regia* отмечается существенное различие по доле многоядерных клеток. Причём морфогенетические исследования показывают, что менее зимостойкими являются именно те формы, у которых ниже доля многоядерных клеток. Подобный факт служит подтверждением нашего предположения, что частичная соматическая полиплоидия в онтогенезе, вероятно, может способствовать формированию более стойких особей.

Доля многоядерных клеток и зимостойкость форм *Junglans regia*

Форма и географическое происхождение семян <i>Junglans regia</i>	Доля многоядерных клеток	Зимостойкость
Местные:		
Верхнекиевская	$2,9 \pm 0,24$	2
Верхне-Рамонская	$4,0 \pm 0,3$	1
Переваленская	$8,6 \pm 0,3$	1
Кравцовская	$6,2 \pm 0,2$	1
Лимаревская	$4,8 \pm 0,2$	1
Кантемировская	$3,7 \pm 0,3$	1
Тарусовская	$2,6 \pm 0,2$	2
Морозовская	$5,1 \pm 0,1$	1
Молдавские:		
Обыкновенная	$0,6 \pm 0,1$	3
Тонкоскорлупая	$0,4 \pm 0,1$	3
Болгарская	$0,5 \pm 0,1$	3
Киевская	$1,7 \pm 0,1$	2

В ходе проведённых исследований у гибридов ореха грецкого × ореха серого наблюдалась слабая завязываемость и низкий процент образовавшихся плодов (не более 15 %). Однако именно они проявляли как наилучшую всхожесть, так и максимальную приживаемость, что свидетельствует о жизнеспособности данных межвидовых гибридов.

Пристального внимания заслуживают гибриды орех грецкий × орех сердцевидный. Полученные плоды обладали приятным вкусом и, в основном, нетвёрдой, средней по толщине скорлупой. Подобный вариант гибридизации потенциально способен обеспечить высокую урожайность, а при продолжении селекционных мероприятий, возможно привести к репродуктивному гетерозису; при этом с определённой долей вероятности можно ожидать появления зимостойких форм [14].

Гибриды ореха грецкого × ореха чёрного теоретически являются самыми перспективными. Особую актуальность придаёт то, что оба родительских вида обладают плодами с высокими вкусовыми свойствами и самой ценной древесиной среди всех видов рода *Juglans*. При селекционном выделении растений наибольшим спросом будут пользоваться формы, сочетающие в себе тонкую скорлупу и высокий выход ядра, свойственные ореху грецкому, и зимостойкость, присущую ореху чёрному. Именно они нуждаются в отборе и разведении в максимальных объёмах.

Изучаемые растения и полученные семена от гибридизации ореха грецкого × ореха маньчжурского разделялись по степени наследования родительских признаков. Патроклинные гибриды имели большое сходство с орехом маньчжурским, матроклинные – унаследовали признаки ореха грецкого, отмечались и промежуточные формы.

Анализ по показателям перспективности культивирования видов рода *Juglans* показал:

1. Зимостойкость разных видов рода *Juglans* колебалась в разные годы от 1 до 3 баллов. Наиболее зимостойким, по нашим наблюдениям, является орех чёрный. Несколько менее зимостоек орех грецкий, который тем не менее никогда не вымерзал. Остальные виды орехов также достаточно зимостойки. Сеянцы ореха грецкого имели среднюю зимостойкость 1,8–3,0 балла (по шкале Н.К. Вехова), а гибридные сеянцы – 1,3–2,4 балла.

2. Заморозкоустойчивость. Все виды исследуемого рода повреждаются ранними весенними заморозками в период цветения, что приводит к снижению урожая плодов. Осенние заморозки не приносят вреда растениям. Ранние весенние заморозки повреждали молодые листочки, точки роста годичного прироста ореха маньчжурского, Зибольда, серого, грецкого. Почти полностью погибали женские цветки и большая часть мужских соцветий. Менее всего пострадал экземпляр ореха чёрного с протандричным типом цветения, у которого в связи с этим женские цветки полностью не погибли.

3. Засухоустойчивость всех видов орехов высока. За период наблюдений не замечено заметных повреждений растений от засухи.

4. Устойчивость к вредителям и болезням. Вредителей растений за наблюдаемый период не выявлено. По созреванию плодов осенью орехи используются как пища для белок и дятлов. В годы с обильным плодоношением численность белок и дятлов заметнее. Болезни отмечены незначительно: дереворазрушающие грибы из макро- и базидиомицетов выявляются редко на местах спилов и заломов.

5. Долговечность растений. В условиях ботанического сада и Центрального Черноземья нами наблюдаются 50–70-летние растения изучаемых видов, хотя в природе возраст деревьев различных видов ореха может достигать сотен и даже тысяч лет [24].

6. Характер роста. Орех чёрный в свя-

зи с более высокой зимостойкостью в раннем возрасте имеет в насаждениях форму практически прямоствольного дерева, имеющего высоту до 15–20 м и диаметр ствола до 0,4 м. Остальные виды орехов, в связи с подмерзанием в первые годы роста верхушечных ростовых почек, имеют ширококораскидистую многоствольную крону. Высота их составляет от 5 до 12 м. Диаметр у основания до 0,5 м и более.

7. Плодоношение. Все виды ореха вступают в стадию цветения и плодоношения при выращивании из семян в возрасте 10 и более лет. Цветут и плодоносят практически ежегодно. Урожайность зависит во многом от воздействия ранних весенних заморозков в период цветения, поэтому плодоношение наблюдалось в основном у чёрного ореха (*Juglans nigra* L.), с которого в конце октября были собраны плоды. У остальных видов – орех маньчжурский, Зибольда, серый, грецкий, мелкоплодный – плодоношение практически отсутствовало. В ноябре на всех видах орехов отмечено формирование цветочных и ростовых почек.

Выводы. Орехи рода *Juglans* являются перспективными древесными растениями для лесного хозяйства, так как достаточно зимостойки, засухоустойчивы, устойчивы к вредителям и болезням. Все виды орехов пригодны для введения в

культуру лесных и охотничьих хозяйств как кормовых для некоторых видов птиц и зверей, которые используют плоды орехов в пищу. Для создания крупных садово-парковых объектов в населённых пунктах и вне их можно рекомендовать все изучаемые виды орехов. Орехи грецкий и сердцевидный можно использовать как плодовые и фитонцидные растения приусадебных участков, так как они цветут и плодоносят практически ежегодно. Орех мелкоплодный можно рекомендовать в качестве декоративного фитосанитарного растения на садово-парковых участках, поскольку он имеет компактную крону. Особенно важны глубокие исследования возможностей акклиматизации и культивирования ореха грецкого как наиболее перспективного интродукта, имеющего множество форм, сортов и гибридов.

Цитологические, кариологические исследования, а также использование молекулярно-генетических методов при изучении онтогенеза растений, видимо, должны сыграть ведущую роль в раскрытии различной устойчивости видов и форм интродуктов с учётом зональности, объяснить причины ступенчатой акклиматизации. Исследования на клеточном уровне помогают выявить связь устойчивости растений к новым условиям среды с их географическим происхождением.

Список литературы

1. Vostrikova, T.V. Cytogenetic Responses of Birch to Stress Factors / T.V. Vostrikova, A.K. Butorina // Biology Bulletin. – 2006. – Vol. 33, № 2. – Pp. 185 – 190.
2. Вострикова, Т.В. Нестабильность цитогенетических показателей и нестабильность генома у берёзы повислой / Т.В. Вострикова // Экология. – 2007. – № 2. – С. 88 – 92.
3. Вострикова, Т.В. Цитозоологическое изучение берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях техногенной нагрузки / Т.В. Вострикова // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Химия. Биология. Фармация. – 2009. – №2. – С. 95 – 101.
4. Vostrikova, T.V. The Cytology of Mitosis in Weeping Birch (*Betula pendula* Roth) / T.V. Vostrikova // Cytology. – 1999. – Vol. 41, № 12. – Pp. 1058.
5. Воронин, А.А. Ботанический сад имени профессора Б.М. Козо-Полянского Воронежского государственного университета – центр интродукции и сохранения биоразнообразия растений / А.А. Воронин, Е.А. Николаев, А.В. Комова // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Проблемы высшего образования. – 2013. – № 1. – С. 185 – 191.
6. Лепешкина, Л.А. Формирование гербарной коллекции Ботанического сада им. проф. Б.М. Козо-Полянского Воронежского госуниверситета / Л.А. Лепешкина, Б.И. Кузнецов, В.И. Серикова // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Химия. Биология. Фармация. – 2009. – №1. – С. 79 – 82.
7. Серикова, В.И. Биогеографические основы изучения флоры особо охраняемых природных тер-

риторий Воронежской области в ходе экспедиционных исследований / В.И. Серикова, Л.А. Лепешкина, О.В. Прохорова и др. // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: География. Геоэкология. – 2011. – №2. – С. 181 - 185.

