

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал
№ 1 ' 2018 Том 22

Главный редактор

Санаев Виктор Георгиевич, проф., д-р техн. наук, директор
Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Редакционный совет журнала

Артамонов Дмитрий Владимирович, проф., д-р техн. наук,
Пензенский ГУ, Пенза

Ашраф Дарвиш, ассоциированный профессор, факультет
компьютерных наук, Университет Хелуан, Каир, Египет,
Исследовательские лаборатории Machine Intelligence
(MIR Labs), США

Беляев Михаил Юрьевич, д-р техн. наук, начальник отдела,
зам. руководителя НТЦ РКК «Энергия» им. С.П. Королева,
Москва

Бемманн Альбрехт, проф., Дрезденский технический
университет, Институт профессуры для стран Восточной
Европы, Германия

Драпалюк Михаил Валентинович, профессор, д-р техн. наук,
проректор по науке и инновациям ФГБОУ ВПО «ВГЛТА»,
Воронеж

Евдокимов Юрий Михайлович, профессор, канд. хим. наук;
академик Нью-Йоркской академии наук, чл.-корр. РАЕН, член
центрального правления Нанотехнологического общества
России, Москва

Залесов Сергей Вениаминович, проф., д-р с.-х. наук, УГЛТУ,
Екатеринбург

Запруднов Вячеслав Ильич, проф., д-р техн. наук,
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Иванкин Андрей Николаевич, профессор, д-р хим. наук,
академик МАНВШ, Мытищинский филиал
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Исаев Александр Сергеевич, академик РАН, Международный
институт леса, Москва

Карелайнен Тимо, проф., Университет Восточной Финляндии
г. Йюэнсуу, Лесной НИИ «Метла», Финляндия

Кирюхин Дмитрий Павлович, д-р хим. наук, ИПХФ РАН,
Черноголовка

Классен Николай Владимирович, канд. физ.-мат. наук,
ИФТТ РАН, Черноголовка

Кожухов Николай Иванович, академик РАН, проф.,
д-р экон. наук, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Москва

Козлов Александр Ильич, канд. техн. наук, ученый секретарь
Совета ОАО «НПО ИТ», Королев

Комаров Евгений Геннадиевич, проф., д-р техн. наук,
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Корольков Анатолий Владимирович, проф., д-р физ.-мат. наук,
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Кох Нильс Элерс, проф., д-р агрономии в области лесной
политики, Президент IUFRO, Центр лесного и ландшафтного
планирования университета, г. Копенгаген, Дания

Кротт Макс, проф., специализация «Лесная политика»,
Георг-Аугуст-Университет, Геттинген

Леонтьев Александр Иванович, академик РАН, проф.,
д-р техн. наук, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Липаткин Владимир Александрович, проф., канд. биол. наук,
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Мартынюк Александр Александрович, д-р с.-х. наук,
ФБУ ВНИИЛМ, Москва

Мелехов Владимир Иванович, проф., д-р техн. наук, академик
РАЕН, САФУ им. М. В. Ломоносова, Архангельск

Моисеев Николай Александрович, академик РАН, проф.,
д-р с.-х. наук, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Нимц Петер, проф. физики древесины, д-р инж. наук,
Швейцарская высшая техническая школа Цюриха

Обливин Александр Николаевич, проф., д-р техн. наук,
академик РАЕН, МАНВШ, заслуженный деятель науки и
техники РФ, МГТУ им. Н.Э. Баумана Москва

Полещук Ольга Митрофановна, проф., д-р техн. наук,
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Родин Сергей Анатольевич, проф., д-р с.-х. наук, академик РАН,
ВНИИЛМ, Москва

Рыкунин Станислав Николаевич, проф., д-р техн. наук,
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Стрекалов Александр Федорович, канд. техн. наук, РКК
«Энергия», ЗАО «ЗЭМ», Королев

Теодоронский Владимир Сергеевич, проф., д-р с.-х. наук,
академик РАЕН, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Москва

Титов Анатолий Матвеевич, канд. техн. наук, зам. начальника
отделения, ученый секретарь Совета ЦУП ЦНИИМАШ, Королев

Федотов Геннадий Николаевич, д-р биол. наук,
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Чубинский Анатолий Николаевич, проф., д-р техн. наук,
СПбГЛТУ, Санкт-Петербург

Шадрин Анатолий Александрович, проф., д-р техн. наук,
академик РАЕН, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Москва

Шимкович Дмитрий Григорьевич, проф., д-р техн. наук,
ООО «Кудесник», Москва

Ответственный секретарь Расава Елена Александровна

Редактор Л.В. Забродина
Перевод М.А. Карпухиной
Электронная версия Е.В. Жуковой

Учредитель МГТУ им. Н.Э. Баумана

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,

информационных технологий и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-68118 от 21.12.2016

Входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов

соискателей ученых степеней

Материалы настоящего журнала могут быть перепечатаны и воспроизведены

полностью или частично с письменного разрешения издательства

Выходит с 1997 года

Адрес редакции и издательства
141005, Мытищи-5, Московская обл.,
1-я Институтская, 1
(498) 687-41-33,
les-vest@mgul.ac.ru

Дата выхода в свет 19.03.2018.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 14,38 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information journal
№ 1 ' 2018 Vol. 22

Editor-in-chief

Sanaev Victor Georgievich, professor, Dr.Sci.(Tech.), director of BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Editorial council of the journal

Artamonov Dmitriy Vladimirovich, Professor, Dr.Sci.(Tech.), Penza State

Ashraf Darwish, Associate Professor of Computer Science, Faculty of Computer Science, Helwan University, Cairo, Egypt, Machine Intelligence Research Labs (MIR Labs), USA

Belyaev Mikhail Yur'evich, Dr.Sci.(Tech), Head of Department, Deputy Director of S.P. Korolev RSC «Energia», Moscow

Bemman Al'brekht, professor, the Dresden technical university, professorate Institute for countries of Eastern Europe, Germany

Deglise Xavier, Prof. Universite de Lorraine, LERMaB, Academician IAWS, Academician of the French Academy of Agriculture, France

Drapalyuk Mikhail Valentinovich, professor, Dr.Sci.(Tech), Vice-Rector for Science and Innovation Voronezh State Academy of Forestry, Voronezh

Evdokimov Yuriy Mikhaylovich, professor, Ph.D.(Chemical); academician of the New York Academy of Sciences, corr.

Academy of Natural Sciences, a member of the Central Board of Nanotechnology Society of Russia, Moscow

Zalesov Sergey Veniaminovich, professor, the Dr.Sci.(Agricultural), USFEU, Ekaterinburg

Zaprudnov Vyacheslav Il'ich, professor, Dr.Sci.(Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Ivankin Andrey Nikolaevich, professor, Dr.Sci.(Chemical), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Isaev Aleksandr Sergeevich, academician of the Russian Academy of Sciences, International institute of the wood, Moscow

Karjalainen Timo, professor, university of East Finland Joensuu, forest scientific research institute «Metla», Finland

Kiryukhin Dmitriy Pavlovich, Dr.Sci.(Chemical), IPCP RAS, Chernogolovka

Klassen Nikolay Vladimirovich, Ph.D.(Phys.-Math.), ISSP RAS, Chernogolovka

Kozhukhov Nikolay Ivanovich, professor, academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sci.(Econ.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Kozlov Aleksandr Il'ich, Ph.D.(Tech), Scientific Secretary of the Board of «NPO IT», Korolev

Komarov Evgeniy Gennadievich, professor, Dr.Sci.(Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Korol'kov Anatoliy Vladimirovich, professor, Dr.Sci.(Phys.-Math.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Kokh Nil's Elers, professor, the Dr. of agronomics in the field of forest policy, the President of IUFRO, the Center of forest and landscape planning of university Copenhagen, Denmark

Krott Maks, professor of Forest policy specialization, George-August-Universitet, Goettingen

Leont'ev Aleksandr Ivanovich, academician of the Russian Academy of Sciences, professor, Dr.Sci.(Tech.), BMSTU, Moscow

Lipatkin Vladimir Aleksandrovich, professor, Ph.D.(Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Martynyuk Aleksandr Aleksandrovich, Dr.Sci.(Agricultural), VNIILM, Moscow

Melekhov Vladimir Ivanovich, professor, Dr.Sci.(Tech.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, NARFU, Arkhangelsk

Moiseev Nikolay Aleksandrovich, professor, Dr.Sci. (Agricultural) academician of the Russian Academy of Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Niemz Peter, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c., Prof. for Wood Physics, ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology in Zurich;

Eidgenossische Technische Hochschule Zurich)

Oblivin Aleksandr Nikolaevich, professor, Dr.Sci.(Tech.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences and MANVSh, Honored worker of science and equipment of the Russian Federation, BMSTU, Moscow

Pastori Zoltan, Ph.D., Director of Innovation Center, University of Sopron, Hungary

Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna, professor, Dr.Sci.(Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Rodin Sergey Anatol'evich, professor, the Dr.Sci.(Agricultural), ARRISMF, Moscow

Rykunin Stanislav Nikolaevich, professor, Dr.Sci.(Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Strekalov Aleksandr Fedorovich, Ph.D.(Tech.), Rocket and space corporation «ENERGIA», Korolev

Teodoronskiy Vladimir Sergeevich, professor, Dr.Sci.(Agricultural), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Titov Anatoliy Matveevich, Ph.D.(Tech.), Deputy Chief of Department, Scientific Secretary of the Board of MCC TSNIMASH, Korolev

Fedotov Gennadiy Nikolaevich, Dr.Sci.(Biol.), Lomonosov Moscow State University, Moscow

Chubinskiy Anatoliy Nikolaevich, professor, Dr.Sci.(Tech.), Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg

Shadrin Anatoliy Aleksandrovich, professor, Dr.Sci.(Tech.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Shimkovich Dmitriy Grigor'evich, professor, Dr.Sci.(Tech.), OOO «Kudesnik», Moscow

Assistant Editor Raseva Elena Aleksandrovna

Editor L.V. Zabrodina

Translation by M.A. Karpukhina

Electronic version E.V. Zhukova

Founder BMSTU

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media Certificate on registration ПИ № ФС 77-68118 of 21.12.2016

The journal is included in the list of approved VAK of the Russian Federation for editions for the publication of works of competitors of scientific degrees

Materials of the present magazine can be reprinted and reproduced fully or partly with the written permission of publishing house

It has been published since 1997

Publishing house
141005, Mytishchi, Moscow Region, Russia
1st Institut'skaya street, 1
(498) 687-41-33
les-vest@mgul.ac.ru

It is sent for the press 19.03.2018.
Circulation 600 copies
Order №
Volume 14,28 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Тарханов С.Н., Аганина Ю.Е., Пахов А.С.

Сезонная изменчивость биохимических показателей и поврежденность разных форм сосны обыкновенной в условиях постоянного избыточного увлажнения почв северной тайги 5

Вавилов С.В., Антонов О.И., Соколовский И.А.

Особенности таксационной структуры древостоев ели и сосны искусственного происхождения..... 13

Залесов С.В., Осипенко А.Е.

Густота естественных и искусственных сосняков в ленточных борах Алтайского края 19

Белов А.А.

Индивидуальная изменчивость годичных колец сосны обыкновенной в древостое, загрязненном радионуклидами 24

Полещук О.М., Васильев С.Б.

Нейронечеткая модель для прогноза семеношения лесных культур в условиях техногенных ландшафтов 31

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Демин В.В.

Уточнение представлений о механизме биологической активности гуминовых препаратов 36

Мигунова Е.С.

О необходимости изучения почв при проведении лесоводственных и агролесомелиоративных исследований 43

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Бобылева О.Н., Бочкова И.Ю.

К вопросу о цветочном оформлении территории монастырей 52

Белкин А.Н., Дормидонтов В.В.

Зачем Парижу Promenade plantée 58

Щербаков С.А.

Растения в художественном пространстве лирики Николая Рубцова 64

ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Добрецов Р.Ю., Григорьев И.В.

Квазибесступенчатые трансмиссии для лесных гусеничных машин 68

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д.

Модифицирование гидролизного лигнина продуктами микелиза древесины 78

Кирсанкин А.А., Михалева М.Г., Политенкова Г.Г., Никольский С.Н., Стовбун С.В.

Изучение топографии материалов на целлюлозной основе методом атомно-силовой микроскопии 84

Ермоченков М.Г., Евстигнеев А.Г.

Изменение прочностных свойств древесины при термическом модифицировании 94

Адамия А.М., Гренц Н.В., Соболев А.В.

Физические свойства поризованного арболита, содержащего вспученный полистирольный гравий 100

Сердюкова Ю.В., Тарасов С.М., Прошина О.П., Олиференко Г.Л.,

Беляков В.А., Фадеев Г.Н., Иванкин А.Н.

Химическая подготовка бакалавриата для лесных специальностей. Мировой опыт в сопоставлении университетов США и России 105

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Шипов Н.В.

К вопросу о равномерно равносходящихся рядах Фурье 112

CONTENTS

BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

Tarkhanov S.N., Aganina Yu.E., Pakhov A.S.

Seasonal variability of biochemical characteristics and a defect in the needles of different forms of *Pinus sylvestris* under stress conditions in the northern taiga 5

Vavilov S.V., Antonov O.I., Sokolovskiy I.A.

Features of the taxonomic structure of spruce and pine stands of artificial origin 13

Zalesov S.V., Osipenko A.E.

Density of natural and artificial pine forests in ribbon forests of the Altai territory 19

Belov A.A.

The individual variability of Scotch pine annual rings in forest stand contaminated with radionuclide 24

Poleshchuk O.M., Vasil'ev S.B.

Neuro-fuzzy model for the prediction of forest reproduction in conditions of technogenic landscapes 31

SOIL SCIENCE

Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P., Demin V.V.

Enhancement of representations about biological activity mechanism of humin preparations 36

Migunova E.S.

On necessity of study of soils in the conduct of forestry and agroforestry researches 43

LANDSCAPE ARCHITECTURE

Bobyleva O.N., Bochkova I.Yu.

On the question of the flower design of the monastery territory 52

Belkin A.N., Dormidontova V.V.

What is Promenade plantée for Paris 58

Shcherbakov S.A.

Plants in the artistic space of Nikolay Rubtsov's lyric poetry 64

FOREST ENGINEERING

Dobretsov R.Yu., Grigor'ev I.V.

Pseudo variable powertrain for tracked forest vehicles..... 68

CHEMICAL PROCESSING OF WOOD

Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V., Zaytsev V.D.

Modification of hydrolysis lignin by products of wood mycoliosis 78

Kirsankin A.A., Mikhaleva M.G., Politenkova G.G., Nikolskiy S.N., Stovbun S.V.

Studying the topography of materials on cellulose basis using atomic force microscopy 84

Ermochenkov M.G., Evstigneev A.G.

Change of wood properties in thermal modification 94

Adamiya A.M., Grents N.V., Sobolev A.V.

Physical properties of pored wood concrete containing expanded polystyrene gravel 100

Serdyukova Yu.V., Tarasov S.M., Proshina O.P., Oliferenko G.L.,

Belyakov V.A., Fadeev G.N., Ivankin A.N.

Chemistry preparation to get bachelor's degree in forestry. World experience in comparison of universities of the USA and Russia 105

MATH MODELING

Shipov N.V.

About evenly equiconverged Fourier series 112

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ПОВРЕЖДЕННОСТЬ РАЗНЫХ ФОРМ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ПОСТОЯННОГО ИЗБЫТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ

С.Н. Тарханов, Ю.Е. Аганина, А.С. Пахов

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Российской академии наук, 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23

julja-a30@rambler.ru

Исследована сезонная динамика биохимических показателей хвои в вегетационный период 2014 г. у форм сосны обыкновенной, различающихся типом апофиза семенных чешуй (*f. plana*, *f. gibba*), в условиях длительного избыточного увлажнения почв северной тайги в устье Северной Двины. Дана оценка степени повреждения и потери хвои на побегах разного возраста, а также оценка состояния деревьев в целом. В северной тайге устья Северной Двины сосна с выпуклым типом апофиза семенных чешуй в возрасте 60–80 лет в среднем характеризуется меньшей степенью повреждения и потери хвои, чем форма с плоским типом апофиза. Деревья сосны с «плоским» типом апофиза имеют более высокий индекс повреждения. Сентябрь 2014 г. отличался более высокой температурой по сравнению со среднемноголетними данными. В связи с этим синтез хлорофиллов продолжался осенью и происходила стабилизация накопления пролина. Увеличение содержания аскорбиновой кислоты и активности пероксидазы осенью свидетельствует об окислительном стрессе. В этот период наблюдается повышение содержания протекторных соединений — каротиноидов и стрессовых белков. Установлено сходство в характере сезонной изменчивости биохимических показателей у разных форм сосны на верховых торфяных почвах. В то же время выявлено, что в начале линейного роста побегов сосна с выпуклым типом апофиза имеет более высокие показатели концентрации аскорбиновой кислоты и активности пероксидазы, а в конце периода вегетации — большее содержание фотосинтетических пигментов по сравнению с формой с плоским типом. Это, вероятно, обусловлено наследственными особенностями данных форм.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, формы, поврежденность, сезонная динамика, биохимические показатели, избыточное увлажнение, устье Северной Двины

Ссылка для цитирования: Тарханов С.Н., Аганина Ю.Е., Пахов А.С. Сезонная изменчивость биохимических показателей и поврежденность разных форм сосны обыкновенной в условиях постоянного избыточного увлажнения почв северной тайги // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 5–12. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-5-12

Сосна имеет способность к формированию устойчивых насаждений в условиях постоянного избыточного увлажнения почв. Длительное избыточное увлажнение почв приводит к корневой гипоксии и гипотермии. В условиях недостатка кислорода деревья испытывают хронический стресс, который сопровождается нарушением окислительно-восстановительного баланса клеток, усилением процесса разложения молекул полимеров. Такие изменения влекут за собой активацию главного механизма адаптации организма — синтеза протекторных соединений (свободных аминокислот, стрессовых белков), витаминов, окислительных ферментов, а также других биохимических факторов, повышающих ассимиляционную активность и защитные свойства разных форм сосны. Хлорозы и некрозы, продолжительность жизни хвои являются признаками, характеризующими состояние ассимилирующих органов на морфологическом уровне. Наблюдаются как сезонные, так и возрастные изменения цвета хвои и ее потеря в период онтогенеза. Влияние стрессовых факторов в условиях

постоянного избыточного увлажнения может вызывать процессы преждевременной дехромации и дефолиации кроны, что приводит к раннему старению и гибели деревьев. Сведения об индивидуальной изменчивости и сравнительных биохимических характеристиках состояния разных форм сосны в стрессовых условиях северной тайги недостаточны [1, 2].