8. Лепешкина, Л.А. Рекреационный мониторинг экосистем Ботанического сада Воронежского госуниверситета / Л.А. Лепешкина, А.А. Воронин, З.П. Муковнина, В.И. Серикова // Сборник научных трудов Sworld. – 2012. – Т. 35, № 3. – С. 3 - 6.

9. Буторина, А.К. Спонтанный триплоид березы карельской / А.К. Буторина, А.В. Казьмин // Лесоведение. – 1985. – № 6. – С. 71-76.

10. Johnsson, H. Genetic characteristics of *Betula verrucosa* Ehrh. And *B. pubescens* Ehrh / H. Johnsson // Annales Forestales. – 1974. 6(4)– Pp. 91-133.

11. Мацкевич, Н.В. Охрана редких генотипов лесных деревьев и кустарников / Н.В. Мацкевич. – М.: Агропромиздат, 1987. – 207 с.

12. Поддубная-Арнольди, В.П. Цитозмбриология покрытосеменных растений / В.П. Поддубная-Арнольди. – М.: Наука, 1976. – 507 с.

13. Николаев, Е.А. Интродукция и селекция ореха грецкого в Воронежской области / Е.А. Николаев, В.А. Славский, В.В. Тищенко. – Воронеж: ВГУ, 2007. – 152 с.

14. Николаев, Е.А. Межвидовая гибридизация как метод селекции орехов рода *Juglans* в Центральном Черноземье / Е.А. Николаев, В.А. Славский // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: География. Геоэкология. – 2010. – № 2. – С. 131 - 134.

15. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1.

Сорта растений / <http://7law.info/russia/government6p/u348.htm>.

16. Вострикова, Т.В. Цитогенетические реакции березы повислой на действие стрессовых факторов / Т.В. Вострикова, А.К. Буторина // Известия РАН. Серия биологическая. – 2006. – №2. – С. 232 – 238.

17. Вострикова, Т.В. Выращивание посадочного материала для озеленения экологически загрязненных территорий / Т.В. Вострикова // Проблемы региональной экологии. – 2012. – № 1. – С. 154 - 158.

18. Баранова, Т.В. Ускоренное получение устойчивых к городским условиям растений / Т.В. Баранова // Экология и промышленность России. – 2013. – №4. – С. 65 - 67.

19. Сафонова, О.Н. Черенкование роз в условиях защищенного грунта / О.Н. Сафонова, А.А. Воронин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – № 1. – 2011. – С. 36-38.

20. Вострикова, Т.В. Изучение суточной митотической активности у березы повислой / Т.В. Вострикова, А.К. Буторина // Цитология. – 2004. – Т. 46, № 6. – С. 520 - 524.

21. Вехов, Н.К. Деревья и кустарники лесостепной селекционной опытной станции / Н.К. Вехов. – М.: МКХ РСФСР, 1953. – 183 с.

22. Любавская А.Я. Лесная селекция и генетика / А.Я. Любавская. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 285 с.

23. Славский, В.А. Сравнительная характеристика орехов рода *Juglans* в Центральном Черноземье и перспектива введения их в культуру / В.А. Славский, Е.А. Николаев // Лесной журнал. – 2009. – № 6. – С. 29 - 35.

Статья поступила в редакцию 26.11.13.

Ссылка на статью: Баранова Т. В., Николаев Е. А. Биологические особенности рода *Juglans L.* в условиях Центрального Черноземья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 3 (23). – С. 78-85.

Информация об авторах

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

НИКОЛАЕВ Евгений Александрович – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Ботанического сада, Воронежский государственный университет. Область научных интересов: экология, ботаника, интродукция. Автор 70 публикаций.

BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE JUNGLANS L. GENUS IN THE CENTRAL BLACK EARTH REGION

T. V. Baranova, E. A. Nikolaev

Voronezh State University,

1, Universitetskaya Sq., Voronezh, 394006, Russian Federation

E-mail: tanyavostic@rambler.ru

Keywords: indicators of perspectivity; cultivation; cytology.

ABSTRACT

The goal of this research is to study somatic ploidy of the local sorts of *Junglans regia* and its winter hardness depending on geographic origin and perspectivity of its cultivation and cultivation of its hybrid in conditions of Central Black Earth region. The following local sorts of germinated *Junglans regia* - Verkhnekievskaya, Verkhne-Ramonetskaya, Tarusovskaya, Limarevskaya, Kravtsovskaya, Kantemirovskaya, Perevalenskaya, Morozovskaya - were the data for the study. Germinated *Junglans regia* of such Moldavian sorts as Tonkoskorlupnaya, Obyknoennaya, Bolgarskaya were used for the control. Constantly pressed slides were prepared by the methods, elaborated for European white birch. Examination of the microscope slides was carried out with the use of microscope MBI-6 in the optical field with K7x eye glass and 20, 40, 90 object glass. Twenty rootlets of each sort were analyzed. Four thousand interphases were studied. A share of multinucleate cells was calculated as a relation of their number to the total number of cells in the interphase (percentage). Winter hardness was determined by N.K. Vekhov scale. **Conclusions.** A share of multinucleate cells as a cytological index is connected with winter hardness of *Junglans regia* sorts. A share of multinucleate cells in the rootlets is significantly higher in local sorts of *Junglans regia* in comparison with the Moldavian sorts. Local sorts of *Junglans regia* have better winter hardness than the Moldavian sorts. Local somatic polyploidy in ontogeny hypothetically contributes to formation of more resistant species. Sorts of *Junglans* are perspective for cultivation in the Central Black Earth region. They may be used in landscaping and forestry.

REFERENCES

1. Vostrikova T.V., Butorina A.K. Cytogenetic Responses of Birch to Stress Factors. *Biology Bulletin*. 2006. Vol. 33, № 2. Pp. 185 - 190.
2. Vostrikova T.V. Nestabilnost tsitogeneticheskikh pokazateley i nestabilnost genoma u berezy povisloy [Instability of Cytogenetic Figures and Instability of Genom of European White Birch]. *Ekologiya* [Ecology]. 2007. №2. Pp. 88 - 92.
3. Vostrikova T.V. Tsitoeologicheskoe izuchenie berezy povisloy (*Betula pendula* Roth) v usloviyakh tekhnogennoy nagruzki [Cytological Study of *Betula Pendula* Roth with a Man-Made Load]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*. [Vestnik of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy]. 2009. №2. Pp. 95 - 101.
4. Vostrikova T.V. The Cytology of Mitosis in Weeping Birch (*Betula pendula* Roth). *Cytology*. 1999. Vol. 41. N. 12. Pp. 1058.
5. Voronin A.A., Nikolaev E.A., Komova A.V. Botanicheskiy sad imeni professora B.M. Kozo-Polyanskogo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta - tsentr introduktsii i sokhraneniya bioraznoobraziya rasteniy [Botanical Garden Named after Professor B.M. Kozo-Polyanskiy]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Problemy vysshego obrazovaniya* [Vestnik of Voronezh State University. Series: Problems of Higher Education.]. Voronezh, 2013. № 1. Pp. 185 - 191.
6. Lepeshkina L.A., Kuznetsov B.I., Serikova V.I. Formirovanie gerbarnoy kolleksii Botanicheskogo sada im. prof. B.M. Kozo-Polyanskogo Voronezhskogo gosuniversiteta [Composition of the Herbarium Collection in the Botanical Garden Named after Professor V.M.Kozo-Polyanskiy in Voronezh State University]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*. [Vestnik of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy]. Voronezh, 2009. №1. Pp. 79 - 82.
7. Serikova V.I., Lepeshkina L.A., Prohorova O.V., Davydova N.S., Kuznetsov B.I. Biogeograficheskie osnovy izucheniya flory osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy Voronezhskoy oblasti v khode ekspeditsionnykh issledovaniy [Biogeographic Foundations to Study Flora of the Natural Reserves in Voronezh Region in the Course of Field Research]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya*. [Vestnik of Voronezh State University. Series: Geography. Geocology]. Voronezh, 2011. № 2. Pp. 181 - 185.
8. Lepeshkina L.A., Voronin A.A., Mukovnina Z.P., Serikova V.I. Rekreatsionnyy monitoring ekosistem Botanicheskogo sada Voronezhskogo

gosuniversiteta [Recreational Monitoring of Ecosystems in the Botanical Garden of Voronezh State University]. *Sbornik nauchnykh trudov Sworld* [Collected Papers of Sworld]. 2012. Vol. 35, № 3. Pp. 3 - 6.

9. Butorina A.K., Kazmin A.V. Spontannyi triploid berezy karelskoy [Karelian Birch Spontaneous Triploid]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1985. № 6. Pp. 71-76.

10. Johnsson H. Genetic Characteristics of *Betula verrucosa* Ehrh. And *B. pubescens* Ehrh. *Annales Forestales*. 1974. Pp. 91-133.

11. Mackevich N.V. Okhrana redkikh genotipov lesnykh derevev i kustarnikov [Protection of Rare Genotypes of Trees and Shrubs]. Moscow: Agropromizdat, 1987. 207 p.

12. Poddubnaya-Arnoldi V.P. *Tsitoembriologiya pokryosemennyykh rasteniy* [Cytoembryology of Metasperms]. Moscow: Nauka, 1976. 507 p.

13. Nikolaev E.A., Slavskiy V.A., Tishchenko V.V. *Introduktsiya i selektsiya orekha gretskogo v Voronezhskoy oblasti* [Introduction and Selection of *Juglans Regia* in Voronezh oblast]. Voronezh: VGU, 2007. 152 p.

14. Nikolaev E.A., Slavskiy V.A. Mezhhvidovaya gibridizatsiya kak metod selektsii orekhov roda *Juglans* v Tsentralnom Chernozeme [Interspecies Crossbreeding as a Method of *Juglans* Selection in the Central Black Earth Region]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya* [Vestnik of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology]. 2010. № 2. Pp. 131 - 134.

15. Gosudarstvennyy reestr selektsionnykh dostizheniy, dopushchennykh k ispolzovaniyu. Tom 1. Sorta rasteniy [State Register of Selection Achievements, Accepted for Usage]. URL: <http://7law.info/russia/government6p/u348.htm>.

16. Vostrikova T.V., Butorina A.K. Tsitogeneticheskie reaktsii berezy povisloy na deystvie stressovykh faktorov [Cytogenetic Reactions of European

White Birch on Stress Factors]. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya* [News of Russian Academy of Sciences. Series «Biology»]. 2006. №2. Pp. 232 - 238.

17. Vostrikova T.V. Vyrashchivanie posadochnogo materiala dlya ozeleneniya ekologicheskii zagryaznennykh territoriy [Cultivation of Planting Material for Landscaping of the Polluted Areas]. *Problemy regionalnoy ekologii* [Regional Ecology Problems]. 2012. № 1. Pp. 154 - 158.

18. Baranova T.V. Uskorennoe poluchenie ustoychivyykh k gorodskim usloviyam rasteniy [Accelerated Nurture of Adapted for Urban Conditions Plants]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii* [Ecology and Industry in Russia]. 2013. №4. Pp. 65 - 67.

19. Safonova O.N., Voronin A.A. Cherenkovanie roz v usloviyakh zashchishchennogo grunta [The Graftage of Roses in the Sheltered Ground Conditions]. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova* [Vestnik of Vavilov Saratov State University]. № 1. Saratov, 2011. Pp. 36-38.

20. Vostrikova T.V., Butorina A.K. Izuchenie suutochnoy mitoticheskoy aktivnosti u berezy povisloy [Study of Daily Mitotic Activity of European White Birch]. *Citologiya* [Cytology]. 2004. Vol. 46, № 6. Pp. 520 - 524.

21. Vekhov N.K. *Derevyia i kustarniki lesostepnoy selektsionnoy opytной stantsii* [Trees and Shrubs of Forest-Steppe Selection Experimental Station]. Moscow: MKH RSFSR, 1953. 183 p.

22. Lyubavskaya A.Ya. *Lesnaya selektsiya i genetika* [Forest Selection and Genetics]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1982. 285 p.

23. Slavskiy V.A., Nikolaev E.A. Sravnitel'naya kharakteristika orekhov roda *Juglans* v Tsentralnom Chernozeme i perspektiva vvedeniya ikh v kulturu [Comparative Characteristics of *Juglans* in Central Black Earth Region and the Perspective of Introduction]. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal]. 2009, № 6. Pp. 29 - 35.

The article was received 26.11.13.

Citation for an article: Baranova T.V., Nikolaev E.A. Biological characteristics of the *Juglans L.* genus in the Central Black earth region. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2014. No 3(23). Pp. 78-85.

Information about the authors

BARANOVA Tatiana Valentinovna – Candidate of Biological Sciences, Research officer of Botanical garden, Voronezh State University. Research interests – ecology, cytology, botany, introduction. The author of more than 100 publications.

NIKOLAEV Evgeniy Aleksandrovich – Candidate of Biological Sciences, Senior Research officer of Botanical garden, Voronezh State University. Research interests – ecology, botany, introduction. The author of 70 publications.

УДК 577.13+576.535.2

РОСТ И БИОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУСПЕНЗИОННОЙ КУЛЬТУРЫ *TAXUS BACCATA* ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В КОЛБАХ И БИОРЕАКТОРЕ

Л. В. Орлова¹, Е. Б. Глоба², Н. Д. Черняк², Е. В. Демидова², М. В. Титова²,
А. Е. Соловченко³, Р. В. Сергеев⁴, А. М. Носов^{2,3}

¹Казанский Федеральный университет,
Российская Федерация, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18
E-mail: love@orloffv.ru

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

³Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Российская Федерация, 119991, Ленинские горы, 1, стр. 12
E-mail: wundy@mail.ru

⁴Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: sergeyevrv@volgatech.net

Проведено выращивание и анализ ростовых характеристик суспензионной культуры Taxus baccata (линия 107ПВП) при выращивании в колбах и барботажном биореакторе рабочим объемом 1,5 л в полупротоочном режиме. Показано, что культура обладает удовлетворительным ростом, при этом ростовые показатели исследуемой линии при аппаратном культивировании близки к показателям, полученным при периодическом выращивании в колбах. По результатам фитохимического анализа (данные ВЭЖХ с диодноматричным детектором) установлено, что исследуемая суспензионная культура клеток тиса ягодного содержит таксоиды (баккатин III и паклитаксел). Образование таксоидов сохраняется при переходе к аппаратному выращиванию исследуемой культуры клеток Taxus baccata, что важно для её биотехнологического использования.

Ключевые слова: культура клеток *in vitro*; ВЭЖХ; таксол; баккатин III; *Taxus baccata*.

Введение. Одним из наиболее перспективных направлений современной фитобиотехнологии является использование культур тканей и клеток высших растений для получения биологически активных веществ. Обоснованность такого подхода определяется, с одной стороны – постоянно растущей потребностью медицины в уникальных по структуре и активности природных соединений, а с другой стороны – предельно низким уровнем естественных ресурсов растений продуцентов, многие из которых являются редкими исчезающими видами [1,2]. Альтернативным источником получения ценного растительного сырья для медицины, ветеринарии, парфюмерии и пищевой про-

мышленности может служить культура клеток растений. Данный способ имеет ряд преимуществ: экологическая чистота производства культуры клеток, гарантированное производство биомассы независимо от сезона и погодных условий, отсутствие в биомассе вредных добавок.

Значительный интерес для медицины представляют растения рода *Taxus*, так как вторичные метаболиты этих растений – дитерпеноиды сложного строения (таксоиды или таксаны), содержащиеся в коре и листьях этих растений, являются ценными противоопухолевыми агентами.

С 1992 в США, а с 1993 года и в России разрешён к применению лекарственный препарат «Paclitaxel», действующим

началом которого является таксоид паклитаксел (коммерческий синоним этого соединения – таксол) [3,4]. Открытие паклитаксела, впервые выделенного из коры *Taxus brevifolia*, является одним из самых значимых событий в лечении онкологических заболеваний [5].

Число раковых заболеваний, излечиваемых таксолом, достаточно быстро расширяется. На сегодняшний день он главным образом используется для лечения метастатического рака яичников, метастатического рака молочной железы и не мелкоклеточного рака лёгкого, а также в терапии второй линии от СПИДа, связанной с саркомой Капоши. Таксол в настоящее время изучается также для лечения болезней, не связанных с раком, которые требуют стабилизации микротрубочек во избежание клеточной пролиферации и ангиогенеза, например, псориаза и для лечения болезни Альцгеймера или Паркинсона [6].

С момента открытия таксола было проведено множество исследований, целью которых были попытки увеличить биосинтез данного соединения. Серьёзной проблемой в его получении является низкая концентрация (0,001–0,05 %) таксола в растительном материале, даже в наиболее продуктивных видах, таких как *T. brevifolia*. Поскольку для получения одного килограмма препарата необходимо около 10000 кг коры от более чем 3000 деревьев тиса, а одному пациенту на курс химиотерапии требуется примерно 2,5–3 г паклитаксела [7], то для лечения каждого пациента необходимо уничтожить около восьми 60-летних деревьев тиса. Кроме того, получение таксола из коры тиса требует сложной системы и специфических методов очистки с использованием современных и дорогостоящих технологий.

Принимая во внимание эти факты, вместе с сезонными изменениями концентрации таксоидов и высоким спросом на лекарственные препараты, существует острая необходимость поиска других ис-

точников таксола. Альтернативным возобновляемым сырьём для получения таксоидов может служить культура растительных клеток.

Многочисленные исследования культур клеток тиса, проводимые в разных лабораториях мира, показали, что этот объект является одним из наиболее сложных для введения в культуру, оптимизации роста клеток и образования ими таксоидов [8].