Цель работы

Цель работы — исследовать сезонную динамику биохимических показателей хвои в вегетационный период 2014 года у форм сосны обыкновенной, различающихся типом апофиза семенных чешуй (*f. plana*, *f. gibba*), в условиях длительного избыточного увлажнения почв северной тайги в устье Северной Двины; дать оценку степени повреждения и потери хвои на побегах разного возраста и состояния деревьев в целом.

Материалы и методы

Исследования проведены в северотаежных кустарничко-сфагновых сосняках на болотных вер-

ховых торфяных почвах устья Северной Двины. Опытные участки расположены на территории, относящейся к Печорско-Онежской провинции олиготрофных грядово-мочажинных торфяников. Торф имеет низкую степень разложения, сильно-кислую реакцию среды (рН солевой суспензии 2,6–3,2), очень низкую степень насыщенности основаниями (11...14 %), а в верхних горизонтах — низкую объемную массу, высокую полевою влажность, близкую к полной влагоемкости (90...94 %).

На постоянных пробных площадях были выявлены разные формы сосны на основе генетически обусловленного стабильного фенотипического маркера – формы апофиза семенных чешуй. Выборки были представлены деревьями с выпуклой (*f. gibba*) и плоской (*f. plana*) формой апофиза семенных чешуй [3]. Поврежденность ассимиляционного аппарата определяли у 91–155 деревьев каждой формы. Степень потери хвои оценивали по стандартной методике, разработанной Европейской экономической комиссией (UN-ECE) для стран Европы [4], а повреждения хвои — по шкале, предложенной В.Т. Ярмишко [5]. Поврежденность деревьев в целом оценивали визуально по стандартной шкале [6]. Рассчитывали индекс повреждения (для выборок деревьев разных форм) по формуле, приведенной в [7]. Для изучения сезонной динамики этих признаков на одних и тех же деревьях проводили отбор образцов в начале роста побегов (первая декада июня), в период завершения линейного роста (вторая декада июля) и осенью, в конце вегетационного периода (третья декада сентября). В лабораторных условиях фотометрическим методом определяли содержание в образцах однолетней хвои фотосинтетических пигментов [8], свободного

пролина [9], стрессовых белков [10], аскорбиновой кислоты [11], активность пероксидазы [12]. Уровни изменчивости признаков оценивали по эмпирической шкале С.А. Мамаева [13]. При сравнении одноименных признаков и свойств использовали *F*-критерий Фишера и *t*-критерий Стьюдента. Температуру воздуха и количество осадков определяли по данным метеостанции г. Архангельска.

Результаты и обсуждение

Появление хлоротических зон, приуроченных обычно к верхушечной части, а также микроскопических пятен некрозов вследствие окисления фенолов наблюдаются уже на однолетних побегах. С возрастом степень повреждения хвои у деревьев с плоским типом апофиза семенных чешуй в среднем увеличивается (от 1,3 в однолетнем возрасте до 2,3 в пятилетнем) (рис. 1).

В выборках деревьев сосны с выпуклой формой апофиза степень повреждения хвои разных возрастов в среднем несколько ниже, кроме пятилетнего возраста. В связи со значительной потерей хвои у формы с «плоским» типом апофиза на пятилетних побегах остается более жизнеспособная хвоя с меньшей степенью повреждения. В целом степень повреждения хвои у разных форм колеблется от почти здоровой в однолетнем возрасте до умеренно поврежденной в пятилетнем возрасте. Более интенсивная потеря хвои на побегах наблюдается в четырех-пятилетнем возрасте, т. е. повреждается относительно старая хвоя. У деревьев с плоской формой апофиза категория потери хвои в этом возрасте в среднем составляет 1,8...3,0 балла, а с выпуклой формой — 1,8...2,8 балла (от слабой до сильной степени). Начиная с трехлетнего возраста более значительная поте-

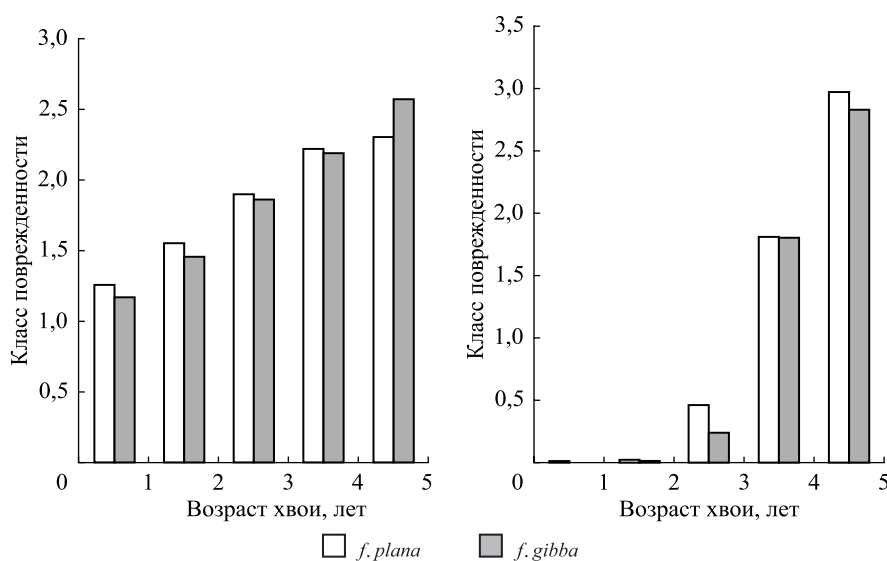


Рис. 1. Класс поврежденности и категории потери хвои
Fig. 1. Grade of chlorotic decline, canker and needle cast

ря хвои характерна для сосны с плоским типом апофиза. В трех- и пятилетнем возрасте хвои эти различия достоверны ($t = 2,1$ и $2,3$ соответственно; $t_{0,05} = 2,0$). В одно-трехлетнем возрасте потери хвои почти не происходит (она близка к нулевому баллу). По предельной продолжительности хвои эти формы существенно не различаются (в среднем 4,3–4,4 года).

Средняя величина индекса повреждения деревьев значительно выше в выборках деревьев сосны с плоским апофизом ($I = 2,0$) по сравнению с сосной с выпуклой формой апофиза ($I = 1,9$). Хотя по этим индексам их можно отнести к категориям здоровых и слабоповрежденных деревьев, различия статистически достоверны ($t = 2,1$; $t_{0,05} = 2,0$) [14]. Однофакторный дисперсионный анализ подтверждает зависимость индекса повреждения от формы деревьев с разным типом апофиза ($F = 4,39$; $F_{0,05} = 3,88$).

Причиной морфологических изменений является перестройка метаболизма [15]. Когда нарушения физиолого-морфологических процессов становятся необратимыми, происходит развитие так называемых «видимых» симптомов повреждения (хлорозов и некрозов хвои) [16]. Деревья разных форм могут сильно различаться по содержанию фотосинтетических пигментов, стрессовых метаболитов и пероксидазной активности из-за неодинаковых диапазонов нормы их реакции на воздействия среды. Содержание и состав фотосинтетических пигментов являются показателями основного метаболизма растений. Процессы ассимиляции в первую очередь связаны с фотосинтезом, а значит, и с пигментным аппаратом. В период вегетации 2014 г. в пределах выборок форм сосны с плоским и выпуклым типом апофиза уровень индивидуальной изменчивости концентрации хлорофиллов и каротиноидов в однолетней хвое колеблется от среднего до высокого ($C.V. = 12...32\%$). При этом коэффициенты вариации содержания фотосинтетических пигментов в разные календарные периоды могут значительно отличаться друг от друга (см. таблицу). Уровень индивидуальной изменчивости активности пероксидазы в однолетней хвое высокий и очень высокий ($C.V. = 21...43\%$), причем у сосны с выпуклым типом апофиза коэффициенты вариации существенно больше (F -критерий, $p < 0,05$). То же можно отметить и в отношении содержания аскорбиновой кислоты ($C.V. = 13...39\%$; F -критерий, $p < 0,05$). Уровень индивидуальной изменчивости содержания свободного пролина в вегетационный сезон 2014 г. также высокий и очень высокий ($C.V. = 21...48\%$). Содержание стрессовых белков характеризуется очень высоким уровнем индивидуальной изменчивости ($C.V. = 45...94\%$). Уровни индивидуальной вари-

абельности биохимических показателей в течение сезона могут различаться (F -критерий, $p < 0,05$).

Сезонная ритмичность физиолого-биохимических процессов влияет на устойчивость сосны к воздействию внешних факторов и может иметь решающее значение при адаптации. Установлены существенные различия (t -критерий, $p < 0,05$) в сезонной динамике (между датами отбора образцов хвои с одних и тех же деревьев с различным типом апофиза) содержания хлорофиллов и каротиноидов, свободного пролина, стрессовых

Т а б л и ц а

Изменчивость биохимических показателей у разных форм в популяции сосны
Variability of biochemical indicators of *f. plana* and *f. gibba*

| Показатель | Хл | К | А | П | Б | АК |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|--------|
| <i>f. plana</i> | | | | | | |
| I декада июня | | | | | | |
| min | 0,676 | 0,110 | 9,6 | 91,6 | 5,5 | 1234,8 |
| max | 1,113 | 0,231 | 25,9 | 409,0 | 210,0 | 3978,1 |
| <i>C.V.</i> , % | 15,3 | 24,0 | 28,4 | 47,7 | 58,8 | 29,3 |
| II декада июля | | | | | | |
| min | 0,733 | 0,109 | 12,1 | 82,6 | 18,7 | 1658,8 |
| max | 1,463 | 0,277 | 26,4 | 209,0 | 199,5 | 5930,2 |
| <i>C.V.</i> , % | 25,8 | 32,0 | 20,7 | 33,4 | 75,5 | 39,4 |
| III декада сентября | | | | | | |
| min | 0,800 | 0,242 | 29,7 | 71,1 | 50,7 | 3324,9 |
| max | 2,034 | 0,426 | 62,7 | 203,6 | 333,3 | 6914,6 |
| <i>C.V.</i> , % | 24,7 | 16,9 | 25,2 | 29,5 | 49,3 | 30,8 |
| <i>f. gibba</i> | | | | | | |
| I декада июня | | | | | | |
| min | 0,526 | 0,094 | 12,3 | 120,0 | 27,6 | 3260,9 |
| max | 1,042 | 0,168 | 35,8 | 321,6 | 187,9 | 4657,7 |
| <i>C.V.</i> , % | 17,0 | 18,0 | 38,4 | 28,9 | 45,3 | 12,7 |
| II декада июля | | | | | | |
| min | 0,783 | 0,123 | 14,2 | 95,8 | 12,5 | 2371,6 |
| max | 1,946 | 0,245 | 44,8 | 280,0 | 286,8 | 4662,9 |
| <i>C.V.</i> , % | 30,5 | 21,8 | 42,8 | 36,5 | 93,5 | 25,8 |
| III декада сентября | | | | | | |
| min | 1,160 | 0,257 | 26,5 | 116,3 | 14,5 | 2886,5 |
| max | 1,760 | 0,386 | 66,4 | 227,0 | 355,0 | 6931,6 |
| <i>C.V.</i> , % | 13,7 | 11,7 | 32,4 | 21,4 | 75,8 | 30,9 |
| <i>Примечание.</i> Хл — содержание хлорофиллов «a» и «b», мг/г воздушно-сухой массы хвои; К — содержание каротиноидов, мг/г воздушно-сухой массы хвои; А — активность пероксидазы, усл. ед.; П — содержание пролина, мкг/г воздушно-сухой массы хвои; Б — содержание стрессовых белков, мкг/г воздушно-сухой массы хвои; АК — содержание аскорбиновой кислоты, мкг/г воздушно-сухой массы. | | | | | | |

белков, аскорбиновой кислоты, активности пероксидазы (рис. 2).

Влияние сезонной изменчивости на динамику содержания фотосинтетических пигментов, свободного пролина, стрессовых белков, аскорбиновой кислоты и активности пероксидазы подтверждается результатами однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа (F -критерий, $p < 0,05$).

Содержание и состав фотосинтетических пигментов — показатели основного метаболизма растений. Изменения в их содержании могут служить критерием устойчивости вида к стрессовым условиям. В конце периода вегетации были выявлены достоверные различия концентрации фотосинтетических пигментов в однолетней хвое у деревьев с разным типом апофиза семенных чешуй (t -критерий, $p < 0,05$). У сосны с выпуклой формой апофиза семенных чешуй в данный пе-

риод показатель выше. Увеличение содержания пигментов может быть связано с накоплением продуктов окисления углеводов — органических кислот цикла Кребса и продуктов гидролиза белков, необходимых для синтеза пигментов [17]. В результате образования пигментов развиваются защитно-приспособительные реакции сосны [18]. В сентябре 2014 г. температура воздуха в районе исследований была значительно выше ($t = 10,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) по сравнению со среднегодовыми данными ($t = 7,9\text{ }^{\circ}\text{C}$). В связи с этим накопление хлорофиллов продолжалось до осени. Осенью резко повышается концентрация каротиноидов. Каротиноиды играют важную роль в процессе фотосинтеза, выполняя функции светосборников и фитопротекторов [19]. Значительное увеличение содержания каротиноидов осенью рассматривается как адаптивная реакция, направленная на повышение устойчивости фотосинтетического

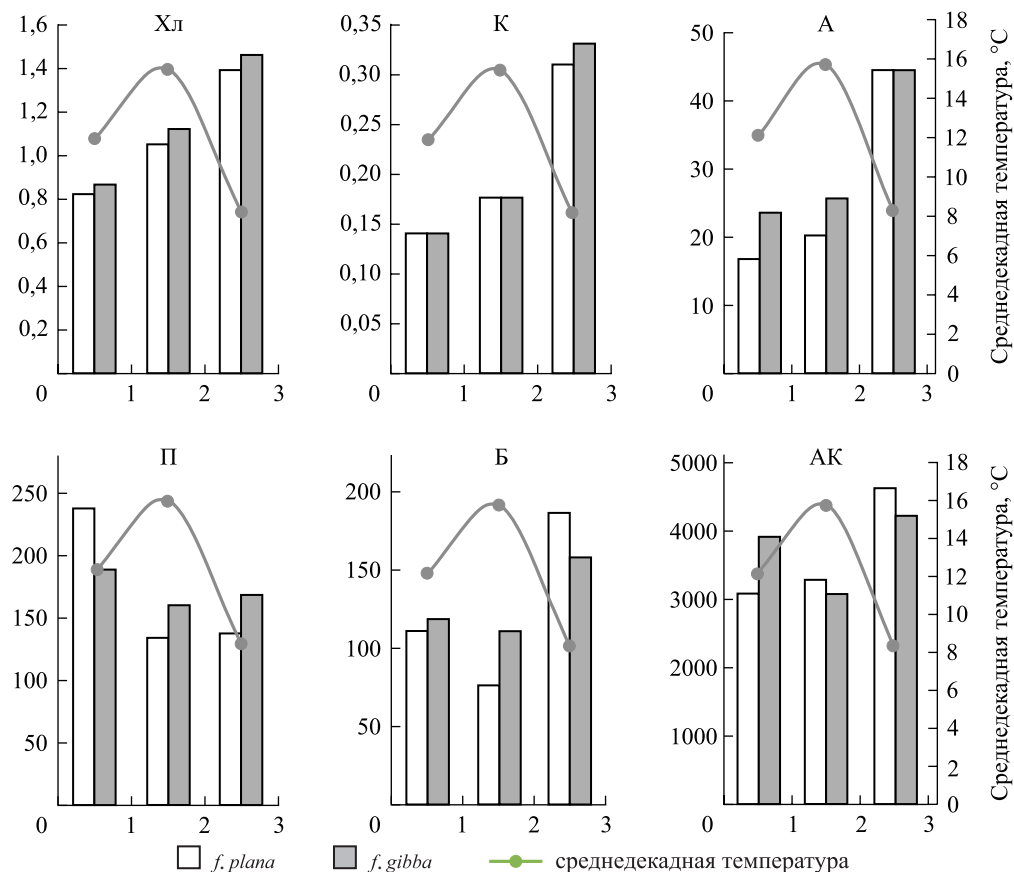


Рис. 2. Динамика биохимических характеристик хвои сосны с разным типом апофиза семенных чешуй: 1 — I декада июня; 2 — II декада июля; 3 — III декада сентября; Хл — содержание хлорофиллов «а» и «б», мг/г воздушно-сухой массы хвои; К — содержание каротиноидов, мг/г воздушно-сухой массы хвои; А — активность пероксидазы, усл. ед.; П — содержание пролина, мкг/г воздушно-сухой массы хвои; Б — содержание стрессовых белков, мкг/г воздушно-сухой массы хвои; АК — содержание аскорбиновой кислоты, мкг/г воздушно-сухой массы

Fig. 2. Dynamics of biochemical indicators of *f. plana* and *f. gibba*: 1 — I third of June; 2 — II third of July; 3 — III third of September; Хл — the content of chlorophylls «a» and «b», mg/g of air-dry weight of needles; К — content of carotenoids, mg/g air-dry weight of needles; А — peroxidase activity, cond. units; П — the content of proline, mcg/g of air-dry mass of needles; Б — the content of stress proteins, mcg/g of air-dry mass of needles; АК — the content of ascorbic acid, mcg/g of air-dry mass

аппарата, предотвращение фотодинамической деструкции. У сосны с выпуклой формой апофиза эта реакция имеет более выраженный характер.

Повышение или снижение уровня активности ферментов в клетках может быть обусловлено изменениями скорости биосинтеза и продолжительности их биологического времени жизни, а также изменением физико-химических свойств ферментов [20]. Активацию гидролитических ферментов относят к числу признаков неспецифической составляющей стресса у растений [21]. Пероксидазы — ключевые ферменты окислительно-восстановительных процессов, быстро реагирующие на любые воздействия, оказываемые на растительный организм, а также на различные нарушения метаболизма повышением своей активности [22]. Они рассматриваются как приспособительные ферменты при кислородном голодании у растений [23]. Существенное снижение температуры ($t = 8,3$ °C) и увеличение количества осадков (30,3 мм) в сентябре по сравнению с летним периодом привело к активации окислительных ферментов, и пероксидазная активность у деревьев сосны увеличилась почти в 2 раза. Это можно рассматривать как защитную реакцию, препятствующую развитию неконтролируемых окислительных процессов в стрессовых условиях.

В процессе адаптации *P. sylvestris* к стрессовым условиям происходит формирование изоэнзимов — стрессовых белков [24–26]. Снижению количества стрессовых белков в июле способствовала теплая и сухая погода ($t = 15,7$ °C, количество осадков 8,0 мм). Осенью наблюдалось повышение этих метаболитов в 1,5 раза, что, возможно, привело к существенному уменьшению концентрации свободного пролина, который служит строительным материалом для молекул белков. Содержание свободного пролина в хвое с начала роста побегов к концу периода вегетации уменьшается. Накопление пролина в хвое деревьев весной, когда наблюдается повышение уровня почвенно-грунтовых вод, обусловлено недостатком кислорода в тканях вследствие корневой гипоксии. Более благоприятные погодные условия в летний и осенний период способствовали стабилизации процесса накопления пролина у сосны на избыточно увлажненных почвах.

Аскорбиновая кислота (витамин С) наряду с другими соединениями участвует в регуляции окислительно-восстановительного потенциала, с которым связана активность многих ферментов и физиолого-биохимических реакций, в том числе и таких жизненно необходимых, как фотосинтез и дыхание. Ее содержание тесно связано с условиями произрастания и физиологическим состоянием растений [27]. Концентрация аскорбиновой

кислоты также существенно повышается в конце сентября, поскольку происходит накопление этого витамина перед перезимовкой. Аскорбиновая кислота выступает в роли антиоксиданта растительных клеток при воздействии стрессовых факторов.

Заключение

В северной тайге устья Северной Двины сосна с выпуклым типом апофиза семенных чешуй в возрасте 60–80 лет в среднем характеризуется меньшей степенью повреждения и потери хвои по сравнению с формой с плоским типом апофиза. Деревья сосны с плоским типом апофиза имеют более высокий индекс повреждения. В начале линейного роста побегов сосна с выпуклым типом апофиза имеет более высокие показатели концентрации аскорбиновой кислоты и активности пероксидазы, а в конце периода вегетации — большее содержание фотосинтетических пигментов по сравнению с формой с плоским типом. Теплый сентябрь способствует продлению периода накопления хлорофиллов до осени и стабилизации концентрации пролина в июле–сентябре у сосны на избыточно увлажненных почвах. Осенью происходит накопление таких фитопротекторов, как каротиноиды и стрессовые белки. В этот период наблюдается существенное повышение активности пероксидазы и концентрации аскорбиновой кислоты в хвое у обеих форм сосны, что можно рассматривать как защитную реакцию, препятствующую развитию неконтролируемых окислительных процессов. Это подтверждает правомерность ранее сделанных выводов об общем сходстве в сезонной динамике биохимических процессов у наследственных форм сосны в стрессовых условиях [2].

Исследования выполнены в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова РАН (проект № 0409-2014-0125).

Список литературы

- [1] Теребова Е.М., Галибина Н.А., Сазонова Т.А., Таланова Т.Ю. Индивидуальная изменчивость метаболических показателей ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения // Лесоведение, 2003. № 1. С. 73–77.
- [2] Тарханов С.Н., Бирюков С.Ю. Морфоструктура и изменчивость биохимических признаков популяций сосны (*Pinus sylvestris* L.) в стрессовых условиях устья Северной Двины // Сибирский экологический журнал, 2014. № 2. С. 319–327.
- [3] Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 191 с.

- [4] Hanisch B., Kilz E. Waldschaden erkennen Fichte und Kiefer. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 1990. 334 p.
- [5] Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: НИИ химии СПбУ, 1997. 210 с.
- [6] Санитарные правила в лесах РФ. Утв. МПР РФ 05.04.06. М., 2006. 22 с.
- [7] Цветков В.Ф., Цветков И.В. Леса в условиях аэротехногенного загрязнения. Архангельск: Соломбальская тип., 2003. 354 с.
- [8] Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биологические методы в физиологии растений; под ред. О.А. Павлиновой. М.: Наука, 1971. С. 154–170.
- [9] Bates L.S., Waldren R.P., Teare J.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies // Plant and Soil, 1973, v. 39, no. 1, pp. 205–206.
- [10] Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.R., Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent // J. Biol. Chem., 1951, v. 193, pp. 265–275.
- [11] Воскресенская О.Л., Алябышева Е.А., Половникова М.Г. Большой практикум по биоэкологии: учеб. пособие. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. Ч. 1. 107 с.
- [12] Бояркин А.Н. Быстрый метод определения активности пероксидазы // Биохимия, 1951. Вып. 1. № 4. С. 352–357.
- [13] Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале). М.: Наука, 1972. 284 с.
- [14] Цветков В.Ф. Методические рекомендации по оценке существующего и прогнозируемого состояния лесных насаждений в зоне влияния промышленных предприятий Мурманской области. Архангельск: АИЛиЛХ, 1990. 20 с.
- [15] Мальхотра С.С., Хан А.А. Биохимическое и физиологическое действие приоритетных загрязняющих веществ // Загрязнение воздуха и жизнь растений; под ред. М.Л. Трешоу. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. С. 144–161.
- [16] Tarkhanov S.N., Biryukov S.Yu. Influence of atmospheric pollution on the morphological parameters of the assimilation apparatus of pine and spruce in the basin of the Northern Dvina // Contemporary problems of ecology, 2012, v. 5, no. 3, pp. 300–306.
- [17] Гетко Н.В. Растения в техногенной среде. Минск: Наука и техника, 1989. 208 с.
- [18] Тарханов С.Н. Внутривидовая изменчивость биохимических признаков и повреждаемость хвои у разных форм *Pinus Sylvestris* (Pinaceae) в северотаежных сфагновых сосновых лесах при аэротехногенном загрязнении // Растительные ресурсы, 2016. Т. 52. № 4. С. 79–100.
- [19] Шуляковская Т.А., Чиненова Л.А., Шредерс С.М., Канючкова Г.К. Динамика содержания основных метаболитов в семенах сосны обыкновенной // Лесоведение, 2005. № 2. С. 53–61.
- [20] Коршиков И.И. Адаптация растений к условиям техногенного загрязнения среды. Киев: Наукова думка, 1996. 238 с.
- [21] Пятагин С.С. Стресс у растений: физиологический подход // Журнал общей биологии, 2008. Т. 69. № 4. С. 294–298.
- [22] Андреева В.А. Фермент пероксидаза. Участие в защитном механизме растений. М.: Наука, 1988. 127 с.
- [23] Gordon W.R., Henderson J.H. Isoperoxidases of (IAA oxidase) in oat coleoptiles // Canad. J. Bot., 1973, v. 51, no. 11, pp. 2047–2052.
- [24] Kontunen-Soppela S. Dehydrins in Scots pine tissues: responses to annual rhythm, low temperature and nitrogen: doctoral dissertation: defended on March 8th, 2001. Oulu: University of Oulu, 2001. 46 p.
- [25] Oliviusson P., Salaj J., Hakman I. Expression pattern of transcript encoding water channel-like protein in Norway spruce (*Picea abies*) // Plant Mol. Biol., 2001, v. 46, no. 3, pp. 289–299.
- [26] Moffatt B., Eward V., Eastman A. Cold comfort: plant antifreeze proteins // Physiologia plantarum, 2006, v. 126, no. 1, pp. 5–16.
- [27] Чупахина Г.Н., Масленников П.В. Адаптация растений к нефтяному стрессу // Экология, 2004. № 5. С. 330–335.

Сведения об авторах

Тарханов Сергей Николаевич — д-р биол. наук, заведующий лабораторией экологии популяций и сообществ Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН, tarkse@yandex.ru

Аганина Юлия Евгеньевна — аспирант, младший научный сотрудник Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН, julja-a30@rambler.ru

Пахов Александр Сергеевич — младший научный сотрудник Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН, aleksander.pakhoff@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 05.12.2017.

SEASONAL VARIABILITY OF BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND A DEFECT IN THE NEEDLES OF DIFFERENT FORMS OF *PINUS SYLVESTRIS* UNDER STRESS CONDITIONS IN THE NORTHERN TAIGA

S.N. Tarkhanov, Yu.E. Aganina, A.S. Pakhov

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, 163000, Arkhangelsk, Severnaya Dvina, emb. 23
julja-a30@rambler.ru

Research aim is study the influence of meteorologic factors on the biochemical characteristics of different forms of *Pinus sylvestris* (*f. plana*, *f. gibba*) under flooding conditions. We conducted research during the growing season of 2014. The main areas of research are Northern taiga forest ecosystems. Experimental plots are located in the lower reaches of the Northern Dvina River. We estimated the degree of damage and loss of needles on shoots of different ages and level of pinus health. *F. gibba* at the age of 60–80 years on average is characterized by a lesser degree of damage and loss of needles, compared to *f. plana*. *F. plana* have a higher damage index. The study shown that the dynamics of the content of some biochemical characteristics such as photosynthetic pigments (chlorophylls and carotenoids), proline, proteins, ascorbic acid, peroxidase activity in the pine needles depend on meteorologic factors and phenophase. *F. gibba* has a higher concentration of ascorbic acid and peroxidase activity, and at the end of the vegetative period a higher content of photosynthetic pigments than the *f. plana*. Forms with different configuration of apophysis differ in the seasonal dynamics of the content of stressful metabolites. Our results indicate that different forms of *Pinus sylvestris* L. have nuances in adaptation to stress conditions.

Keywords: *Pinus sylvestris*, forms, damage and loss of needles, seasonal dynamics, biochemical indicators, flooding conditions, Northern Dvina basin

Suggested citation: Tarkhanov S.N., Aganina Yu.E., Pakhov A.S. *Sezonnaya izmenchivost' biokhicheskikh pokazateley i povrezhdennost' raznykh form sosny obyknovennoy v usloviyakh postoyannogo izbytochnogo uvlazhneniya pochv severnoy taygi* [Seasonal variability of biochemical characteristics and a defect in the needles of different forms of *Pinus sylvestris* under stress conditions in the northern taiga]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 5–12. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-5-12

References

- [1] Terebova E.M., Galibina N.A., Sazonova T.A., Talanova T.Yu. *Individual'naya izmenchivost' metabolicheskikh pokazateley assimilyatsionnogo apparata sosny obyknovennoy v usloviyakh promyshlennogo zagryazneniya* [Individual variation in metabolic parameters of the assimilation apparatus in Scots pine under conditions of industrial pollution]. *Lesovedenie [Sylviculture]*, 2003, no. 1, pp. 73–77.
- [2] Tarkhanov S.N., Biryukov S.Yu. *Morfostruktura i izmenchivost' biokhicheskikh priznakov populyatsiy sosny (Pinus sylvestris L.) v stressovykh usloviyakh ust'ya Severnoy Dviny* [Morphostructure and variability of biochemical indicators of pine populations (*Pinus sylvestris* L.) under stress conditions in the lower reaches of the Northern Dvina River] *Contemporary problems of ecology*, 2014, no. 2, pp. 319–327.
- [3] Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Scots pine. Variability, intraspecies taxonomy and selection]. Moscow: Nauka Publ., 1964, 191 p.
- [4] Hanisch B. *Waldschaden erkennen Fichte und Kiefer*. Stuttgart, 1990, 334 p.
- [5] Yarmishko V.T. *Sosna obyknovennaya i atmosfernoe zagryaznenie na Evropeyskom Severe* [Scots pine and air pollution in the European North]. St. Petersburg: NII khimii SPbu Publ., 1997, 210 p.
- [6] *Sanitarnye pravila v lesakh RF. Urv. MPR RF 5.04.06*. [Sanitary forest regulations: approved by the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation]. Moscow, 2006, 22 p.
- [7] Tsvetkov V.F., Tsvetkov I.V. *Les v usloviyakh aerotekhnogenogo zagryazneniya* [Forests in air pollution conditions]. Arkhangelsk: Solombala Printing House, 2003, 354 p.
- [8] Shlyk A.A. *Opredelenie khlorofillov i karotinoidov v ekstraktakh zelenykh list'ev* [Determination of chlorophylls and carotenoids in extracts of green leaves]. *Biologicheskie metody v fiziologii rasteniy* [Biological methods in plant physiology]. Moscow: Nauka, 1971, pp. 154–170.
- [9] Bates L.S., Waldren P.J., Teare J.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 1973, vol. 39, no. 1, pp. 205–206.
- [10] Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.R., Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 1951, v. 193, pp. 265–275.
- [11] Voskresenskaya O.L., Alyabysheva E.A., Polovnikova M.G. *Bol'shoy praktikum po bioekologii* [Bioecology laboratory course]. Ioshkar-Ola: MarGTU Publ., 2006, p. 1, 107 p.
- [12] Boyarkin A.N. *Bystryy metod opredeleniya aktivnosti peroksidazy* [Rapid test for the determination of peroxidase activity]. *Biokhimiya* [Biochemistry], 1951, iss. 1, no. 4, pp. 352–357.
- [13] Mamaev S.A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy (na primere semeystva Pinaceae na Urale)* [Forms of intraspecies variability of ligneous plants (on the example of the Urals family Pinaceae)]. Moscow: Nauka, 1972, 284 p.
- [14] Tsvetkov V.F. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke sushchestvuyushchego i prognoziruемого sostoyaniya lesnykh nasazhdeniy v zone vliyaniya promyshlennykh predpriyatiy Murmanskoy oblasti* [Guidelines to assess the state of forests in the industrial zone of Murmansk]. Arkhangelsk: AILiKh, 1990, 20 p.
- [15] Mal'khotra S.S., Khan A.A. *Biokhicheskoe i fiziologicheskoe deystvie prioritnykh zagryaznyayushchikh veshchestv* [Biochemical and physiological effects of top pollutants]. *Zagryaznenie vozdukha i zhizn' rasteniy* [Air pollution and plant life]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1988, pp. 144–161.
- [16] Tarkhanov S.N., Biryukov S.Yu. Influence of atmospheric pollution on the morphological parameters of the assimilation

- apparatus of pine and spruce in the basin of the Northern Dvina. Contemporary problems of ecology, 2012, v. 5, no. 3, pp. 300–306.
- [17] Getko N.V. *Rasteniya v tekhnogennoy srede* [Plants in technogenic environment]. Minsk: Science and Technology Publ., 1989, 208 p.
- [18] Tarkhanov S.N. *Vnutripopulyatsionnaya izmenchivost' biokhimicheskikh priznakov i povrezhdaemost' khvoi u raznykh form Pinus Sylvestris (Pinaceae) v severotaezhnykh sfagnovykh sosnovykh lesakh pri aerotekhnogenom zagryaznenii* [Intrapopulation variability of biochemical characteristics and a defect in the needles of different forms of *Pinus Sylvestris* (Pinaceae) in northern taiga peat-moss pine forests under aero-technogenic pollution]. *Rastitel'nye resursy* [Plant resources], 2016, v. 52, no. 4, pp. 79–100.
- [19] Shulyakovskaya T.A., Chinenova L.A., Shreders S.M., Kanyuchkova G.K. *Dinamika sodержaniya osnovnykh metabolitov v seyantsakh sosny obyknovnoy* [Dynamics of the major metabolites of Scots pine seedlings]. *Lesovedenie* [Sylviculture], 2005, no. 2, pp. 53–61.
- [20] Korshikov I.I. *Adaptatsiya rasteniy k usloviyam tekhnogenogo zagryazneniya sredy* [Adaptation of plants to anthropogenic pollution]. Kiev: Naukova Dumka Publ., 1996, 238 p.
- [21] Pyatygin S.S. *Stress u rasteniy: fiziologicheskii podkhod* [Stress in plants: a physiological approach]. *Zhurnal obshchey biologii* [Journal of General Biology], 2008, v. 69, no. 4, pp. 294–298.
- [22] Andreeva V.A. *Ferment peroksidaza. Uchastie v zashchitnom mekhanizme rasteniy* [Peroxidase. Participation in the protective mechanism of plants]. Moscow: Nauka publ., 1988, 127 p.
- [23] Gordon W.R., Henderson J.N. Isoperoxidases of (IAA oxidase) in oat coleoptiles. *Canad. J. Bot.*, 1973, v. 51, no. 11, pp. 2047–2052.
- [24] Kontunen-Soppela S. *Dehydrins in Scots pine tissues: responses to annual rhythm, low temperature and nitrogen: doctoral dissertation* : defended on March 8th, 2001. Oulu: University of Oulu, 2001, 46 p.
- [25] Oliviusson P., Salaj J., Hakman I. Expression pattern of transcript encoding water channel-like protein in Norway spruce (*Picea abies*). *Plant Mol. Biol.*, 2001, v. 46, no. 3, pp. 289–299.
- [26] Moffart B., Eward V., Eastman A. Cold comfort: plant antifreeze proteins. *Physiologia plantarum*, 2006, v. 126, no. 1, pp. 5–16.
- [27] Chupakhina G.N., Maslennikov P.V. *Adaptatsiya rasteniy k neftyanomu stressu* [Adaptation of plants to oil stress]. *Ekologiya* [Ecology], 2004, no. 5, pp. 330–335.