В ИФР РАН получен ряд культур клеток разных видов *Taxus* [9], но систематических исследований на предмет содержания таксоидов проведено не было. Также, основываясь на данных анализа ростовых характеристик некоторых линий суспензионной культуры *Taxus baccata*, было сделано заключение о возможности выращивания некоторых из них в биореакторе малого объёма. Однако экспериментально этот вывод проверен не был.

Таким образом, **целью** данной работы явилось проведение сравнительного анализа характера роста и биосинтетических характеристик (накопление таксоидов) суспензионной культуры *Taxus baccata* при выращивании в различных экспериментальных системах (колбы, барботажный биореактор).

Условия эксперимента. В качестве объектов исследования использовали штамм суспензионной культуры клеток *Taxus baccata*. Исходная каллусная культура *T. baccata* была получена научными сотрудниками лаборатории физиологии культивируемых клеток ИФР РАН Е. Б. Глобой и Е. В. Демидовой в 2008 году из отрезков побегов (2–4 см) женского растения *T. baccata*, произрастающего в Ботаническом саду Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. Используемая в работе линия суспензионной культуры клеток была получена научными сотрудниками лаборатории физиологии культивируемых клеток ИФР РАН Е. Б. Глобой и Н. Д. Черняк в 2009 году из каллусных культур клеток *T. baccata* [9].

В работе использовали линию 107ПВП, которую выращивали на среде с минеральной основой по Гамборгу (B5) [10], витаминами по Стаба, 500 мг/л гидролизата казеина, 80 мг/л инозита, 1 г/л поливинилпирролидона (ПВП, молекулярная масса 4000), 30 г/л сахарозы, 2 мг/л пиклорама и 0,3 мг/л БАП.

Условия выращивания культуры. Для выращивания суспензионной культуры клеток в колбах на круговой качалке использовали колбы объёмом 100 мл (20–25 мл суспензии в колбе). При пересеве на 1 объём инокулюма вносили 3 части свежей среды (на 15 мл среды 5 мл культуры). Продолжительность цикла субкультивирования составляла 3–4 недели. Культивирование проводили в темноте при температуре 26–27°C, влажности 70–75 % и частоте оборотов качалки 80–100 об/мин.

Для аппаратного выращивания использовали барботажный конический биореактор (разработка Отдела биологии клетки и биотехнологии РАН); общий объём 2,0 л; рабочий объём 1,5 л; точечное аэрирующее устройство.

Аппаратное культивирование проводили в полупроточном режиме объёмно-доливным способом при начальной плотности инокулята около 2,0 г/л по сухой биомассе клеток. При этом в фазу максимального накопления биомассы клеток в единице объёма суспензии (по сухому весу) производили отлив суспензии и добавляли свежую питательную среду.

В зависимости от фазы ростового цикла расход воздуха на барботаж составлял 0,1–1,0 л/л/мин. Концентрацию растворённого кислорода pO_2 поддерживали на уровне 10–40 % от насыщения. Температуру суспензии в аппарате поддерживали на уровне $26 \pm 0,5^\circ C$.

Анализ ростовых характеристик культур клеток проводили по общепринятым методикам [11]. Определяли жизнеспособность клеток, содержание сухой и сырой биомассы в литре среды и концентрацию клеток в среде. Индекс роста (I),

удельную скорость роста в экспоненциальной фазе (μ), время удвоения (τ) и продуктивность культуры по сухой биомассе рассчитывали согласно общепринятым методикам [11].

На графиках и таблицах представлены средние арифметические значения ростовых параметров из 3–4 биологических повторностей (3–4 колбы) для каждого срока, цикла выращивания и варианта. Если не отражено на графике, то стандартные отклонения не превышали 10 % от величин средних значений.

Экстракция и подготовка проб для ВЭЖХ-анализа таксоидов. Пробы сухой биомассы экстрагировали 96 % этанолом (соотношение биомасса : экстрагент – 1:10) под действием ультразвука в (УЗВ «Сапфир», Россия), в течение 20 минут. Затем экстракты упаривали под вакуумом. Полученный сухой экстракт растворяли в 10 мл дистиллированной воды и наносили (по 5 мл) на патрон для твердофазной экстракции Superclean ENVI – 18 SPE (США). Патрон промывали 2 мл воды, аналиты смывали 2 мл этанола. Полученный раствор упаривали под вакуумом, растворяли в 1 мл метанола и центрифугировали (11000 об/мин, 10 минут). Супернатант фильтровали с помощью тefлоновых микрофильтров ACRODISC PALL (США) с порами 0,2 мкм и использовали для ВЭЖХ-анализа.

Условия ВЭЖХ-анализа таксоидов. Разделение таксоидов проводили на приборе «Adgilent» серии 1200 (США), оснащённом диодноматричным детектором и колонкой Lichrosorb RP-18 (4,6x250 мм, 5 мкм). В качестве компонентов подвижной фазы использовали ацетонитрил (А) и деионизированную воду (Б), полученную с помощью установки Water Pro PS (США). Элюирование осуществляли в градиентном режиме (% А): 0–7 мин. – 40 %, 7–17 мин. – 40–45 %, 45–50 мин – 45 %. Скорость потока 0,5 мл/мин, температура колонки 25°C. Детектирование проводили при длине волны 227 нм. Спектры снима-

лись в диапазоне 190–450 нм. В качестве стандартов использовали баккатин III и паклитаксел фирмы Merck (Германия).

Результаты и обсуждение. В начале исследования была проведена цитологическая характеристика культуры клеток *Taxus baccata* линии 107ПВП, в результате которой было установлено, что изучаемая культура представляет собой мелкоагрегированную суспензию клеток светло-жёлтого цвета. Агрегаты состоят из меристемоподобных и паренхимоподобных клеток, преимущественно округлой формы, количеством от 10 до 50 клеток. Клетки оводнённые.

Следующим этапом работы явилось изучение ростовых характеристик *T. baccata* линии 107ПВП при культивировании в колбах на качалке в стандартных условиях, исследовали особенности динамики накопления биомассы клеток. Полученные результаты представлены на рис. 1 и 2 (А) в виде соответствующих графиков

в линейной и полулогарифмической системах координат. Кроме того, были рассчитаны индекс роста (I), удельная скорость роста (μ), продуктивность по биомассе клеток, представленные в табл. 1.

Как следует из представленных результатов, жизнеспособность клеток сохранялась на уровне 93–95 % в начале цикла культивирования и несколько снижалась к концу выращивания (до 82–83 %). Максимальное накопление биомассы клеток по сухому весу наблюдали на 24–27 сутки – 8,3 г/л.

Для исследуемой линии следует отметить наличие «ступеньки» в период 9–11-х суток (рис. 1 и 2(А)). Возможно, это связано с наличием двух субпопуляций клеток в культуре, либо с особенностью утилизации сахарозы – её расщеплением в среде с дальнейшим последовательным потреблением глюкозы и фруктозы. Аналогичный факт был описан для культуры клеток женьшеня [12].

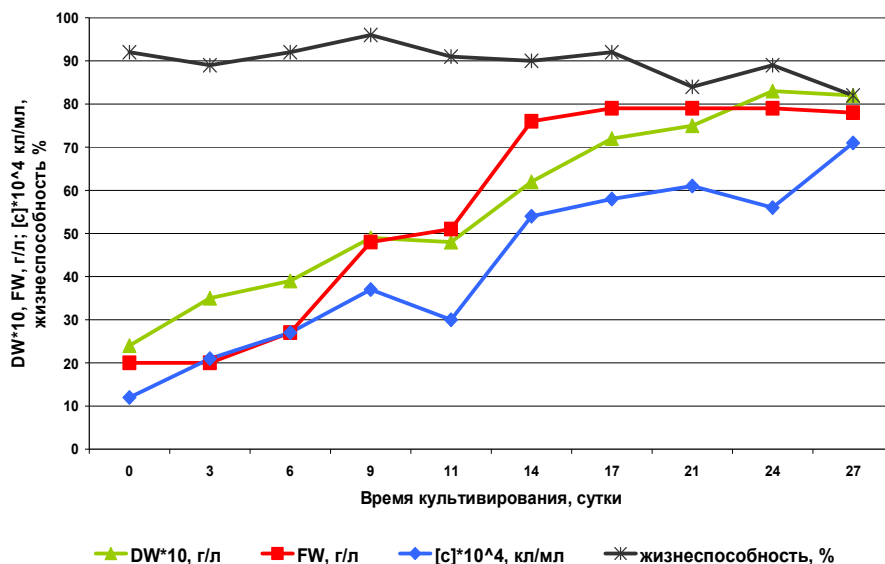


Рис 1. Динамика изменения ростовых характеристик и уровня жизнеспособности суспензионной культуры клеток *T. baccata* линии 107ПВП при выращивании в колбах (где DW – масса сухих клеток, г/л; FW – масса сырых клеток, г/л, с – число клеток)