Authors' information

Tarkhanov Sergey Nikolaevich — Dr. Sci. (Biol.), Head of the Laboratory of the Ecology of Populations and Communities of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, tarkse@yandex.ru

Aganina Yuliya Evgenievna — pg., Junior Researcher of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, julja-a30@rambler.ru

Pakhov Alexandr Sergeevich — Junior Researcher of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, aleksander.pakhoff@yandex.ru

Received 05.12.2017.

УДК 630.5; 630.228.7

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-13-18

ОСОБЕННОСТИ ТАКСАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВОСТОЕВ ЕЛИ И СОСНЫ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

С.В. Вавилов, О.И. Антонов, И.А. Соколовский

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5

woodfm@mail.ru

Получение достаточного количества товарной древесины при внедрении интенсивного лесопользования невозможно без организации системы интенсивного выращивания искусственных насаждений с более коротким возрастом рубки спелых древостоев с учетом их целевого назначения и конъюнктуры спроса. Эти насаждения отличаются набором, интенсивностью и регулярностью лесокультурных и лесоводственных мероприятий. Динамика различных показателей и накопления биомассы в них иная, нежели в естественных насаждениях. В связи с этим применение руководящих документов по организации пользования лесом, а также ряда оценочных таксационных нормативов представляется не вполне корректным. С целью изучения товарной структуры, моделирования хода роста и разработки сортиментных таблиц искусственных древостоев исследованы лесные культуры сосны и ели, созданные из семян и саженцев с открытой и закрытой корневой системой, с различным режимом выращивания. Всего исследовано 5 вариантов посадочного материала. Однолетние сеянцы ели, в отличие от сеянцев сосны, более подвержены стрессовым нагрузкам при пересадке из теплицы в открытый грунт, что ведет в дальнейшем к отставанию их в росте и некоторой деформации рядов распределения деревьев по ступеням толщины по сравнению с культурами сосны и ели, созданных саженцами. Установлено, что существует взаимосвязь между диаметром дерева на высоте 1,3 м и его высотой, а также между диаметром, высотой и видовым числом (старым). Выявлено, что средние таксационные показатели у лесных культур сосны и ели одного и того же возраста, созданных идентичным посадочным материалом, практически равны, а значения распределения деревьев по ступеням толщины близки друг к другу. В то же время зависимость объема ствола от диаметра отличается от приведенной в нормативных таблицах для аналогичного разряда высот. Сопоставление полученных результатов с данными таблиц объемов и рядов высот показало существенные расхождения между ними, что нивелируется подбором для лесных культур рядов высот в имеющихся таблицах не по одной точке (d_m и h_m), а по нескольким ступеням толщины (две-три ступени). Установлены существенные отличия товарной структуры изучаемых древостоев от данных сортиментно-сортных таблиц. На основании прогноза динамики среднего периодического и среднего общего прироста по высоте, диаметру и объему выявлено, что количественная спелость в изучаемых искусственных древостоях наступит раньше возраста, устанавливаемого лесоустройством для естественных насаждений.

Ключевые слова: интенсивное лесовыращивание, лесные культуры, таксационная структура, товарная структура, сортиментно-сортные таблицы

Ссылка для цитирования: Вавилов С.В., Антонов О.И., Соколовский И.А. Особенности таксационной структуры древостоев ели и сосны искусственного происхождения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 13–18. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-13-18

Необходимость исследования хода роста искусственных насаждений возникла с середины 1970-х гг. в связи с выдвиганием идеи создания надежной сырьевой базы для целлюлозно-бумажной промышленности за счет интенсивного лесовосстановления и внедрения плантационного лесовыращивания [1–3].

Следует отметить, что при оценке искусственных насаждений и проведении проектных расчетов нельзя ориентироваться на имеющиеся таблицы хода роста и другие нормативные материалы, так как их развитие (тем более развитие плантационных культур) имеет свои особенности.

Фундаментальные работы с составлением подробной методики таксации молодняков как естественного, так и искусственного происхождения были выполнены В.С. Моисеевым [4, 5]. Дифференциацию таксационных показателей лесных культур с разной исходной плотностью и

размещением деревьев, а также увеличение класса бонитета культур, вызванное естественными причинами, изучал Н.М. Прокопьев [6].

Вопросами статистической обработки таксационных и лесоводственных данных, которые в настоящее время являются основным инструментом анализа, занимались: М.М. Орлов, А.К. Митропольский, А.В. Тюрин, Н.В. Третьяков, П.В. Горский, Л.Н. Яновский и др. [7, 8]. Существуют различные варианты применения методов математической статистики при оценке хода роста лесных культур до возраста перевода их в категорию покрытых лесом площадей [9] и при моделировании его для взрослых древостоев [10, 11].

В связи с предполагаемыми коренными переменами в деятельности лесного комплекса России — увеличением сроков аренды лесного фонда, интенсификацией отрасли, повышением доли глубокой переработки древесины и т. д. —

плантационное лесовыращивание может стать основным эффективным способом воспроизводства лесных ресурсов в регионах с интенсивным лесным хозяйством и развитой инфраструктурой.

Хотя опубликовано немало материалов по исследованию закономерностей роста и формирования древостоев лесных культур, в том числе по изучению способов повышения экономической эффективности искусственного лесовыращивания [12], это направление исследовательской деятельности становится все более важным и востребованным.

Цель работы

Цель работы заключалась в изучении хода роста, товарной и таксационной структуры искусственных древостоев сосны и ели, созданных различным посадочным материалом.

Объекты и методика исследований

Объектом наших исследований являлись опытные лесные культуры ели и сосны, заложенные под руководством Т.И. Козловой в 1980 г. на площади 2,2 га бывшего сенокоса в кв. 1 Дружносельского лесничества ФГУ ОЛХ «Сиверский лес». Тип лесорастительных условий определен как черничник свежий В2, почва слабоподзолистая, песчаная. Почву обрабатывали плугом ПКЛН-500. Посадку проводили в пласты, под меч Колесова. Первоначальная густота культур составила 4,0 тыс. шт./га с размещением $0,8 \times 2,5$ м. Всего исследовано 5 вариантов лесных культур. Использовался различный посадочный материал — сеянцы и саженцы сосны (С) и ели (Е) в возрасте двух-трех лет, с закрытой и открытой корневой системой:

1) C_{2T} , E_{2T} — двухлетние сеянцы сосны и ели, выращенные в теплице в контейнерах объемом 0,4 л;

2) $C_{2(T+OP)}$, $E_{2(T+OP)}$ — двухлетние сеянцы сосны и ели, первый год росли в теплице в контейнерах объемом 0,4 л, второй год — на открытом полигоне;

3) C_{2OG} , E_{2OG} ; E_{3OG} — двухлетние сеянцы сосны и ели и трехлетние сеянцы ели с открытой корневой системой, выращенные в питомнике;

4) C_{1T+1T} , E_{1T+1T} — двухлетние саженцы сосны и ели «Брикет», полученные из однолетних тепличных сеянцев, второй год росли в теплице;

5) C_{1T+1OP} , E_{1T+1OP} — двухлетние саженцы сосны и ели «Брикет», полученные из однолетних тепличных сеянцев, второй год росли на открытом полигоне.

Цель создания этих лесных культур — совершенствование технологии ускоренного лесовыращивания.

В ходе исследования по каждому варианту культур проведен сплошной пересчет деревьев по

ступеням толщины с измерением высоты, проанализированы взаимосвязи между такими параметрами, как: диаметр ствола (d_k — на уровне корневой шейки и $d_{1,3}$ — на высоте 1,3 м) и высота дерева; новое и старое видовое число; высота и видовое число. Для изучения товарной структуры были отобраны модельные деревья по принципу пропорционально-ступенчатого представительства. Товарная структура модельных деревьев была сопоставлена с данными сортиментно-сортных таблиц [13] по 7-му разряду высот для ели и 8-му разряду высот по сосне.

Статистическая и таксационная обработка материалов исследования выполнены по общепринятым методикам.

Результаты исследования

Ряды распределения деревьев по ступеням толщины хорошо выравниваются общим уравнением нормального распределения в вариантах 1, 3, 5 (для ели) и 1, 3, 4, 5 (для сосны) и значительно хуже — в вариантах 2, 4 (для ели) и 2 (для сосны (см. таблицу).

В указанных вариантах деформация рядов происходит из-за накопления тонкомерных стволов, что в конечном счете приводит к уменьшению среднего диаметра древостоя и, соответственно, средней высоты. В результате минимальные редуцированные числа по диаметру снижаются до $0,24d_m$. Одной из причин этого явления может быть тот факт, что однолетние сеянцы ели в силу биологических особенностей породы более подвержены стрессовым нагрузкам при переходе от условий теплицы к росту в открытом грунте. У сосны промежуточная адаптация корневой системы к изменениям внешней среды происходит вполне успешно, задержки в росте на стадии культуры нет.

В вариантах 4 и 5 (при использовании саженцев C_{1T+1T} , C_{1T+1OP}) культуры сосны имеют ощутимо больший прирост по диаметру по сравнению с саженцами ели E_{1T+1T} , E_{1T+1OP} и несколько превосходят по этому показателю посадки обеих пород, созданные сеянцами (C_{2T} , $C_{2(T+OP)}$, C_{2OG} , E_{2T} , $E_{2(T+OP)}$, E_{2OG} , E_{3OG}). Во всех вариантах наблюдается высокая сохранность растений.

Установлено, что существует стойкая взаимосвязь между диаметром дерева на высоте 1,3 м и его высотой, а также между диаметром, высотой и видовым числом (старым). Толщина корневой шейки у деревьев на ранней стадии роста культур варьируется больше, а поэтому взаимосвязь между изучаемыми параметрами менее выражена. Использование старых видовых чисел дает возможность объективного сопоставления показателей роста исследуемых культур с данными фундаментальных работ В.С. Моисеева [4, 5].

Распределение деревьев по ступеням толщины, %
The ranks of the distribution of trees in degrees of thickness, %

| Вид посадочного материала | Средний диаметр $D_{ср}$, см | Ряды распределения деревьев по ступеням толщины, % | | | | | | | | | | χ^2 | Редукционные числа по диаметру R_d |
|---------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|--------------------------------------|
| | | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | | |
| 1. E_{2T} | 12,2 | 5 | 6 | 12 | 16 | 23 | 20 | 13 | 5 | 0 | 0 | 6,0 | 0,24–1,56 |
| 2. $E_{2(T+OP)}$ | 12,4 | 0 | 4 | 13 | 23 | 25 | 16 | 12 | 7 | 0 | 0 | 11,2 | 0,40–1,53 |
| 3. E_{2OG} , E_{3OG} | 11,1 | 4 | 11 | 19 | 22 | 18 | 14 | 10 | 2 | 0 | 0 | 3,2 | 0,27–1,71 |
| 4. E_{1T+1T} | 11,2 | 11 | 12 | 14 | 21 | 14 | 12 | 8 | 8 | 0 | 0 | 13,0 | 0,27–1,70 |
| 5. E_{1T+1OP} | 10,9 | 7 | 14 | 20 | 19 | 15 | 11 | 10 | 4 | 0 | 0 | 7,4 | 0,28–1,74 |
| Усредненный ряд | 11,5 | 5 | 9 | 16 | 20 | 19 | 15 | 10 | 5 | 0 | 0 | 11,1 | 0,26–1,65 |
| 1. C_{2T} | 13,8 | 0 | 0 | 13 | 14 | 17 | 21 | 22 | 12 | 2 | 0 | 6,6 | 0,51–1,52 |
| 2. $C_{2(T+OP)}$ | 12,9 | 0 | 0 | 10 | 19 | 25 | 19 | 16 | 8 | 1 | 1 | 8,9 | 0,54–1,78 |
| 3. C_{2OG} | 14,6 | 0 | 0 | 3 | 13 | 19 | 23 | 23 | 11 | 8 | 0 | 7,3 | 0,48–1,44 |
| 4. C_{1T+1T} | 14,4 | 0 | 0 | 5 | 16 | 20 | 21 | 20 | 10 | 6 | 2 | 2,1 | 0,49–1,60 |
| 5. C_{1T+1OP} | 15,8 | 0 | 0 | 2 | 8 | 13 | 15 | 27 | 22 | 9 | 3 | 28,0 | 0,44–1,46 |
| Усредненный ряд | 14,3 | 0 | 0 | 7 | 15 | 19 | 20 | 21 | 12 | 5 | 1 | 11,1 | 0,49–1,61 |

Проведено сравнение опытных данных о взаимосвязи между объемом ствола сосны и его диаметром на высоте груди 1,3 м (рис. 1) с данными таблиц объемов для 8-го разряда высот (наиболее близкого по соотношению средней высоты и диаметра). Получены следующие результаты.

В исследуемых культурах сосны в ступенях толщины меньше среднего диаметра (например, 12 см) значения объема ствола больше, а в ступенях толщины, превышающих средний диаметр, несколько меньше, чем табличные, но в совокупности всех деревьев древостоя, (из-за особенности рядов распределения) запас выше.

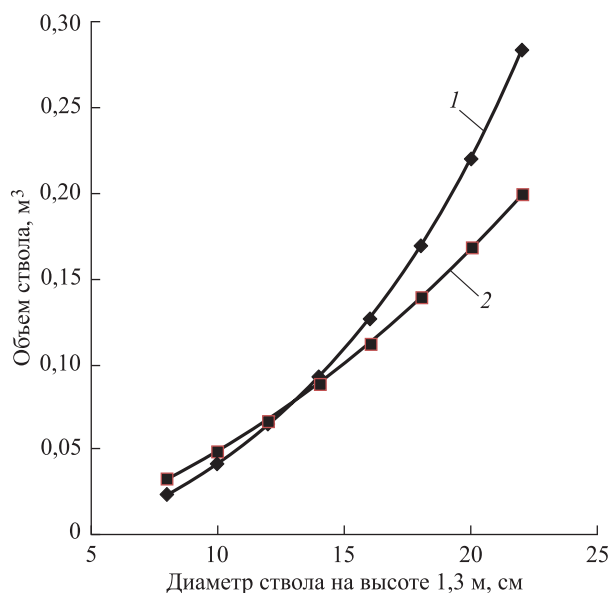


Рис. 1. Объем ствола сосны: 1 — табличные данные, 8-й разряд высот; 2 — опыт (варианты 1–5)
Fig. 1. The volumes of trunks of pines: 1 — tabular data, 8-th digit heights; 2 — experience (options 1–5)

Сопоставление полученных результатов с данными таблиц объемов и разрядов высот выявило существенные расхождения между ними, что говорит о необходимости подбора для лесных культур имеющихся таблиц разрядов высот не по одной точке (d_m и h_m), а по каждой ступени толщины.

При исследовании хода роста древостоев по высоте установлено, что у изучаемых культур он интенсивнее, чем описано Моисеевым [4, 5]. Это видно и по абсолютным значениям прироста, и по относительным индексам, а также по динамике прироста по диаметру. Можно сделать вывод, что исследуемые культуры в этом возрасте растут интенсивнее, чем производственные, описанные Моисеевым, причем различие между ними продолжает увеличиваться.

При прогнозировании динамики среднего периодического и среднего общего прироста по высоте, диаметру и объему и сближения этих показателей предполагается, что количественная спелость наступит раньше возраста, устанавливаемого лесоустройством для естественных древостоев. Несомненно, это относится и к технической спелости, что видно из рис. 2, где на основании анализа товарной структуры модельных деревьев и рядов распределения по ступеням толщины показано изменение товарной структуры древостоев ели (аналогичное моделирование выполнено и для сосновых культур).

В результате проведенных исследований было установлено следующее:

- в древостоях преобладает товарная древесина (более 90 % объема);
- объемы дровяной древесины и отходов примерно одинаковы и имеют некоторую тенденцию к уменьшению;
- доля мелкой деловой древесины резко снижается со ступени 14 см, при преодолении ступе-

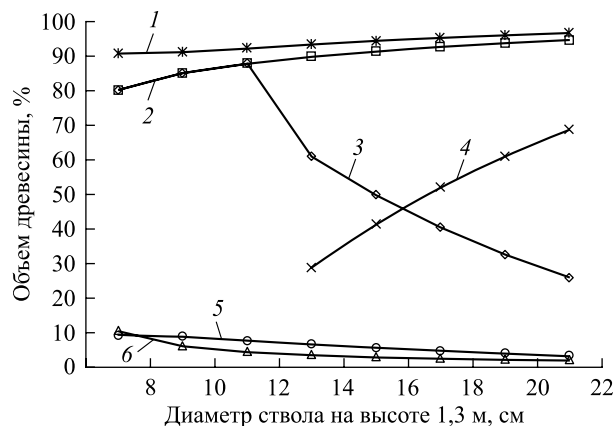


Рис. 2. Модель изменения товарной структуры древостоев ели: 1 — ликвидация; 2 — вся деловая древесина; 3 — мелкая деловая древесина; 4 — средняя деловая древесина; 5 — отходы; 6 — дровяная древесина

Fig. 2. The model of the change in the commodity structure of the spruce stands: 1 — liquidation; 2 — all commercial wood; 3 — small commercial wood; 4 — average commercial wood; 5 — wastes; 6 — fuel wood

ни 16 см сравнивается с долей средней деловой древесины, затем продолжает уменьшаться, достигая к ступени 22 см соотношения почти 1:3;

– ход изменения товарной структуры значительно отличается от сортиментно-сортных и товарных таблиц, составленных для приспевающих и спелых естественных древостоев.

Выводы

1. В результате исследований было установлено, что в лесных культурах сосны и ели, созданных различным посадочным материалом, варианты опыта к 25-летнему возрасту практически сравнялись между собой по средним таксационным показателям и имеют сходное распределение по ступеням толщины. Зависимость объема ствола от диаметра отличается от приведенной в нормативных таблицах для того же разряда высот. Товарная структура также имеет существенные отличия от данных сортиментно-сортных таблиц.

2. Целью при интенсивном выращивании культуры является получение большого запаса высокотоварной древесины в сроки, отличные от установленного в настоящее время возраста рубки по величине количественной спелости для естественных насаждений. Для сохранения высоких темпов роста древостоев, формирования полндревесных стволов, высоких запасов, содержащих качественную древесину, необходимым условием должен быть регулярный комплексный уход за культурами в виде рубок ухода в молодняках первого и второго класса возраста, удобрения почвы, многоприемной обрезки ветвей, мероприятий лесозащиты и противопожарного обустройства.

3. В качестве правовой основы плантационного лесовыращивания на арендованных участках, а также для того, чтобы не менять нормативные акты по организации пользования лесом в культурах интенсивного лесовыращивания, необходимо ввести 10-летний интервал класса возраста. Это даст возможность арендаторам осуществлять качественное лесовосстановление и лесопользование в пределах 49-летней аренды лесов и послужит дополнительным стимулом для работы.

4. Затраты на необходимые лесоводственные уходы за древостоями можно отнести за счет субвенций из бюджета субъектов Российской Федерации в зависимости от объема и качества работы.

5. Необходимо продолжить исследования хода роста и динамики товарной структуры древостоев в лесных культурах и создание прогнозных моделей и таксационных нормативов в виде таблиц хода роста, сортиментно-сортных и товарных таблиц.

Список литературы

- [1] Закладка и выращивание лесосырьевых плантаций ели и сосны: метод. рекомендации / под ред. И.В. Шутова. Л.: ЛенНИИЛХ, 1986. 105 с.
- [2] Маслаков Е.Л., Маркова И.А., Жигунов А.В. Лесные культуры. Обобщение опыта создания и ускоренного выращивания высокопродуктивных насаждений хвойных пород. СПб.: ЛТА, 1993. 52 с.
- [3] Морозов В.А. Плантационное выращивание хвойных пород. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1983. 43 с.
- [4] Моисеев В.С. Таксация молодняков. Л.: ВО «Леспроект», 1971. 343 с.
- [5] Моисеев В.С. Методика составления таблиц хода роста и динамики товарных модельных насаждений. Л.: ЛТА, 1968. 88 с.
- [6] Прокопьев Н.М. Формирование и продуктивность культур ели с различной первоначальной густотой // Лесное хозяйство, 1983. № 11. С. 24–28.
- [7] Митропольский А.К. Элементы математической статистики. Л.: ЛТА, 1969. 273 с.
- [8] Никитин К.Е., Швиденко А.З. Методы и техника обработки лесоводственной информации. М.: Лесная промышленность, 1978. 270 с.
- [9] Бондаренко А.С., Жигунов А.В., Савельев О.А. Оценка роста испытательных культур методами кластерного анализа и суммирования рангов биометрических показателей // Тр. СПбНИИЛХ, 2002. Вып. 2 (3). С. 129–138.
- [10] Алексеев А.С. Математическое моделирование роста древостоя // Рациональное использование природных ресурсов и окружающей среды: межвузовский сб. Л.: ЛПИ, 1987. № 10. С. 96–100.
- [11] Кивисте А. Моделирование хода роста высоты сосновых молодняков // Сб. науч. тр. Эстонской с.-х. академии, 1987. № 137. С. 32.
- [12] Тришин В.С., Петренко В.А., Злотницкий А.Б. Основы экономической оценки леса, как элемента природной среды // Тр. СПбНИИЛХ «Таёжные леса на пороге XXI века». СПб.: СПбНИИЛХ, 1999. Вып. LXX. С. 233–239.
- [13] Моисеев В.С., Нахабцев И.А. Лесная таксация: учеб. пособие. Л.: ЛТА, 1987. 83 с.

Сведения об авторах

Вавилов Сергей Васильевич — канд. с.-х. наук, доцент ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», woodfm@mail.ru

Антонов Олег Иванович — канд. с.-х. наук, доцент ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», woodfm@mail.ru

Соколовский Илья Алексеевич — магистрант ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», ile_dm@mail.ru

Статья поступила в редакцию 07.09.2017.

FEATURES OF THE TAXATION STRUCTURE OF SPRUCE AND PINE STANDS OF ARTIFICIAL ORIGIN

S.V. Vavilov, O.I. Antonov, I.A. Sokolovskiy

St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, St. Petersburg, 194021, Russia
woodfm@mail.ru, ile_dm@mail.ru

Getting a sufficient amount of marketable timber in the introduction of intensive forest management is impossible without the organization of system of intensive cultivation of homogeneous forests with a shorter felling age of ripe forest stands taking into account their purpose and demand conditions. These plantations differ in the set, intensity and regularity of silvicultural and forestry operations. The dynamics of the various indicators and biomass accumulation in them differs from natural plantations. In this regard, the use of guidance documents on the organization of forest use, as well as a number of forest inventory taxation standards, is not entirely correct. To study the commodity structure, to simulate the progress of growth and to develop assortment tables of homogeneous forests, forest cultures of pine and spruce were studied, which were created from seedlings and seedlings with an open and closed root system, with different growth regimes. In total, 5 variants of planting material were investigated. One-year seedlings of spruce, in contrast to pine, are more susceptible to stress loads when transplanting from the greenhouse to the open ground, leading to further stunted their growth and some deformation of the ranks distribution of trees in degrees of thickness in comparison with the cultures of pine and spruce, established seedlings. The study of the interrelationships between different tree parameters established that a stable statistical relationship exists between the diameters at breasts height and altitudes, and between diameters, heights and species numbers (old). The results of the research revealed that the average taxation indicators in forest cultures of pine and spruce of the same age created by identical planting material are practically equal and have a close distribution of trees in thickness steps. At the same time, the dependence of the volume of barrels on the diameter is different than that given in the normative tables for a similar discharge of heights. Comparison of the obtained results with the data of tables of volumes and discharges of heights showed significant discrepancies between them, which is offset by the selection for forest cultures of grades of height in existing tables not by one point (d_m and h_m), but by several grades of diameters (2–3 grades). Essential differences in the assortment structure of the studied stands from the data from the assortment tables are established. Based on the forecast of the dynamics of average periodic and average total increments in height, diameter and volume, it was found that quantitative ripeness in the studied artificial stands will occur earlier than the age set by the forest inventory for natural plantations.

Keywords: intensive forest growing, forest cultures, taxation structure, assortment structure, assortment tables

Suggested citation: Vavilov S.V., Antonov O.I., Sokolovskiy I.A. *Osobennosti taksatsionnoy struktury drevostoev eli i sosny iskusstvennogo proiskhozhdeniya* [Features of the taxation structure of spruce and pine stands of artificial origin]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 13–18. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-13-18

References

- [1] *Zakladka i vyrashchivanie lesosyr'evykh plantatsiy eli i sosny: metodicheskie rekomendatsii. Pod red. I.V. Shutova* [Laying and growing of forest resources plantations of spruce and pine: methodical recommendations: ed. I.V. Shutov]. Leningrad: LenNIILH Publ., 1986, 105 p.
- [2] Maslakov E.L., Markova I.A., Zhigunov A.V. *Lesnye kul'tury. Obobshchenie opyta sozdaniya i uskorennoy vyrashchivaniya vysokoproduktivnykh nasazhdeniy khvoynykh porod* [Forest cultures. Generalization of the experience of creation and accelerated cultivation of highly productive coniferous plantations]. St. Petersburg: LTA Publ., 1993, 52 p.
- [3] Morozov V.A. *Plantatsionnoe vyrashchivanie khvoynykh porod* [Plantation cultivation of coniferous species]. Moscow: TsBNTI Gosleskhoza USSR Publ., 1983, 43 p.
- [4] Moiseev V.S. *Taksatsiya molodnyakov* [Inventory of young animals]. Leningrad: VO «Lesproekt» Publ., 1971, 343 p.
- [5] Moiseev V.S. *Metodika sostavleniya tablits khoda rosta i dinamiki tovarnykh model'nykh nasazhdeniy* [Technique of compilation of tables of the course of growth and dynamics of commodity model plantations]. Leningrad: LTA Publ., 1968, 88 p.
- [6] Prokop'ev N.M. *Formirovaniye i produktivnost' kul'tur eli s razlichnoy pervonachal'noy gustotoy* [Formation and productivity of spruce cultures with different initial density]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1983, no. 11, pp. 24–28.
- [7] Mitropol'skiy A.K. *Elementy matematicheskoy statistiki* [Elements of mathematical statistics]. Leningrad: LTA Publ., 1969, 273 p.

- [8] Nikitin K.E., Shvidenko A.Z. *Metody i tekhnika obrabotki lesovodstvennoy informatsii* [Methods and techniques for processing silvicultural information]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, Publ., 1978, 270 p.
- [9] Bondarenko A.S., Zhigunov A.V. Savel'ev O.A. *Otsenka rosta ispytatel'nykh kul'tur metodami klasterного analiza i summirovaniya rangov biometricheskikh pokazateley* [Estimation of the growth of test cultures by methods of cluster analysis and summation of the ranks of biometric indicators]. Proceedings of SPbNIIKKh, 2002, iss. 2 (3), pp. 129–138.
- [10] Alekseev A.S. *Matematicheskoe modelirovanie rosta drevostoya* [Mathematical modeling of growth of a stand]. Rational use of natural resources and environment: interuniversity coll. Leningrad: LPI Publ., 1987, no. 10, pp. 96–100.
- [11] Kiviste A. *Modelirovanie khoda rosta vysoty sosnovykh molodnyakov* [Simulation of the growth of pine young hills height]. Proceedings of the Estonian Agricultural Sciences academy, 1987, no. 137, p. 32.
- [12] Trishin V.S., Petrenko V.A., Zlotnitskiy A.B. *Osnovy ekonomicheskoy otsenki lesa, kak elementa prirodnoy sredy* [Fundamentals of economic evaluation of forests as an element of the natural environment]. Proceedings of SPbNIIKH «Taiga forests on the threshold of the XXI century». St. Petersburg: SPbNIIKH, 1999, LXX, pp. 233–239.
- [13] Moiseev V.S., Nakhabtsev I.A. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Leningrad: LTA, 1987, 83 p.

Authors' information

Vavilov Sergey Vasil'evich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, woodfm@mail.ru

Antonov Oleg Ivanovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, woodfm@mail.ru

Sokolovskiy Il'ya Alekseevich — master student of the St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, ile_dm@mail.ru

Received 07.09.2017.

ГУСТОТА ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ СОСНЯКОВ В ЛЕНТОЧНЫХ БОРАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

С.В. Залесов, А.Е. Осипенко

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37
zalesov@usfeu.ru

Исследования проведены в южной части Барнаульского ленточного бора в пределах Ракивовского лесничества в период с 2015 по 2017 г. Заложено 70 временных пробных площадей. Объектом исследований выбраны чистые по составу искусственные и естественные сосновые древостои, произрастающие в наиболее распространенном в пределах Ракивовского лесничества типе леса — сухой бор пологих всхолмлений. В рассматриваемых древостоях не проводились рубки ухода. Искусственные древостои имеют возраст от 13 лет до 81 года, естественные — от 16 до 120 лет. Приведен фрагмент таксационной характеристики рассматриваемых сосновых древостоев, а также уравнения зависимости густоты сосняков различного происхождения от возраста с коэффициентами детерминации 0,82 и 0,79 для естественных и искусственных сосняков соответственно. Установлено, что естественные сосняки имеют большую начальную густоту по сравнению с искусственными, однако процесс изреживания в них происходит интенсивнее и к середине III класса возраста количество деревьев на 1 га в сосняках различного происхождения становится одинаковым. В искусственных сосняках процесс изреживания наиболее интенсивно происходит в I класс возраста за счет отмирания сеянцев, которые не смогли прижиться на лесокультурной площади из-за жестких климатических условий. В древостоях естественного происхождения интенсивное изреживание происходит не только из-за негативного влияния окружающей среды, но и из-за внутривидовой борьбы и продолжается до III класса возраста; в IV классе возраста происходит замедление изреживания, в V и VI классах возраста изреживание прекращается или идет очень медленными темпами.

Ключевые слова: ленточные боры, пробная площадь, искусственный сосняк, естественный сосняк, класс возраста, густота

Ссылка для цитирования: Залесов С.В., Осипенко А.Е. Густота естественных и искусственных сосняков в ленточных борах Алтайского края // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 19–23.
DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-19-23

Густота древостоя имеет важное значение как в жизни лесного насаждения, так и в практике лесоводства. Она является тем параметром, который в значительной степени определяет ход роста и развития древостоя, его продуктивность и качество получаемой древесины [1–3].

В естественных условиях густота регулируется в ходе внутривидовой конкуренции, в результате которой выживают особи, наиболее приспособленные к конкретным условиям окружающей среды. Однако в искусственных древостоях, характеризующихся равномерным размещением деревьев и меньшей первоначальной густотой, естественный отбор проявляется слабее. Кроме того, искусственные древостои создаются путем насаждения стандартного посадочного материала в предварительно подготовленную почву, и в первые годы проводят агротехнический уход за ними, что также способствует ослаблению дифференциации деревьев по сравнению с естественными сосняками [4].

На сегодняшний день регламентом Ракивовского лесничества [5] рекомендуется создание чистых лесных культур сосны обыкновенной с первоначальной густотой сеянцев не менее 4 тыс. шт./га. Создание лесных культур проводится по следующим схемам: 2,5×0,5 м (8,0 тыс. шт./га); 3,5×0,7 м (4,0 тыс. шт./га); 3,0×0,55 м (6,0 тыс. шт./га). Од-

нако не исключается и создание лесных культур посевом семян, при этом число посевных мест по сравнению с указанными нормами густоты культур при посадке сеянцев рекомендуется увеличивать на 20 %. Также возможна посадка лесных культур саженцами, при этом способе допускается снижение количества высаживаемых растений до 2,5 тыс. шт./га. Создание лесных культур сосны назначается на вырубках, гарях и прогалинах с количеством жизнеспособного подроста менее 1 тыс. шт./га. Комбинированное лесовосстановление проводится при количестве подроста 1–1,5 тыс. шт./га. При количестве подроста свыше 1,5 тыс. шт./га площади оставляют под естественное возобновление. За тот период, что ведется лесокультурное производство в Алтайском крае (83 года), применяемые схемы создания лесных культур неоднократно изменялись [6].

Цель работы

Несмотря на значительный опыт по выращиванию искусственных древостоев, вопрос влияния густоты на рост и формирование насаждений раскрыт недостаточно и остается одним из важнейших в лесоводстве и лесокультурном производстве [1, 3, 7], что и определило направление наших исследований.

Методы и объекты исследования

Сбор полевых материалов осуществлялся на территории Ракитовского лесничества в пределах Егорьевского, Рубцовского и Угловского административных районов Алтайского края.