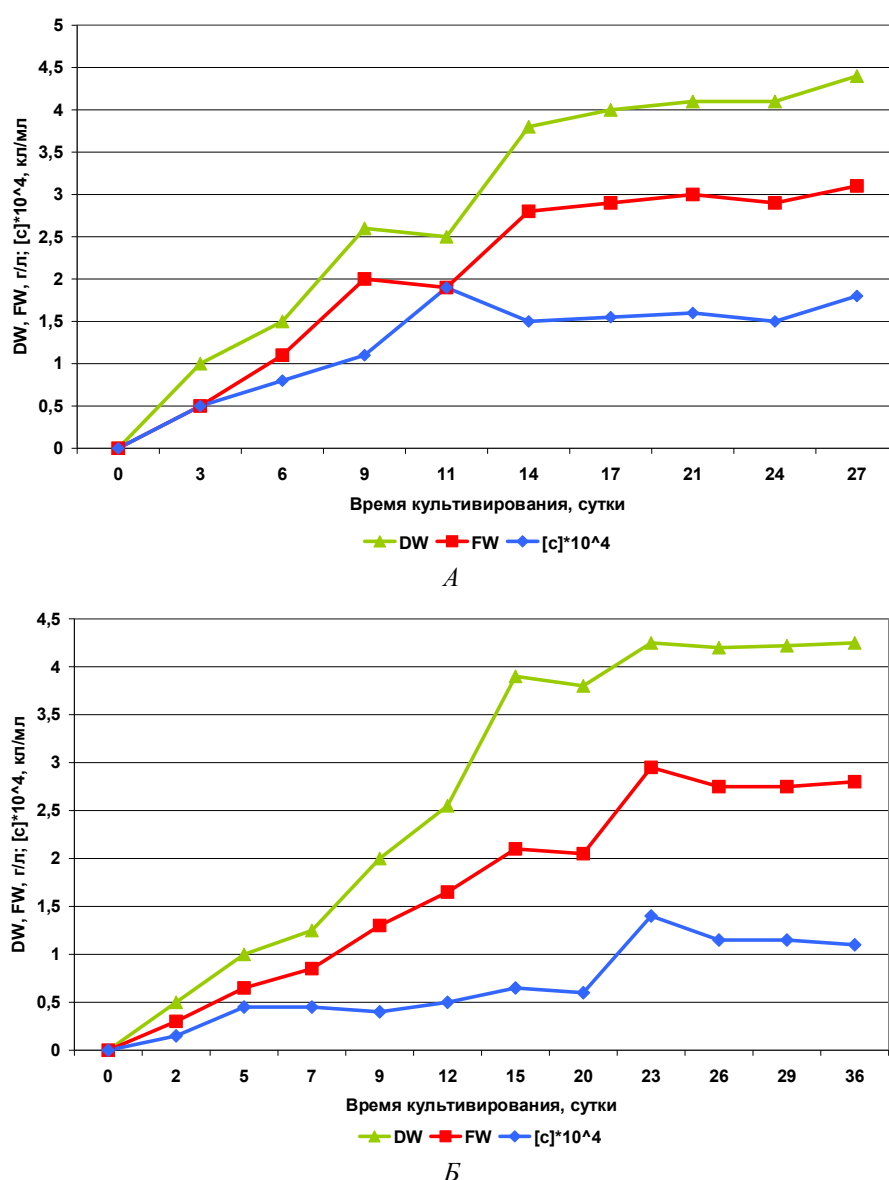


Рис. 2. Динамика изменения числа клеток и биомассы суспензионной культуры клеток *T. baccata* линия 107ПВП при выращивании в колбах (А) и биореакторе (Б), в полупологарифмической системе координат

Как следует из результатов, представленных в табл. 1, исследуемая культура клеток имеет удовлетворительные ростовые характеристики, из особенностей которых можно отметить от-

сутствие значительных различий удельной скорости роста, рассчитанной по разным критериям, что может свидетельствовать о сбалансированности роста культуры.

Таблица 1

Характеристики роста культуры *T. baccata* линия 107ПВП при выращивании в колбах

Критерий роста	<i>I</i>	μ	τ	<i>Y</i>	<i>P</i>
Сухая масса клеток	3,53	0,08	8,70	0,20	0,22
Сырая масса клеток	4,02	0,09	7,35		
Число клеток	5,87	0,09	7,48		

Примечание: *I* – индекс роста; μ – удельная скорость роста, сут⁻¹; τ – время удвоения, сут.; *Y* – экономический коэффициент; *P* – продуктивность по биомассе клеток, г/л в сутки

Для оценки возможности аппаратного культивирования проводили полупроточное выращивание суспензионной культуры *Taxus baccata* линии 107ПВП в коническом барботажном биореакторе. Кривая роста первого цикла субкультивирования в логарифмической системе координат представлена на рис. 2(Б).

При анализе полученных результатов можно отметить отсутствие лаг-фазы по всем трём исследуемым параметрам, наличие «ступеньки» не наблюдали. Фаза деградации не наступала даже после 36-и суток культивирования.

Для исследуемой линии было проведено пять циклов аппаратного выращивания в режиме полупроточного культивирования, продолжительность циклов субкультивирования варьировала в пре-

делах 14 – 36 суток, общая продолжительность выращивания составила 109 суток. Процесс «отлива суспензии – долива среды» проводили при достижении плотности суспензии, соответствующей началу фазы замедления роста. Разбавление средой в каждом цикле субкультивирования проводили до концентрации биомассы, исключающей появление лаг-фазы.

Полученные кривые роста представлены на рис. 3, основные ростовые характеристики – в сводной табл. 2.

Жизнеспособность клеток в течение всего периода выращивания сохранялась на уровне 80–93 %, максимальное накопление биомассы клеток по сухому весу в конце каждого из циклов субкультивирования достигало 12–16 г/л.

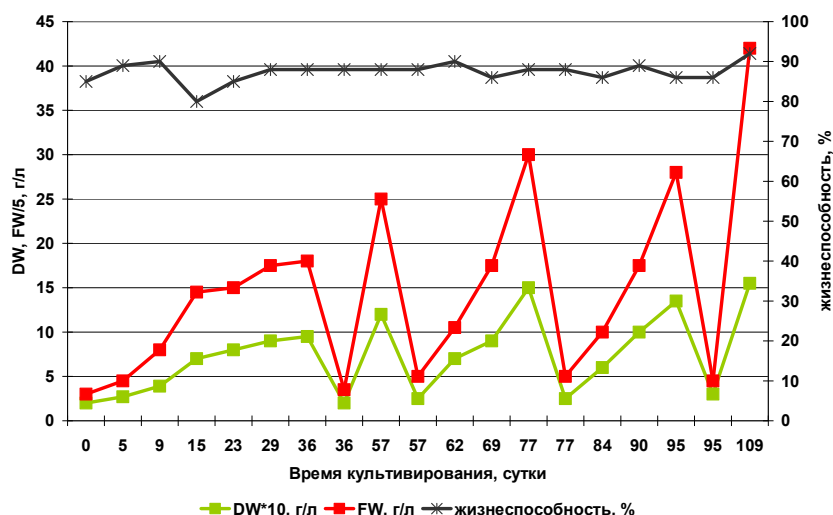


Рис 3. Динамика изменения ростовых характеристик и уровня жизнеспособности суспензионной культуры *T. baccata* линия 107ПВП при выращивании в биореакторе

Таблица 2

Характеристики роста культуры *T. baccata* линия 107ПВП при полупроточном способе культивирования

Цикл культивирования	I		μ		τ		Y	P
	DW	FW	DW	FW	DW	FW		
1	3,50	4,47	0,09	0,09	7,76	8,15	0,24	0,20
2	5,67	5,91	0,09	0,09	7,67	7,53	0,34	0,49
3	4,91	4,76	0,04	0,07	16,63	10,33	0,41	0,61
4	4,12	3,70	0,09	0,09	7,64	7,64	0,35	0,59
5	4,83	8,07	0,13	0,13	5,51	5,51	0,43	0,93

Примечание: Обозначения см. в табл. 1.

В процессе выращивания не происходило ухудшения ростовых характеристик, наблюдалась адаптация культуры к условиям выращивания в биореакторе.

Показано, что увеличение начальной плотности инокулята до 2,5 г/л по сухой массе клеток может приводить к сокращению продолжительности цикла субкультивирования (почти в два раза), повышению удельной скорости роста и максимального уровня накопления биомассы клеток.

Следует отметить, что при переходе к выращиванию в барботажном биореакторе наблюдали интенсивное пенообразование с образованием «корки» на поверхности суспензии, что, по-видимому, требует проведения дальнейших работ по подбору оптимальных противопенных компонен-

тов, а также по выбору более эффективных аэрирующих устройств.

Из полученных результатов следует, что ростовые показатели исследуемого штамма при аппаратном культивировании соответствуют показателям, полученным ранее при периодическом выращивании в колбах.

Для оценки содержания таксоидов был проведён ВЭЖХ-анализ спиртовых экстрактов из биомассы культуры клеток *T. baccata*, выращенной в колбах и биореакторе, для чего были подобраны условия разделения основных таксоидов (баккатын III и паклитаксел). Профиль элюции смеси стандартов баккатына III и паклитаксела в разработанном режиме ВЭЖХ представлен на рис. 4(А).

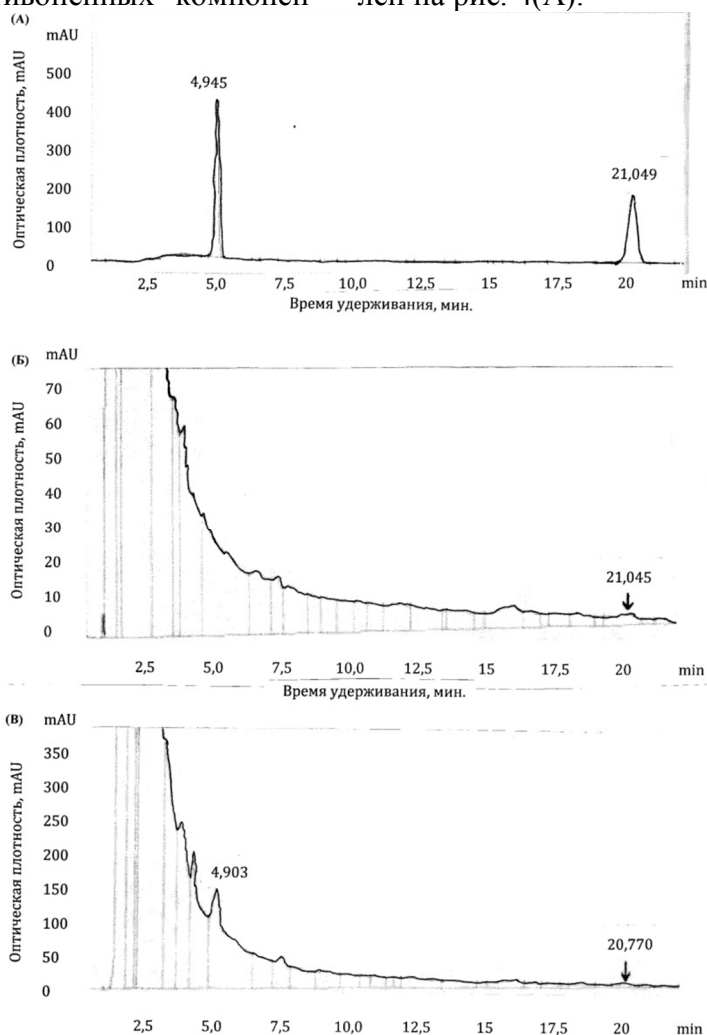


Рис 4. ВЭЖХ-хроматограмма смеси стандартов баккатына III и паклитаксела (А), также экстракта биомассы суспензионной культуры клеток *T. baccata* линия 107 ПВП, выращенной в колбах (Б) и биореакторе (В)

Результаты ВЭЖХ-анализа экстрактов представлены на рис. 4 (Б)–4 (В). Как следует из представленных хроматограмм, анализ показал наличие пика, соответствующего по времени удерживания стандарту паклитаксела: в экстракте из биомассы культуры клеток *T. baccata*, выращенной в колбах, – 21,045 мин.; в биомассе этой культуры, выращенной в биореакторе, – 20,770 мин. Вещество, соответствующее по времени удерживания стандарту баккатина III, было обнаружено только на хроматограмме экстракта культуры клеток *T. baccata*, выращенной в биореакторе (рис. 4 (В), время удержива-

ния 4,903 мин.). Результаты хроматографической идентификации обнаруженных соединений были подтверждены данными УФ-спектров соответствующих им хроматографических пиков. На рис. 5 представлены спектры соединения со временем удерживания 20,770 мин., обнаруженного в биомассе культуры клеток *T. baccata* из биореактора, и стандарта паклитаксела. Совпадение спектров с высокой степенью достоверности свидетельствует об идентичности данных соединений, однако для полного доказательства идентичности необходимы дополнительные исследования (снятие масс- и ЯМР-спектров).

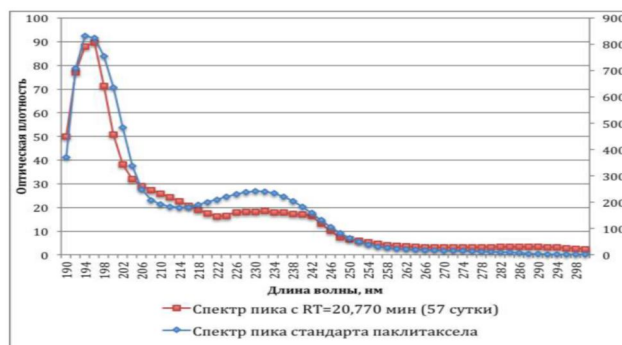


Рис. 5. Спектр поглощения паклитаксела и вещества (близкого к нему по времени удерживания) из биомассы культуры клеток *T. baccata*, выращенной в биореакторе

Вывод. Результаты фитохимического анализа свидетельствуют, что суспензионная культура клеток тиса ягодного содержит таксоиды (баккатин III и паклитаксел). Важно, что синтез таксоидов сохраняется при переходе к аппаратному выращиванию данной культуры клеток с использованием барботажного биореактора. Развитие данных работ (масштабирование выращивания, оптимизаций условий образования таксоидов клетками *in vitro*) позволит создать отечественную биотехнологию получения ценных противоопухолевых природных соединений – таксоидов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации Межгосударственной целевой программы ЕвразЭС «Инновационные биотехнологии» (государственные контракты № 16.М04.12.0003 и 14.М04.12.0002) и 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».

Список литературы

1. Verpoorte, R. Biotechnology for the production of plant secondary metabolites / R. Verpoorte, A. Contin, J. Memelink // *Phytochem. Rev.* – 2002. – Vol. 1. – Pp. 13–25.
2. Nosov, A.M. Application of Cell Technologies for Production of Plant-Derived Bioactive Substances of Plant Origin / A.M. Nosov // *Applied Biochemistry and Microbiology*. – 2012. – Vol. 48, № 7. – Pp. 609–624.
3. Некора, С.В. Способность к каллусогенезу у эксплантов хвои пяти видов рода *Taxus* L. / С.В. Некора, В.П. Комов // *Растительные ресурсы*. – 2001. – Т. 37, Вып. 4. – С. 100–107.
4. Zhong, J.J. Plant cell culture for production of

Paclitaxel and other taxanes / J.J. Zhong // Journal of Bioscience and Bioengineering. – 2002. – Vol. 94, № 6. – Pp. 591-599.

5. Yuangang, Z. Rapid separation of four main taxoids in *Taxus* species by a combined LLP-SPE-HPLC (PAD) procedure / Z. Yuangang, F. Yujie, L. Shuangming // Journal of separation science. – 2006. – Vol. 29. – Pp. 1237-1244.

6. Zhang, B. Microtubule-binding drugs offset tau sequestration by stabilizing microtubules and reversing fast axonal transport deficits in a tauopathy model / B. Zhang, A. Maiti, S. Shively // Proceedings of the National Academy of Sciences USA. – 2005. – Vol. 102. – Pp. 227–31.

7. Malik, S. Production of the anticancer drug taxol in *Taxus baccata* suspension cultures / S. Malik, M. Rosa, B. Cusido // Process Biochemistry. – 2011. – Vol. 46. – Pp. 23–34.

8. Mihaljevi, S. Callus Growth of *Taxus baccata* L. / S. Mihaljevi // Food Technology and Biotechnol-

ogy. – 2002. – Vol. 40 (4). – Pp. 299–303.

9. Глоба, Е.Б. Каллусогенез и получение суспензионных культур клеток четырех видов тиса: *Taxus canadensis*, *T. baccata*, *T. cuspidata* и *T. media*. / Е.Б. Глоба, Е.В. Демидова, В.В. Туркин, С.С. Макарова, А.М. Носов // Биотехнология. – 2009. – Т. 3. – С. 54–59.

10. Бутенко, Р. Г. Культура изолированных тканей и физиология морфогенеза растений / Бутенко Раиса Георгиевна. – М.: Наука, 1964. – 272 с.

11. Носов, А.М. Методы оценки и характеристики роста культур клеток высших растений / А.М. Носов // Молекулярно-генетические и биохимические методы в современной биологии растений. – М.: БИОНОМ, 2011. – С. 386 – 403.

12. Zhong, J.J. Effects of plant growth regulators on cell-growth and ginsenoside saponin production by suspension cultures of *Panax quinquefolium* / J.J. Zhong, Y. Bai, S. J. Wang // Journal of Biotechnology. – 1996. – Vol. 45. – 3. – Pp. 227-234.

Статья поступила в редакцию 28.05.14.