Объектом исследований были выбраны искусственные и естественные сосновые древостои, произрастающие в наиболее распространенном в пределах Ракитовского лесничества (58 % от общей площади) типе леса — сухой бор пологих всхолмлений. К исследуемым древостоям предъявлялись следующие требования: они должны быть чистыми по составу, одноярусными, одновозрастными (для искусственных) или условно одновозрастными (для естественных), в них не проводились рубки ухода.

В ходе полевых работ в период с 2015 по 2017 г., было заложено 70 временных пробных площадей (ПП), 36 — в искусственных и 34 — в естественных древостоях. Искусственные древостои имеют возраст от 13 лет до 81 года, естественные — от 16 до 120 лет. Закладка пробных площадей проводилась в соответствии с требованием хорошо известных методик [8, 9]. Работы по закладке пробных площадей включали в себя: подбор насаждений, соответствующих требованиям; отграничение ПП в натуре вешками; замер сторон

ПП; сплошной пересчет деревьев (с точностью до 1 см); замер высоты 20–25 деревьев (30–40 в молодняках) для построения графика высот; учет захламленности путем замера длины валежного дерева и его диаметра на середине ствола. Размер ПП устанавливался с таким расчетом, чтобы охватить не менее 200–550 деревьев в зависимости от среднего диаметра [8].

Результаты и обсуждение

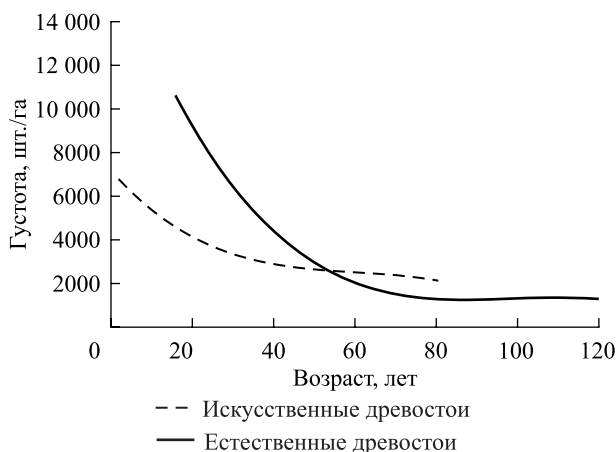
В ходе исследований было установлено, что естественные сосняки, формирующиеся в непосредственной близости к материнским деревьям, имеют большую по сравнению с искусственными сосняками начальную густоту. Однако на обширных гарях, вырубках и пустырях формируются редкостойные насаждения и их полное зарастание может растянуться на долгие годы. Данное положение находит подтверждение в научной литературе [10, 11]. Слабое возобновление на обширных безлесных участках объясняется отсутствием затенения, сухостью воздуха, высокой температурой поверхности почвы, засеканием и засыпанием самосева песком, а также другими негативными факторами [2, 10]. Таксационная характеристика наиболее типичных сосняков приведена в таблице.

Т а б л и ц а

Таксационная характеристика наиболее типичных сосняков
Taxonomic characteristics of the most typical pine forests

| № ПП | Состав древостоя | Средние | | | Густота посадки, шт./га | Густота текущая, шт./га | Полнота | | Запас, м ³ /га | | Класс бонитета |
|-----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------|-------|----------------|
| | | Возраст, лет | Высота, м | Диаметр, см | | | абсолютная, м ² /га | относительная | растущих деревьев | общий | |
| Искусственные сосняки | | | | | | | | | | | |
| 42 | 10С | 13 | 2,4 | 2,5 | 6000 | 5003 | 2,4 | 0,5 | 7,1 | 7,1 | III |
| 33 | 10С | 17 | 4,3 | 4,1 | 7000 | 3912 | 5,2 | 0,4 | 17,1 | 17,1 | III |
| 14 | 10С | 22 | 6,8 | 5,6 | 5000 | 3440 | 8,4 | 0,4 | 36,2 | 38,7 | II |
| 44 | 10С | 32 | 9,1 | 8,3 | 8800 | 2951 | 15,8 | 0,7 | 88,8 | 89,8 | III |
| 45 | 10С | 38 | 10,7 | 9,6 | 6650 | 2827 | 20,5 | 0,8 | 113,2 | 130,9 | III |
| 43 | 10С | 51 | 11,2 | 10,6 | 8400 | 2466 | 21,6 | 0,9 | 132,6 | 134,9 | IV |
| 7 | 10С | 62 | 11,7 | 11 | 5000 | 2542 | 24,3 | 0,9 | 151,7 | 154,6 | IV |
| 21 | 10С | 70 | 12,2 | 11,8 | 5000 | 2530 | 27,7 | 1,1 | 177,5 | 182,9 | IV |
| 49 | 10С | 81 | 13,2 | 14 | 7300 | 1842 | 28,2 | 1,1 | 187,4 | 191,1 | V |
| Естественные сосняки | | | | | | | | | | | |
| 62 | 10С | 16 | 2,5 | 1,8 | — | 12857 | 3,1 | 1,00 | 6,6 | 6,6 | IV |
| 80 | 10С | 28 | 4,9 | 3,9 | — | 7936 | 9,3 | 0,58 | 38,2 | 38,2 | V |
| 90 | 10С | 37 | 7,1 | 5,1 | — | 5112 | 10,4 | 0,54 | 49,1 | 49,3 | IV |
| 88 | 10С | 46 | 8,8 | 6,6 | — | 3271 | 11,3 | 0,51 | 62,5 | 65,7 | IV |
| 75 | 10С | 50 | 9,6 | 8,0 | — | 3203 | 17,3 | 0,73 | 93,8 | 94,1 | IV |
| 82 | 10С | 65 | 13,1 | 11,9 | — | 2307 | 25,6 | 0,94 | 179,1 | 181,3 | IV |
| 60 | 10С | 82 | 15 | 15,4 | — | 1789 | 33,4 | 1,15 | 250,2 | 282,3 | IV |
| 68 | 10С | 94 | 17,4 | 16,4 | — | 1589 | 33,7 | 1,09 | 303,6 | 307,7 | IV |
| 66 | 10С | 100 | 17,5 | 17,1 | — | 1493 | 34,1 | 1,08 | 310,4 | 313,2 | IV |
| 59 | 10С | 120 | 17,5 | 19,8 | — | 1168 | 36 | 1,14 | 321,8 | 329,5 | IV |

Примечание. С — сосна.



Изменение густоты древостоев различного происхождения с возрастом
Change in the density of stands of different age origin

На рисунке приведена зависимость значений густоты сосняков различного происхождения от возраста. Линии тренда, построенные для последних, довольно хорошо описывают полученное распределение точек, о чем свидетельствуют коэффициенты детерминации 0,82 и 0,79 для естественных и искусственных сосняков соответственно. Однако данные линии трендов, вероятно, не отражают действительную динамику густоты в исследуемых древостоях, так как подобные данные можно получить только в результате длительных исследований на постоянных пробных площадях [12]. Несмотря на этот факт, представленные на рисунке тенденции имеют свою научную и практическую ценность. Подтверждением тому служат таблицы хода роста, которые построены по схожему принципу и широко используются специалистами лесного хозяйства. Велика ли разница между полученными линиями тренда и действительным ходом изреживания рассматриваемых сосняков, можно будет сказать через 10–20 лет, после повторных измерений.

Рассматриваемые естественные сосняки имеют большую начальную густоту по сравнению с искусственными. Однако в III классе возраста сосняки выравниваются по этому показателю, что подтверждает положение о том, что чем выше исходная густота древостоев, тем интенсивнее протекает их изреживание [7, 12, 13].

На рисунке для искусственных древостоев, помимо данных о текущей густоте, приведены значения густоты их посадки. Несмотря на то что размах значений густоты посадки составляет 3,9 тыс. шт./га (от 5,0 до 8,9 тыс. шт./га), данные древостои вполне могут относиться к одному естественному ряду, так как определяющее влияние на дальнейшее формирование имеет не густота посадки, а густота сохранившихся деревьев,

которая к возрасту 15 лет в искусственных сосняках может достигать 45...70 % от первоначальной [14]. Коэффициент корреляции между густотой посадки и фактической густотой составляет всего 0,32.

Выводы

1. Естественные сосняки в южной части ленточных боров Алтайского края начинают формироваться с большей начальной густотой по сравнению с искусственными, однако процесс изреживания в них протекает интенсивнее и к середине III класса возраста значения густоты в сосняках различного происхождения выравниваются.

2. В рассматриваемых искусственных сосняках процесс изреживания наиболее интенсивно происходит в I классе возраста за счет отмирания семян, которые не смогли прижиться на лесокультурной площади из-за жестких климатических условий. К концу I класса возраста погибает около 43 % деревьев сосны.

3. В древостоях естественного происхождения процесс изреживания идет интенсивно не только из-за негативного воздействия окружающей среды, но и за счет внутривидовой борьбы, и продолжается до III класса возраста, после чего замедляется. При достижении древостоем густоты 1–1,5 тыс. шт./га в V и VI классах возраста изреживание практически прекращается или идет очень медленными темпами.

4. Вопрос динамики густоты естественных и искусственных древостоев нуждается в дальнейшем исследовании путем многолетних наблюдений на постоянных пробных площадях.

Список литературы

- 1] Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Пуряев А.С., Рыжков А.А. Закономерности развития древостоя в культурах сосны обыкновенной разной исходной густоты // Вестник ПГТУ. Сер. Лес. Экология. Природопользование, 2016. № 4 (32). С. 19–33.
- 2] Кабанова С.А., Данченко М.А., Устюгов И.П. Лесохозяйственные технологии создания устойчивых лесных культур в Казахстане. Щучинск: Мир печати, 2017. 200 с.
- 3] Ревин А.И., Смольянов А.Н., Водолажский А.Н. Рост и продуктивность культур сосны различной густоты посадки в Перкинском лесничестве Тамбовской области // Лесотехнический журнал, 2012. № 4. С. 57–67.
- 4] Залесов С.В., Лобанов А.Н., Луганский Н.А. Рост и производительность сосняков искусственного и естественного происхождения. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. 112 с.
- 5] Лесохозяйственный регламент Ракивовского лесничества Алтайского края. Утвержден Приказом Управления лесами Алтайского края от 30 декабря 2011 г. № 408. Барнаул, 2011. 96 с.
- 6] Осипенко А.Е., Ананьев Е.М., Гоф А.А., Савин В.В., Шубин Д.А. История искусственного лесовосстановления в ленточных борах Алтайского края // Изв. Оренбургского гос. аграрного ун-та, 2017. № 4 (66). С. 98–101.

- [7] Эбель А.В., Эбель Е.И., Залесов С.В., Муканов Б.М. Влияние полноты и густоты на рост сосновых древостоев Казахского мелкосопочника и эффективность рубок ухода в них. Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. 220 с.
- [8] Бунькова Н.П., Залесов С.В., Зотеева Е.А., Магасумова А.Г. Основы фитомониторинга: учеб. пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. 89 с.
- [9] Данчева А.В., Залесов С.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения: учеб. пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 152 с.
- [10] Баранник Л.П., Заблоцкий В.И. Экологические проблемы восстановления ленточных боров после пожаров // Изв. АлтГУ, 1999. № 3. С. 61–64.
- [11] Юровских Е.В., Залесов С.В., Магасумова А.Г., Бачурина А.В. Густота и надземная фитомасса подроста сосны на бывших сельскохозяйственных угодьях // Аграрный вестник Урала, 2016. № 11 (153). С. 80–85.
- [12] Рогозин М.В., Разин Г.С. Развитие древостоев. Модели, законы, гипотезы. Пермь: ПГНИУ, 2015. 277 с.
- [13] Нагимов З.Я. Ход роста сосновых древостоев разной густоты на Среднем Урале // Леса России и хозяйство в них, 2016. № 2 (57). С. 47–54.
- [14] Осипенко А.Е., Залесов С.В. Густота искусственных сосняков на юго-западе Алтайского края // Аграрный вестник Урала, 2017. № 2 (156). С. 51–58.

Сведения об авторах

Залесов Сергей Вениаминович — д-р с.-х. наук, профессор, проректор по научной работе, заведующий кафедрой лесоводства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», zalesov@usfeu.ru

Осипенко Алексей Евгеньевич — аспирант кафедры лесоводства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», osipenko_alexey@mail.ru

Статья поступила в редакцию 03.11.2017.

DENSITY OF NATURAL AND ARTIFICIAL PINE FORESTS IN RIBBON FORESTS OF THE ALTAI TERRITORY

S.V. Zalesov, A.E. Osipenko

Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy Trakt st. 37, Ekaterinburg, 620100, Russia

zalesov@usfeu.ru

The study was carried out in the southern part of the Barnaul ribbon forest within the Rakitovsky Forestry over the 2015 to 2017 period. 70 temporary sample plots were laid during the research. The object of the research was the selection of pure artificial and natural pine stands, which grow in the most common type of wood in the Rakitovsky Forestry, called dead-standing forests on sloping hilly surfaces. In addition, there was no cleaning cutting in the stands. Artificial stands are from 13 to 81 years of age, natural stands are from 16 to 120 years. The article contains a fragment of the taxation characteristics of the studied pine stands, as well as the equations for the density dependence of pine forests of different origin on age, with coefficients of determination of 0,82 and 0,79 for natural and artificial pine forests respectively. The study revealed that natural pine stands had a greater initial density than artificial ones, but the process of thinning in them is more intense, and by the middle of the third age class the number of trees per hectare in pine forests of different origin gets the same. In artificial pine forests, the process of thinning occurs most intensively in the first age class. The latter, for the most part, is due to the dying off of seedlings, which could not take root in the forest area due to severe climatic conditions. In stands of natural origin, intensive thinning occurs not only because of the negative influence of the environment, but also because of intraspecific competition and continues until the third grade of age; in the fourth grade of age there is a slowing down of thinning; in the fifth and sixth grades of age, the regime ceases to exist or goes very slowly.

Keywords: ribbon forests, temporary sample plot, artificial pine stands, natural pine stand, age class, density

Suggested citation: Zalesov S.V., Osipenko A.E. *Gustota estestvennykh i iskusstvennykh sosnyakov v lentochnykh borakh Altayskogo kraya* [Density of natural and artificial pine forests in ribbon forests of the Altai territory]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 19–23. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-19-23

References

- [1] Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Puryaev A.S., Ryzhkov A.A. *Zakonomernosti razvitiya drevostoya v kul'turakh sosny obyknovennoy raznoy iskhodnoy gustoty* [The laws of development of the stand in the cultures of ordinary pine of different initial density]. *Bulletin of PSTU. Series: Forest. Ecology. Nature management*, 2016, no. 4 (32), pp. 19–33.
- [2] Kabanova S.A., Danchenko M.A., Ustyugov I.P. *Lesokhozyaystvennyye tekhnologii sozdaniya ustoychivyykh lesnykh kul'tur v Kazakhstane* [Forest management technologies for the creation of sustainable forest cultures in Kazakhstan]. Schuchinsk: Mir pechati Publ. [The World of Press], 2017, 200 p.
- [3] Revin A.I., Smol'yanov A.N., Vodolazhskiy A.N. *Rost i produktivnost' kul'tur sosny razlichnoy gustoty posadki v Perkinskom lesnichestve Tambovskoy oblasti* [Growth and productivity of pine cultures of different density of planting in the Perkinsky forestry of the Tambov region]. *Lesotekhnichesky zhurnal*, 2012, no. 4, pp. 57–67.
- [4] Zalesov S.V., Lobanov A.N., Luganskiy N.A. *Rost i proizvoditel'nost' sosnyakov iskusstvennogo i estestvennogo proiskhozhdeniya* [Growth and productivity of pine forests of artificial and natural origin]. Ekaterinburg: UGLTU Publ., 2002, 112 p.
- [5] *Lesokhozyaystvennyy reglament Rakitovskogo lesnichestva Altayskogo kraya: utverzhen prikazom upravleniya lesami Altayskogo kraya ot 30 dekabrya 2011 № 408* [Forest management regulations of the Rakitovsky forestry of the Altai Territory: approved by the order of forest management of the Altai Territory of December 30, 2011 № 408]. Barnaul, 2011, 96 p.
- [6] Osipenko A.E., Anan'ev E.M., Gof A.A., Savin V.V., Shubin D.A. *Istoriya iskusstvennogo lesovosstanovleniya v lentochnykh borakh Altayskogo kraya* [History of artificial reforestation in banded forests of the Altai Territory]. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*, 2017, no. 4 (66), pp. 98–101.
- [7] Ebel' A.V., Ebel' E.I., Zalesov S.V., Mukanov B.M. *Vliyanie polnoty i gustoty na rost sosnovykh drevostoev Kazakhskogo melkosopochnika i effektivnost' rubok ukhoda v nikh* [Influence of fullness and density on the growth of pine stands of the Kazakh hills and efficiency of tending felling in them]. Ekaterinburg: UGLTU Publ., 2014, 220 p.
- [8] Bun'kova N.P., Zalesov S.V., Zoteeva E.A., Magasumova A.G. *Osnovy fitomonitoringa* [Fundamentals of phytomonitoring]. Ekaterinburg: UGLTU Publ., 2011, 89 p.
- [9] Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Ekologicheskiy monitoring lesnykh nasazhdeniy rekreatsiionnogo naznacheniya* [Ecological monitoring of forest plantations for recreational purposes]. Ekaterinburg: UGLTU Publ., 2015, 152 p.
- [10] Barannik L.P., Zablotskiy V.I. *Ekologicheskie problemy vossta-novleniya lentochnykh borov posle pozharov* [Ecological problems of rebuilding of belt hog after fires]. *Izvestiya Altai State University*, 1999, no. 3, pp. 61–64.
- [11] Yurovskikh E.V., Zalesov S.V., Magasumova A.G., Bachurina A.V. *Gustota i nadzemnaya fitomassa podrosta sosny na byvshikh sel'skokhozyaystvennykh ugod'yakh* [Density and aboveground phytomass of pine undergrowth on former agricultural lands]. *Agrarnyy vestnik Urals* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2016, no. 11 (153), pp. 80–85.
- [12] Rogozin M.V., Razin G.S. *Razvitie drevostoev. Modeli, zakony, gipotezy* [Development of stands. Models, laws, hypotheses]. Perm: Perm State National Research University Publ., 2015, 277 p.
- [13] Nagimov Z.Ya. *Khod rosta sosnovykh drevostoev raznoy gustoty na Srednem Urals* [The growth of pine stands of different density in the Middle Urals]. *Les Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and their economy], 2016, no. 2 (57), pp. 47–54.
- [14] Osipenko A.E., Zalesov S.V. *Gustota iskusstvennykh sosnyakov na yugo-zapade Altayskogo kraya* [Density of artificial pine forests in the south-west of the Altai territory]. *Agrarnyy vestnik Urals* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2017, no. 2 (156), pp. 51–58.