Ссылка на статью: Орлова Л. В., Глоба Е. Б., Черняк Н. Д., Демидова Е. В., Титова М. В., Соловченко А. Е., Сергеев Р. В., А. М. Носов. Рост и биосинтетические характеристики суспензионной культуры *Taxus baccata* при выращивании в колбах и биореакторе // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 3 (23). – С. 86-97.

Информация об авторах

ОРЛОВА Любовь Васильевна – студентка, Казанский (Приволжский) Федеральный университет. Область научных интересов – физиология растений, биотехнология. Автор трёх публикаций. E-mail: love@orloffv.ru

ГЛОБА Елена Борисовна – научный сотрудник лаборатории физиологии культивируемых клеток, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. Область научных интересов – физиология растений, биотехнология. Автор 10 публикаций. E-mail: el_globa@mail.ru

ЧЕРНЯК Наталья Даниловна – старший научный сотрудник лаборатории физиологии культивируемых клеток, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. Область научных интересов – физиология растений, биотехнология. Автор 30 публикаций

ДЕМИДОВА Елена Викторовна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории физиологии культивируемых клеток, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. Область научных интересов – физиология растений, биотехнология. Автор 12 публикаций. E-mail: donzdonz@qip.ru

ТИТОВА Мария Владимировна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории физиологии культивируемых клеток, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. Область научных интересов – физиология растений, биотехнология. Автор 25 публикаций. E-mail: titomirez@mail.ru

СОЛОВЧЕНКО Алексей Евгеньевич – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник кафедры биоинженерии биологического факультета, МГУ имени М.В. Ломоносова. Область научных интересов – биоинженерия, биотехнология. Автор более 100 научных публикаций. E-mail: wundy@mail.ru

СЕРГЕЕВ Роман Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – биотехнология. Автор более 20 публикаций. E-mail: sergeyevrv@volgatech.net

НОСОВ Александр Михайлович – доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии растений, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова; зав. отделом биологии клетки и биотехнологии, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. Область научных интересов – биотехнология. Автор более 100 публикаций. E-mail: amn@ippras.ru

GROWTH AND BIOARTIFICIAL CHARACTERISTICS OF *TAXUS BACCATA* SUSPENSION CULTURE (CULTIVATION IN FLASKS AND BIOREACTOR)

L.V. Orlova¹, E.B. Globa², N.D. Chernyak², E.V. Demidova², M.V. Titova²,
A.E. Solovchenko³, R.V. Sergeev⁴, A.M. Nosov^{2,3}

¹Kazan (Volga region) Federal University,
18, Kremlevskaya st., 420008, Russian Federation
E-mail: love@orloffv.ru

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

³Moscow State University named after M. V. Lomonosov,
1, Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russian Federation
E-mail: wundy@mail.ru

⁴Volga State University of Technology,
3, Lenin sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: sergeyevrv@volgatech.net

Key words: plant cell culture in vitro; HPLC; taxol; baccatin III; *Taxus baccata*.

One of the most promising trends of modern phytobiotechnology is the usage of cultures of tissues and cells of higher plants for production of biologically active substances. The plants of *Taxus* kind are of considerable interest for the researchers as they are a source of anticancer agents. The goal of the research was to carry out a comparative analysis of growth and biosynthetic characteristics of *Taxus baccata* suspension culture. A strain of suspension cell culture of *Taxus baccata* was used as the object of research. Initial *T. baccata* callus culture was obtained in the Institute of Plant Physiology of the Russian Academy of Sciences out from the segments of the female plant shoots of *T. baccata*. A line of suspension culture cells was obtained in the Institute of Plant Physiology of the Russian Academy of Sciences out from callus cultures of cells of *T. baccata*. The cycle time of subculturing was 3-4 weeks. A bubble conical bioreactor (2.0 total volume) was used for hardware cultivation. Growth index, specific growth rate, productivity of cells biomass were calculated for the studied cultures. **Results.** It was revealed that the viability of cells was maintained at 93-95 % at the beginning of cultivation cycle and decreased slightly by the end of cultivation (up to 82-83 %). The maximum accumulation of biomass in dry cell weight was observed in 24-27 days (8.3 g / l). The studied line is characterized by a "step" on the 9 – 11th days, which is associated with the presence of two subpopulations of cells in culture or with peculiarities of utilization. No lag phase was found in all the three investigated parameters. Phase degradation did not occur even after the 36th day of cultivation. To assess the content of taxoids, a HPLC analysis of alcohol extracts of biomass cell culture of *T. baccata*, grown in flasks and bioreactor, which showed a peak corresponding to the retention time of paclitaxel standard, was conducted. The results of the chromatographic identification of the detected compounds were confirmed by the data of UV spectra of the corresponding to them chromatographic peaks. **Conclusion.** Phytochemical analysis results indicate that suspension culture of cells of yew contains the taxoids (paclitaxel and baccatin III). Synthesis of taxoids is remained in terms of passage to the hardware growing of this cell culture using a bubble bioreactor.

The research was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within realization of Intergovernmental targeted program EvrAzES "Innovative Biotechnologies" (state contracts №16.M04.12.0003 and 14.M04.12.0002) and Federal Targeted Program "Researches and Elaborations in Priority Branches of Development of Research-Technological Complex of Russia 2007-2013" (state contract № 16.552.11.7089 of July 12, 2012) with the use of equipment of CUC "EBEE" of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Volga Tech".

REFERENCES

1. Verpoorte R., Contin A., Memelink J. Biotechnology for the Production of Plant Secondary Metabolites. *Phytochem. Rev.* 2002. Vol. 1. Pp. 13–25.
2. Nosov A.M. Application of Cell Technologies for Production of Plant Derived Bioactive Substances of Plant Origin. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2012. Vol. 48, № 7. Pp. 609–624.
3. Nekora S.V., Komov V.P. Sposobnost k kallusogenezu u eksplantov khvoi pyati vidov roda *Taxus* L. [An Ability for Callusogenesis of Needle Explants of *Taxus* L.]. *Rastitelnye resursy* [Plant Resources]. 2001. Vol. 37, Issue 4. Pp. 100–107.
4. Zhong J.J. Plant Cell Culture for Production of Paclitaxel and Other Taxanes. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2002. Vol. 94, № 6. Pp. 591–599.
5. Yuangang Z., Yujie F., Shuangming L. Rapid Separation of Four Main Taxoids in *Taxus* Species by a Combined LLP-SPE-HPLC (PAD) Procedure. *Journal of Separation Science*. 2006. Vol. 29. Pp. 1237–1244.
6. Zhang B., Maiti A., Shively S. Microtubule-binding Drugs Offset Tau Sequestration by Stabilizing Microtubules and Reversing Fast Axonal Transport Deficits in a Tauopathy Model. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 2005. Vol. 102. Pp. 227–31.
7. Malik S., Rosa M., Cusido B. Production of the Anticancer Drug Taxol in *Taxus Baccata* Suspension Cultures. *Process Biochemistry*. 2011. Vol. 46. Pp. 23–34.
8. Mihaljevi S. Callus Growth of *Taxus baccata* L. *Food Technology and Biotechnology*. 2002. Vol. 40 (4). Pp. 299–303.
9. Globa E.B., Demidova E.V., Turkin V.V., Makarova S.S., Nosov A.M. Kallusogenez i poluchenie suspenzionnykh kultur kletok chetyrekh vidov tissa: *Taxus canadensis*, *T. baccata*, *T. cuspidata* i *T. media*. [Callusogenesis and Obtention of Suspension Cell Culture of Four Kinds of Yew-Tree: *Taxus canadensis*, *T. baccata*, *T. cuspidata* and *T. media*]. *Biotehnologiya* [Biotechnology]. 2009. Vol. 3. Pp. 54–59.
10. Butenko R. G. *Kultura izolirovannykh tkaney i fiziologiya morfogeneza rasteniy* [Culture of Isolated Tissue and Physiology of Plant Morphogenesis]. Moscow: Nauka, 1964. 272 p.
11. Nosov A.M. Metody otsenki i kharakteristiki rosta kultur kletok vysshikh rasteniy. V kn. *Molekulyarno-geneticheskie i biokhimicheskie metody v sovremennoy biologii rasteniy* [Assessment Methods and Characteristics of Growth Rate of the Higher Plants Cells in the Book Molecular-Genetic and Biochemical Methods of Modern Biology of Plants]. Moscow: BIONOM. 2011. Pp. 386 – 403.
12. Zhong J.J., Bai Y., Wang S. J. Effects of Plant Growth Regulators on Cell-Growth and Ginsenoside Saponin Production by Suspension Cultures of *Panax quinquefolium*. *Journal of Biotechnology*. 1996. Vol. 45. 3. Pp. 227–234.

The article was received 28.05.14.

Citation for an article: Orlova L.V., Globa E.B., Chernyak N.D., Demidova E.V., Titova M.V., Solovchenko A.E., Sergeev R.V., Nosov A.M. Growth and bioartificial characteristics of *taxus baccata* suspension culture (cultivation in flasks and bioreactor). *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2014. No 3(23). Pp. 86–97.

Information about the authors

ORLOVA Lubov Vasilyevna – student, Kazan (Volga region) Federal University. Research interests – plant physiology, biotechnology. The author of 3 publications. E-mail: love@orloffv.ru

GLOBA Elena Borisovna – Researcher, Laboratory of Physiology of Cultured Cells, Institute of Plant Physiology named after K.A. Timiryazev, RAS. Research interests – plant physiology, biotechnology. The author of 10 publications. E-mail: el_globa@mail.ru

CHERNYAK Natalia Danilovna – Senior Researcher, Laboratory of Physiology of Cultured Cells, Institute of Plant Physiology named after K.A. Timiryazev, RAS. Research interests – plant physiology, biotechnology. The author of more than 30 publications. E-mail: not available

DEMIDOVA Elena Victorovna – Candidate of Biological Sciences (PhD in Biology), Researcher at the Laboratory of Physiology of Cultured Cells, Institute of Plant Physiology named after K.A. Timiryazev, RAS. Research interests – plant physiology, biotechnology. The author of 12 publications. E-mail: donzdonz@qip.ru

TITOVA Maria Vladimirovna – Candidate of Biological Sciences (PhD in Biology), Researcher at the Laboratory of Physiology of Cultured Cells, Institute of Plant Physiology named after K.A. Timiryazev, RAS. Research interests – plant physiology, biotechnology. The author of 25 publications. E-mail: titomirez@mail.ru

SOLOVCHENKO Alexey Evgeniyevich – Doctor of Biological Sciences (Sc.D in Biology), Lead researcher at the Chair of Bioengineering at the Biological Faculty of Moscow State University named after M. V. Lomonosov. Research interests – bioengineering, biotechnology. The author of more than 100 publications. E-mail: wundy@mail.ru

SERGEEV Roman Vladimirovich – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer at the Chair of Wood Selection, Non-Woody Resources and Biotechnology, Volga State University of Technology. Research interests – biotechnology. The author of more than 20 publications. E-mail: sergeyevrv@volgatech.net.

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 100 publications. E-mail: amn@ippras.ru

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

УДК 630*2

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «РАЗМНОЖЕНИЕ ЛЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В КУЛЬТУРЕ IN VITRO КАК ОСНОВА ПЛАНТАЦИОННОГО ЛЕСОВЫРАЩИВАНИЯ»

Комплексные проблемы выращивания лесов с ценным ассортиментом как древесины, так и недревесных ресурсов интересуют лесоводов всего мира. Это обусловлено изменившимся взглядом на леса, как на не только возобновляющийся многофункциональный природный ресурс, но и как жизненно важную часть экосистемы планеты. Облегчение промышленного давления на лесные экосистемы, как уже признано в мире, может произойти за счёт частичного переноса основных заготовок древесины на лесные плантации, где должны использоваться современные достижения лесных биотехнологий.

В лесном хозяйстве России по ряду причин, в том числе недостаточно эффективному управлению лесовосстановлением, оказалась истощена лесосырьевая база. Лесной кодекс РФ 2006 года снизил заинтересованность хозяйствующих субъектов в восстановлении лесов, поскольку это затратное производство не даёт быстрой прибыли. Вместе с тем, Лесной кодекс предусматривает создание и эксплуатацию лесных плантаций как отдельный вид предпринимательской деятельности, позволяющей существенно сократить цикл производства и ускорить получение готовой продукции. Интерес инвесторов и предпринимателей к созданию и эксплуатации лесных плантаций может пробудить современные достижения биотехнологии, и в частности в области культуры *in vitro*.

Пять лет назад ПГТУ стал первым вузом в Поволжье, где начали заниматься микроклональным размножением лучших генотипов древесных пород. Метод *in vitro* позволяет в короткие сроки получить растения, генетически идентичные исходному материалу. Эта работа успешно ведётся в лабораторном комплексе биотехнологий Поволжского государственного технологического университета. Результаты этих работ внедряются в лесное хозяйство.

25–26 сентября 2014 года в Йошкар-Оле состоялась международная научно-практическая конференция «Размножение лесных растений в культуре *in vitro* как основа плантационного лесовыращивания», организованная Федеральным агентством лесного хозяйства, Поволжским государственным технологическим университетом, Министерством лесного хозяйства Республики Марий Эл.

В работе конференции приняли участие свыше 80 человек, представляющих более 20 организаций. Среди них представители научного сообщества, бизнеса, министерств и ведомств в области лесного хозяйства.

В рамках проведения конференции обсуждался мировой опыт и перспективы развития и использования биотехнологий в лесном хозяйстве: молекулярных методов и генетически модифицированных организмов, клонального микроразмножения и криоконсервирования лучших генотипов древесных растений; селекции древесных растений для создания плантаций.

Обсуждались нормативно-правовое обеспечение создания и эксплуатации лесных плантаций в Российской Федерации, а также существующий мировой опыт по созданию и эксплуатации как лесных плантаций, так и плантаций пищевых и лекарственных растений с привязкой к их экономической эффективности. Рассматривались актуальные вопросы о подготовке кадров для лесного комплекса в соответствии с новыми вызовами отрасли.

Гости ознакомились с богатейшей учебно-научной базой ПГТУ, посетив лаборатории Центра коллективного пользования «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» и осмотрев автоматизированный теплично-лесопитомнический комплекс на территории Ботанического сада-института.

В ходе конференции представители научного сообщества и лесного сектора обсудили вопросы научно-методического обеспечения работ по введению в культуру *in vitro* перспективных для создания лесных плантаций древесных видов, ДНК-маркирования коммерчески значимых генотипов, возможность использования биологических микропрепаратов при выращивании посадочного материала, лесоводственные, экономические и правовые основы создания лесных плантаций на основе биотехнологических подходов, мировой опыт по созданию и эксплуатации лесных плантаций.

Отмечалось, что тематика исследований соответствует основным направлениям развития лесной биотехнологии и плантационного лесовыращивания, выделенным в основных государственных программах:

- Государственная программа «Развитие лесного хозяйства» на 2013–2020 годы (постановление Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. №318);

- «Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года» (распоряжение Правительства Российской Федерации от 26 сентября 2013 г. № 1724-р);

- Комплексная программа развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года (утверждена Правительством Российской Федерации 24 апреля 2012 г. №1853п-ЗП).

Участники форума отметили, что для активизации работ по созданию, выращиванию и эксплуатации лесных плантаций в Российской Федерации необходимо доработать нормативно-правовые документы, разработать программу по выявлению ценных генотипов основных древесных видов, перспективных для использования в плантационном лесовыращивании, и их сохранению в коллекциях *in vitro*. Необходимо создать условия для организации плантационных хозяйств в Приволжском и Центральном федеральных округах,

характеризующихся благоприятными для древесных растений лесорастительными условиями и возможностью развития транспортной инфраструктуры.

В адрес Федерального агентства лесного хозяйства было подготовлено ходатайство о необходимости формулировании задания и выделения средств на разработку и проведение регионального эксперимента по созданию, выращиванию и эксплуатации лесных плантаций целевого назначения с применением посадочного материала, полученного в культуре *in vitro*; о включении в планы НИОКР тематик, связанных с обобщением опыта создания лесных плантаций целевого назначения, и разработкой технологий создания быстрорастущих лесов на основе методов биотехнологии; об обеспечении поддержки инициатив научных коллективов, участвующих в конкурсах, проводимых в рамках целевых государственных программ.

Участники конференции предложили ректорату Поволжского государственного технологического университета активизировать работу по подготовке кадров в области лесных биотехнологий и плантационного лесовыращивания с использованием имеющейся учебной и научно-производственной базы.

Подчеркнута необходимость активизации научных исследований и опытно-производственных работ научно-исследовательскими коллективами в области:

- лесных биотехнологий (микрочлониальное размножение древесных и кустарниковых растений *in vitro*, ДНК-диагностика, ДНК-маркирование и получение биопрепаратов);

- плантационного лесовыращивания;

- экономического обоснования и расчёта экономической эффективности создания и эксплуатации лесных плантаций различного целевого назначения.

Участники конференции высказались за целесообразность регулярного проведения научных форумов по обмену научно-технической информацией в области лесных биотехнологий для создания отечественного плантационного лесовыращивания.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

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

«**Лесное хозяйство**» – 06.03.01 Лесные культуры, селекция, семеноводство; 06.03.02 Лесоведение и лесоводство, лесостроительство и лесная таксация; 06.03.03 Агроресомелиорация 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, технологии и оборудование деревопереработки; 05.23.11 Проектирование и строительство дорог.

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

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

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

Требования к оригиналам предоставляемых работ

Структура научной статьи

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

Требования к оформлению статьи

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

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

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

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

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

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

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

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

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

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

К статье прилагаются следующие **документы**: авторское заявление с указанием рубрики журнала; 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>