Authors' information

Zalesov Sergei Veniaminovich — Dr. Sci. (Agricultural), Professor, Head of the Chair «Forestry», Vicerector on Scientific Work of Ural State Forest Engineering University, zalesov@usfeu.ru

Osipenko Aleksey Evgen'evich — pg. of Ural State Forest Engineering University, osipenko_alexey@mail.ru

Received 03.11.2017.

УДК 630.181.65

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-24-30

ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ДРЕВОСТОЕ, ЗАГРЯЗНЕННОМ РАДИОНУКЛИДАМИ

А.А. Белов

Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, Россия, 141202, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, д. 15

belov@roslesrad.ru

Проведено сопоставление многолетних рядов радиального прироста деревьев сосны на локальном участке древостоя. Дана количественная оценка сопряженности раннего и позднего радиального прироста. Сформирована корреляционная матрица динамики раннего и позднего прироста из 120 парных сочетаний деревьев. Показано, что ритмика ростовых процессов в отдельных парах деревьев в одни периоды может совпадать, в другие — существенно различаться. Рассмотрен способ количественной оценки доминирующей тенденции изменения радиального прироста в отдельные отрезки времени с использованием регрессионного анализа.

Ключевые слова: радионуклиды, сосна обыкновенная, годичный прирост, ранняя древесина, поздняя древесина

Ссылка для цитирования: Белов А.А. Индивидуальная изменчивость годовых колец сосны обыкновенной в древостое, загрязненном радионуклидами // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 24–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-24-30

Анализ динамики годичного прироста древесины позволяет достоверно определять количественные параметры реакции деревьев на изменения условий внешней среды за многолетние периоды на основе однократного отбора приростных кернов.

Известна способность деревьев формировать в благоприятные по метеорологическим условиям годы более широкие, а в неблагоприятные годы — более узкие годичные кольца. Помимо погоды вегетационного периода, на текущий прирост дерева оказывают влияние его возраст, положение в древостое, локальное окружение и микроэкологические условия произрастания, т. е. комплекс фитоценологических факторов.

Показано [1], что наиболее пригодны для анализа вариативности годовых колец господствующие деревья (по классификации Крафта), поскольку они наименее подвержены изменениям своего положения в древостое. Отмечается [2–4], что для деревьев, произрастающих в пределах небольшого, однородного в климатическом отношении района, характерна значительная синхронность колебаний годичного прироста древесины.

Цель работы

При дендрохронологических и дендроклиматических исследованиях обычно используются усредненные оценки текущего древесного прироста выборки деревьев в изучаемом насаждении. Такой метод анализа позволяет выявить доминантные тенденции колебаний ширины годичных колец в ответ на одни и те же воздействия внешних факторов. Однако при внешней схожести реакций на идентичные изменения жизненных

условий в каждом конкретном случае обычно наблюдаются большие или меньшие различия в динамике хода роста как разных насаждений в одной местности, так и отдельных деревьев в пределах локальных участков насаждений. В связи с этим индивидуальная ритмика роста деревьев представляет значительный интерес в качестве самостоятельного предмета исследования, результаты которого позволяют детально изучить структуру древостоев по характеру специфических индивидуальных ростовых реакций отдельных деревьев или их групп с внешне сходными характеристиками (порода, возраст, класс роста и развития) на погодные ситуации разных лет.

Методы и объекты исследования

Исследование проведено в 75-летнем сосняке-черничнике II класса бонитета Клинцовского лесничества Брянской области. Согласно данным таксационного перечета, средний диаметр ствола в древостое равен 19,5 см, средняя высота 20 м, сомкнутость крон 0,8. В составе насаждения помимо сосны единично присутствует береза. В ходе полевых исследований в разных частях таксационного выдела отобрано 16 наиболее крупных деревьев I–II классов Крафта, из которых буравом Пресслера извлечено по одному керну с юго-западной стороны ствола. Измерения ширины годичных колец модельных деревьев (отдельно раннего и позднего прироста) за период с 1970 по 2009 г. проведены в условиях лаборатории с использованием бинокулярного микроскопа МБС-10 с точностью до 0,05 мм [5].

При статистической обработке экспериментальных данных линейные размеры весеннего

и летнего слоев годичных колец преобразованы в индексы по методике В.Е. Рудакова [6]: путем деления значений радиального прироста каждого года на его среднее значение за весь анализируемый период, равный сорока годам, т. е. с 36-летнего до 75-летнего возраста.

Результаты и обсуждение

Сопоставление многолетних рядов индексов радиального прироста показало, что между размерами раннего и позднего прироста имеется прямая связь: в одни и те же годы широким слоям весенней древесины чаще всего соответствовали широкие слои летней древесины, и наоборот. Однако статистические параметры этой связи у разных деревьев существенно варьируют. Относительно тесная сопряженность динамики раннего и позднего прироста ($r > 0,5$) с вероятностью $P > 99,8\%$ выявлена у семи из 16 деревьев, умеренная связь ($0,5 > r > 0,4$) при $99,8\% > P > 99\%$ — у четырех, слабая ($0,4 > r > 0,3$) при $99\% > P > 95\%$ — у трех деревьев. У одного дерева отчетливая связь между размерами внутренней и внешней частей годичного кольца отсутствует.

Наибольшему значению коэффициента корреляции между размерами раннего и позднего прироста ($r = 0,627 \pm 0,126$) соответствует коэффициент детерминации $D = r^2 = 0,393$. Это означает, что имеется лишь 39,3 % общих факторов, определяющих скорость роста ранней и поздней древесины этого дерева. У остальных деревьев доля общих факторов, влияющих на ранний и поздний прирост, еще меньше. В связи с этим динамику раннего и позднего прироста древесины деревьев в исследуемом древостое рассматривали отдельно.

При анализе сопряженной динамики радиального прироста при дендрохронологических исследованиях в настоящее время применяется ряд количественных критериев [7]. Для оценки степени синхронности древесно-кольцевых хронологий разных древостоев, произрастающих в одной местности, предложен непараметрический критерий, который рассчитывается путем деления количества совпавших по направлению изменений текущего годичного прироста в анализируемом временном интервале на длительность этого интервала. При значениях коэффициента, превышающих 90 %, синхронность изменений прироста от года к году считается очень высокой, при значениях от 79 до 89 — высокой, от 68 до 78 — средней, от 57 до 67 — низкой и при значениях от 45 до 56 — синхронность отсутствует [8].

В нашем анализе в качестве показателя синхронности древесно-кольцевых хронологий использован стандартный параметрический статистический критерий — парный коэффициент

корреляции, широко применяемый для количественной оценки взаимосвязей в динамических системах. Положительные значения коэффициента корреляции при сравнении многолетних рядов прироста двух деревьев указывают на синхронность изменений ширины их годичных колец, а отрицательные значения — на обратное явление, асинхронность, когда увеличению скорости роста древесины одного дерева в данный год соответствует уменьшение скорости роста другого дерева.

При анализе древесно-кольцевых хронологий за 40-летний период на высокую степень взаимно синхронизированного прироста двух деревьев указывают значения коэффициента корреляции $R > 0,5$ (статистическая достоверность $P > 99,9\%$), на значительную синхронность — значения $0,5 > R > 0,4$ (статистическая достоверность $P > 99\%$), на умеренно синхронизированный прирост — $0,4 > R > 0,3$ ($P > 95\%$). Равным образом, значительной степени асинхронности динамики прироста двух деревьев соответствует значение $R < -0,40$, а частичной асинхронности — значение $-0,40 < R < -0,30$. При оценках коэффициента корреляции в диапазоне $0,30 < R < -0,30$ колебания ширины годичных колец двух сравниваемых деревьев можно квалифицировать как независимые.

Объем выборки, равный 16 модельным деревьям, позволяет сформировать корреляционные матрицы для раннего и позднего прироста из 120 парных сочетаний деревьев. Как показал статистический анализ, частные значения коэффициента корреляции в такой матрице для различных пар деревьев варьируют в широком диапазоне: для раннего прироста — от $0,771 \pm 0,104$ до $-0,412 \pm 0,148$, для позднего — от $0,647 \pm 0,124$ до $-0,500 \pm 0,141$.

В рамках проанализированной выборки деревьев наблюдаются все указанные выше варианты характеристик сопряженности динамики радиального прироста: от взаимно синхронизированных до значительно асинхронизированных древесно-кольцевых хронологий у различных пар деревьев. Ранний прирост оказался синхронизированным в общей сложности у 72 пар деревьев из 120 возможных сочетаний, в том числе у 46 пар деревьев оценки показателя синхронности колебались в диапазоне $0,771 > R > 0,407$ и у 26 пар деревьев — в диапазоне $0,402 > R > 0,317$. Синхронизация позднего прироста отмечена значительно реже: у 28 пар деревьев, в том числе у 18 пар с оценками $0,647 > R > 0,412$ и у 10 пар с оценками $0,395 > R > 0,311$.

Значительно асинхронизированная динамика раннего прироста выявлена лишь у одной пары модельных деревьев — № 11 и 15 ($R = -0,412 \pm 0,148$), а позднего прироста — у деревьев № 7

и 10 ($R = -0,500 \pm 0,141$). Кроме того, у пяти пар деревьев древесно-кольцевые хронологии оказались частично асинхронизированными ($-0,302 > R > -0,381$). Независимые колебания ширины годичных слоев ранней древесины выявлены у 47, поздней древесины — у 86 пар деревьев.

Причины столь значительных различий в показателях синхронности динамики роста разных частей годичного кольца заключаются в особенностях сезонного роста и развития древесных растений.

Внутренняя часть годичного кольца (весенняя древесина) образуется в начале вегетационного периода, в основном за счет внутреннего резерва накопленных деревом питательных веществ. Размер раннего прироста относительно стабилен, поскольку в значительной мере определяется общим физиологическим состоянием дерева, хотя и колеблется при изменениях гидрологического и теплового режима почвы в разные годы [9].

Формирование внешней части годичного кольца (позднего прироста) в большей мере происходит за счет органических веществ, синтезируемых в текущем вегетационном периоде. В связи с этим поздний прирост более, нежели ранний, зависит от переменных факторов внешней среды, при этом существенное значение имеет не только общий гидрологический и температурный режим насаждения, но и его характеристики в микростациях каждого конкретного дерева.

Результаты проведенного статистического анализа позволяют сделать вывод о том, что в насаждениях сосны в возрастном диапазоне от 36 до 75 лет даже при сравнительно большой сомкнутости полога леса имеет место существенное разнообразие микростациальных условий, ведущее к фактически независимым колебаниям позднего прироста древесины у значительной части древостоя.

Другой возможной причиной низких показателей синхронности динамики прироста древесины деревьев могут быть различия во внутренних биоритмах деревьев. Известно, что динамика прироста древесины отличается полициклическим характером: выявлены циклы, близкие к циклическим колебаниям солнечной активности и, кроме того, циклы разной продолжительности — от нескольких лет до нескольких десятилетий [10]. Накладываясь друг на друга, эти циклы в совокупности с влиянием возрастных изменений динамики роста деревьев и комплекса глобальных и локальных факторов формируют специфическую индивидуальную дендрограмму изменений прироста по годам каждого отдельно взятого дерева. При статистической обработке экспериментальных данных проведена математическая регрессионная аппроксимация фактических ден-

дрограмм модельных деревьев с использованием уравнений параболы 5-го порядка общего вида

$$ZR_{ind} = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 + a_4T^4 + a_5T^5 \pm m_{y/x}, \quad (1)$$

где ZR_{ind} — расчетное значение индекса радиального прироста, %;

a_0, \dots, a_5 — эмпирические коэффициенты;

T — фактор времени, значение которого колеблется от 1 до 40 при возрасте деревьев соответственно от 36 до 75 лет;

$\pm m_{y/x}$ — стандартная ошибка уравнения, %.

Анализ уравнений (табл. 1 и 2) позволяет выделить следующие особенности ритмики радиального прироста деревьев исследованного соснового насаждения. Первый год анализируемого периода (1970) отличался быстрым ростом большинства деревьев по толщине ствола: средний индекс прироста для древостоя в целом составил 160,2 % для ранней и 132,9 % для поздней древесины. К концу первого десятилетия средний индекс раннего прироста снизился до 99,3 %, а позднего прироста — до 92,4 %. Иными словами, в течение 1970–1979 гг. прирост ранней древесины ежегодно уменьшался в среднем на 6,8 %, а поздней древесины — на 4,5 %.

В течение следующих двадцати лет (1980–1999) годичный ранний прирост древостоя продолжал снижаться, хотя и сравнительно медленными темпами: к 1989 г. средний индекс раннего прироста уменьшился до 95,8 %, к 1999 г. — до 86,6 %, т. е. ежегодно в среднем на 0,35 и 0,92 % соответственно.

Скорость роста поздней древесины в 1980–1989 гг. медленно возрастала (в среднем на 0,83 % в год), в результате чего средний индекс позднего прироста за десятилетие увеличился с 92,4 до 100,7 %. В следующее десятилетие возобладала тенденция к уменьшению скорости роста (в среднем на 0,51 % в год), и к 1999 г. индекс позднего прироста уменьшился до 95,6 %.

В десятилетие с 2000 по 2009 г. скорость роста как ранней, так и поздней древесины заметно возросла (соответственно в среднем на 2,21 и 2,58 % за год), в результате чего средний индекс раннего прироста всей совокупности модельных деревьев в 2009 г. составил 108,7 %, а индекс позднего прироста — 121,4 %.

Таким образом, в обобщенном виде изменения индекса раннего прироста в течение рассмотренного 40-летнего периода можно представить в виде вогнутой кривой, имеющей две точки максимума (в начале и конце периода) и одну точку минимума (в середине периода). Дендрограмма индекса позднего прироста имеет три точки максимума, включая слабо выраженный максимум в середине периода, и две точки минимума в конце первого и третьего десятилетия.

Т а б л и ц а 1

Коэффициенты уравнений зависимости индекса раннего прироста модельных деревьев от фактора времени (по уравнению (1))

Coefficients of the equations of the index of early growth of model trees on the time factor (according to equation (1))

| № дерева | Коэффициент уравнения | | | | | | $m_{y/x}$ |
|----------|-----------------------|----------|----------|-----------|------------|--------------|-----------|
| | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | |
| 1 | 168,7 | 3,0742 | -2,35218 | 0,184569 | -0,0054240 | 0,000055576 | 19,3 |
| 2 | 254,3 | -54,8759 | 6,11967 | -0,287006 | 0,0059013 | -0,000043842 | 17,9 |
| 3 | 127,9 | -7,5496 | 0,30766 | 0,015211 | -0,0009917 | 0,000013109 | 20,3 |
| 4 | 113,1 | 11,0125 | -2,74536 | 0,201897 | -0,0060759 | 0,000065062 | 17,2 |
| 5 | 96,5 | 9,4582 | -1,22394 | 0,052574 | -0,0009040 | 0,000005199 | 25,0 |
| 6 | 239,9 | -21,9336 | 1,29124 | -0,050856 | 0,0012371 | -0,000012180 | 35,8 |
| 7 | 119,7 | -15,7440 | 1,92518 | -0,091379 | 0,0019108 | -0,000014527 | 18,2 |
| 8 | 191,9 | -18,9649 | 0,86431 | 0,017905 | -0,0017824 | 0,000026566 | 21,3 |
| 9 | 163,0 | -15,9870 | 1,63949 | -0,075100 | 0,0014756 | -0,000010002 | 23,9 |
| 10 | 225,4 | -4,2136 | -2,30030 | 0,215648 | -0,0068484 | 0,000072844 | 19,5 |
| 11 | 186,9 | -15,2275 | 0,08735 | 0,052158 | -0,0020786 | 0,000023511 | 21,6 |
| 12 | 127,4 | -6,3772 | 0,72009 | -0,036980 | 0,0008386 | -0,000007090 | 19,3 |
| 13 | 219,9 | -30,5195 | 2,95652 | -0,119880 | 0,0018928 | -0,000007958 | 21,9 |
| 14 | 290,2 | -70,5215 | 9,29099 | -0,528337 | 0,0131301 | -0,000117316 | 22,9 |
| 15 | 41,3 | 29,6959 | -4,05795 | 0,242784 | -0,0064982 | 0,000062772 | 28,0 |
| 16 | 234,4 | -45,3246 | 5,34561 | -0,282074 | 0,0067956 | -0,000061112 | 24,7 |

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты уравнений зависимости индекса позднего прироста модельных деревьев от фактора времени (по уравнению (1))

The coefficients of the equations of the index of late growth of model trees on the time factor (according to equation (1))

| № дерева | Коэффициент уравнения | | | | | | $m_{y/x}$ |
|----------|-----------------------|----------|----------|-----------|------------|--------------|-----------|
| | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | |
| 1 | 118,5 | 5,6574 | -1,74402 | 0,126964 | -0,0036609 | 0,000037556 | 20,9 |
| 2 | 123,5 | -3,2185 | 0,10185 | 0,009315 | -0,0006392 | 0,000009663 | 23,1 |
| 3 | 115,5 | -6,9009 | 0,60053 | -0,012051 | -0,0003064 | 0,000008874 | 20,9 |
| 4 | 140,8 | -5,2697 | -0,36165 | 0,058524 | -0,0022042 | 0,000026338 | 23,5 |
| 5 | 83,4 | -3,7277 | 0,75481 | -0,035589 | 0,0004652 | 0,000001098 | 22,2 |
| 6 | 283,9 | -54,7383 | 5,78176 | -0,298682 | 0,0072999 | -0,000066190 | 22,9 |
| 7 | 39,6 | 6,0678 | -0,75124 | 0,063983 | -0,0021932 | 0,000025609 | 24,8 |
| 8 | 104,8 | -8,6016 | 1,30157 | -0,073366 | 0,0018457 | -0,000017451 | 21,1 |
| 9 | 143,9 | -8,2364 | 0,42133 | 0,004094 | -0,0008541 | 0,000015673 | 26,4 |
| 10 | 239,6 | -43,2182 | 4,96000 | -0,255238 | 0,0059368 | -0,000051228 | 19,2 |
| 11 | 70,3 | 16,9033 | -3,64776 | 0,250486 | -0,0066746 | 0,000061290 | 22,6 |
| 12 | 145,6 | -9,6417 | 0,73796 | -0,020570 | 0,0001020 | 0,000001839 | 18,1 |
| 13 | 130,2 | -8,9142 | 0,62629 | 0,003739 | -0,0011107 | 0,000018932 | 15,2 |
| 14 | 153,7 | -47,1135 | 7,88525 | -0,494027 | 0,0130075 | -0,000121414 | 23,7 |
| 15 | 69,7 | 9,1454 | -1,18370 | 0,091817 | -0,0031329 | 0,000035951 | 26,2 |
| 16 | 163,4 | -24,7722 | 2,99965 | -0,160617 | 0,0039852 | -0,000037334 | 20,5 |

Отмеченные общие особенности динамики радиального прироста для исследованного древостоя у разных деревьев проявлялись в разной степени, а в некоторых случаях были сугубо специфическими.

Для количественной оценки доминирующей тенденции изменения радиального прироста по десятилетиям использованы коэффициенты линейной регрессии этого показателя (отдельно для

каждого модельного дерева) на фактор времени. Положительное значение коэффициента регрессии ($K_b > 0$) указывает на тенденцию к увеличению, отрицательное ($K_b < 0$) — на тенденцию к уменьшению прироста по годам. Чем больше абсолютное значение коэффициента, тем более значительной была степень изменений (возрастание или уменьшение) радиального прироста в рамках рассматриваемого периода. Так, оценка

$K_b = 4,5$ означает, что в течение данного десятилетия индекс текущего прироста древесины ежегодно возрастал в среднем на 4,5 %.

Судя по величине коэффициента регрессии (табл. 3), в период с 1970 по 1979 г. тенденция к существенному уменьшению раннего прироста ($K_b < -8,0$) была характерна для девяти деревьев, к умеренному ($-8,0 < K_b < -4,0$) — для одного и к незначительному уменьшению ($-4,0 < K_b < 0$) — для четырех деревьев. Кроме того, у двух деревьев отмечена противоположная тенденция — к увеличению раннего прироста (незначительному для дерева № 5 и умеренному для дерева № 15). В следующие 20 лет у части модельных деревьев зафиксирована тенденция к незначительному или, реже, умеренному увеличению (в 1980–1989 гг. у восьми и в 1990–1999 гг. — у 11 деревьев), а у другой части — тенденция к уменьшению (у восьми и пяти деревьев соответственно). В период с 2000 по 2009 г. у большинства деревьев (9 из 16) отмечена тенденция к незначительному увеличению раннего прироста, у трех деревьев — к существенному увеличению, а у четырех деревьев — к незначительному снижению прироста.

Для динамики позднего прироста разных групп деревьев также было характерно наличие разнонаправленных тенденций. Так, в период с 1970 по 1979 г. тенденция к уменьшению прироста проявилась у 13 деревьев, к увеличению — у трех деревьев, в 1980–1989 гг. — соответственно у четырех и двенадцати, в 1990–1999 гг. —

у девяти и семи, в 2000–2009 гг. — у шести и десяти деревьев.

Сопоставление коэффициентов регрессии (см. табл. 3) позволяет выделить деревья со специфической, отличающейся от типичной, ритмикой ростовых процессов. К этой группе можно отнести три модельных дерева — № 5, 8 и 15. Первое из них заметно отличается от остальной части древостоя показателями регрессии раннего, второе — позднего прироста, а дерево № 15 — обоих видов прироста, причем в некоторых случаях динамика прироста последнего из перечисленных деревьев прямо противоположна ритмике ростовых процессов большинства остальных. Так, коэффициенты регрессии раннего прироста дерева № 15 (значения K_b по десятилетиям: 4,8; 0,1; -2,1; -3,3) и дерева № 6 (-12,0; -3,7; 0,9; 1,7) наглядно иллюстрируют взаимную асинхронность их динамики роста древесины.

Ритмика ростовых процессов в отдельных парах деревьев в одни периоды может совпадать, в другие — существенно различаться; примером служат результаты регрессионного анализа для раннего прироста деревьев № 1 и 2. Причиной данного явления может быть, с одной стороны, несовпадение частотно-амплитудных характеристик ритмики роста разных деревьев, с другой стороны, различие в силе воздействия факторов внешней среды, содействующих или препятствующих синхронности динамики прироста. В частности, можно предположить, что если фактором является влажность почвы в микростанции, то в

Т а б л и ц а 3

Коэффициенты регрессии индивидуальных индексов раннего и позднего прироста древесины модельных деревьев на фактор времени по десятилетиям (по уравнению (1))
Regression coefficients of individual indices of early and late tree growth of model trees on the time factor within decades (according to equation (1))

| № дерева | Коэффициент линейной регрессии, % в год | | | | | | | |
|----------|-----------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Ранний прирост в годы | | | | Поздний прирост в годы | | | |
| | 1970–1979 | 1980–1989 | 1990–1990 | 2000–2009 | 1970–1979 | 1980–1989 | 1990–1990 | 2000–2009 |
| 1 | -8,2 | -1,7 | 1,2 | 7,1 | -3,4 | -0,7 | 1,0 | 6,1 |
| 2 | -12,4 | 2,8 | -3,6 | 2,2 | -1,7 | -0,2 | -1,7 | 2,2 |
| 3 | -3,4 | 1,7 | -0,3 | -1,0 | -1,8 | 0,9 | -1,1 | 6,7 |
| 4 | -3,3 | -0,6 | -0,5 | 11,1 | -5,0 | 0,3 | 0,2 | 6,2 |
| 5 | 0,7 | -2,4 | 0,5 | 0,7 | 1,3 | 1,2 | -1,2 | 7,9 |
| 6 | -12,0 | -3,7 | 0,9 | 1,7 | -16,0 | -1,2 | 1,9 | 5,8 |
| 7 | -2,4 | 2,2 | 0,3 | 2,0 | 2,6 | 3,5 | 1,4 | 6,6 |
| 8 | -9,1 | 1,4 | -1,9 | 3,6 | -0,4 | 1,3 | 0,2 | -2,3 |
| 9 | -4,5 | -0,3 | -2,0 | 1,3 | -3,9 | -0,6 | -2,0 | 10,0 |
| 10 | -12,9 | -1,6 | -1,2 | 3,1 | -10,2 | 0,1 | -2,5 | -1,3 |
| 11 | -10,6 | 0,6 | 2,7 | 3,7 | -2,8 | 2,4 | 5,9 | -1,7 |
| 12 | -1,6 | -0,3 | -1,1 | -1,4 | -3,6 | 0,3 | -1,5 | -1,9 |
| 13 | -8,8 | 0,3 | -4,6 | 2,4 | -2,6 | 1,8 | -3,1 | 2,5 |
| 14 | -12,1 | -1,5 | -3,8 | 7,7 | -0,7 | 0,2 | -2,0 | 6,0 |
| 15 | 4,8 | 0,1 | -2,1 | -3,3 | 3,0 | 2,1 | -3,8 | -1,4 |
| 16 | -10,1 | 0,5 | -1,2 | -2,7 | -5,1 | 1,0 | 0,3 | -3,3 |

десятилетие с большим количеством осадков синхронность динамики прироста будет возрастать, а в засушливые годы — напротив, уменьшаться. Однако изучение этих аспектов индивидуальной изменчивости годичных колец деревьев требует сопоставления больших массивов экспериментальных данных из разных биотопов.

Выводы

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о большом разнообразии индивидуальных характеристик динамики ростовых процессов деревьев сосны как в пределах отдельно взятых вегетационных периодов, так и в рамках многолетних периодов.

Значительные колебания показателей сопряженности динамики раннего и позднего радиального прироста древесины указывают на необходимость раздельного измерения двух составных частей годичного кольца при исследованиях хода роста сосновых насаждений, в том числе с целью разработки таксационных нормативов текущего прироста насаждений.

Широкий спектр индивидуальных параметров многолетней волновой динамики радиального прироста деревьев, обусловленный разнообразием их биоритмов в совокупности с пестротой локальных микроэкологических условий таксационного выдела, определяет необходимость использования кластерного подхода при проведении дендрометрического анализа, предполагающего деление модельных деревьев на группы в соответствии с особенностями динамики прироста. За

основу нормативных расчетов следует принимать результаты анализа модельных деревьев в кластере, отражающем типичную модель динамики радиального прироста насаждения.

Список литературы

- [1] Комин Г.Е. Влияние климатических и фитоценологических факторов на прирост деревьев в древостоях // Экология, 1973. № 1. С. 74–83.
- [2] Битвинская Т.Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеониздат, 1974. 172 с.
- [3] Вихров В.Е., Колчин Б.А. Основы и метод дендрохронологии // Советская археология, 1962. № 1. С. 95–112.
- [4] Shove D.J. Tree rings and climatic chronology // Ann. N.Y. Acad. Sci., 1961, v. 95, no. 1, pp. 605–622.
- [5] Белов А.А. Потенциальные изменения прироста сосновых насаждений в зоне аварии на Чернобыльской АЭС под воздействием потепления климата // Тр. СПбНИИЛХа. СПб: СПбНИИЛХ, 2013. № 1. С. 34–39.
- [6] Рудаков В.Е. О методике изучения влияния колебаний климата на ширину годичных колец деревьев // Ботанический журнал, 1958. Т. 43. № 12. С. 1709–1712.
- [7] Ваганов Е.А., Терсков И.А. Анализ роста дерева по структуре годичных колец. Новосибирск: Наука, 1977. 93 с.
- [8] Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Цикличность радиального прироста деревьев в высокогорьях Урала // Дендрохронология и дендроклиматология. Новосибирск: Наука, 1986. С. 136–160.
- [9] Козлов В.А., Кистерная М.В., Неронова А.А. Формирование годичного кольца у сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) при проведении гидролесомелиоративных работ // Лесные ресурсы таежной зоны России: проблемы лесопользования и лесовосстановления / под ред. В.И. Крутова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 205–207.
- [10] Ловелиус Н.В. Изменчивость прироста деревьев. Л.: Наука, 1979. 232 с.

Сведения об авторе

Белов Артём Анатольевич — научный сотрудник лаборатории радиационного контроля Отдела радиационной экологии и пирологии леса Федерального бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ФБУ ВНИИЛМ), belov@roslesrad.ru

Статья поступила в редакцию 16.10.2017.

THE INDIVIDUAL VARIABILITY OF SCOTCH PINE ANNUAL RINGS IN FOREST STAND CONTAMINATED WITH RADIONUCLIDE

A.A. Belov

ALL-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (VNIILM)

belov@roslesrad.ru

Comparison of perennial series of Scotch pine annual rings in the local forest stand contaminated with radionuclide as a result of the Chernobyl accident is accomplished. The quantitative evaluating conjugation of spring and summer radial wood growths is done. The correlation matrix for 120 paired combinations of spring and summer radial wood growths is formed. It is shown that the rhythm of growth processes in separate trees pairs may be the same in any time periods and may be significantly different in other time periods. The method of the quantitative evaluating dominant trend of wood growth variation in separate time periods using regression analysis is studied.

Keywords: radioecology, radionuclide, caesium-137, Scotch pine, annual increment, springwood, summerwood

Suggested citation: Belov A.A. *Individual'naya izmenchivost' godichnykh kolets sosny obyknovnoy v drevostoe, zagryaznenom radionuklidami* [The individual variability of Scotch pine annual rings in forest stand contaminated with radionuclide]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 24–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-24-30

References

- [1] Komin G.E. *Vliyaniye klimaticheskikh i fitotsenoticheskikh faktorov na prirost derev'ev v drevostoyakh* [Influence of climatic and phytocenotic factors on tree growth in stands]. *Ecology*, 1973, no. 1, pp. 74–83.
- [2] Bitvinskas T.T. *Dendroklimaticheskie issledovaniya* [Dendroclimatic research]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974, 172 p.
- [3] Vikhrov V.E., Kolchin B.A. *Osnovy i metod dendrokronologii* [Bases and the method of dendrochronology]. *Sovetskaya arkhologiya* [Soviet archeology], 1962, no. 1, pp. 95–112.
- [4] Shove D.J. Tree rings and climatic chronology. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1961, v. 95, no. 1, pp. 605–622.
- [5] Belov A.A. *Potentsial'nye izmeneniya prirosta sosnovykh nasazhdeniy v zone avarii na Chernobyl'skoy AES pod vozdeystviem potepeniya klimata* [Potential changes in the growth of pine plantations in the zone of the Chernobyl accident under the influence of climate warming]. *Proceedings of SPbNIIKKh. SPb: SPbNIIKH*, 2013, no. 1, pp. 34–39.
- [6] Rudakov V.E. *O metodike izucheniya vliyaniya kolebaniy klimata na shirinu godichnykh kolets derev'ev* [On the method of studying the influence of climate fluctuations on the width of annual rings of trees]. *Botanicheskiy zhurnal*, 1958, v. 43, no. 12, pp. 1709–1712.
- [7] Vaganov E.A., Terskov I.A. *Analiz rosta dereva po strukture godichnykh kolets* [Analysis of tree growth according to the structure of annual rings]. Novosibirsk: Nauka [Science] Siberian Branch, 1977, 93 p.
- [8] Shiyatov S.G., Mazepa V.S. *Tsiklichnost' radial'nogo prirosta derev'ev v vysokogor'yakh Urala* [Cyclicity of radial tree growth in the highlands of the Urals]. *Dendrochronology and dendroclimatology*. Novosibirsk: Nauka [Science] Siberian Branch, 1986. pp. 136–160.
- [9] Kozlov V.A., Kisternaya M.V., Neronova A.A. *Formirovaniye godichnogo kol'tsa u sosny obyknovnoy (P. sylvestris L.) pri provedenii gidrolesomeliorativnykh rabot* [Formation of the annual ring in Scots pine (*P. sylvestris* L.) during hydro-forest improvement works]. *Forest resources of the taiga zone of Russia: problems of forest management and reforestation*. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2009, pp. 205–207.
- [10] Lovelius N.V. *Izmenchivost' prirosta derev'ev* [Variability of tree growth]. Leningrad: Nauka [Science], 1979, 232 pp.

Author's information

Belov Artyom Anatol'evich — Research Officer of the Laboratory of Radiation Control Department of Radiation Ecology and Forestry Pyrology of ALL-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (VNIILM), belov@roslesrad.ru

Received 16.10.2017.

УДК 681.518.25

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-31-35

НЕЙРОНЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗА СЕМЕНОШЕНИЯ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

О.М. Полещук, С.Б. Васильев

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
poleshchuk@mgul.ac.ru

Разработана нейронечеткая модель для прогноза семеношения лесных культур в условиях техногенных ландшафтов на примере семеношения сосны Банка на рекультивационных ландшафтах Егорьевского месторождения фосфоритов. Выбор нейронечеткой модели является оправданным, поскольку стандартные методы прогноза не дают удовлетворительных результатов и не позволяют учесть неполноту и нечеткость исходной информации. Проведен сравнительный анализ классических регрессионных моделей, нейронных сетей и разработанной нейронечеткой модели, который показал эффективность и адекватность нейронечеткой модели.

Ключевые слова: экспертная информация, лингвистическая переменная, функция принадлежности, нейронечеткая модель, семеношение в условиях техногенных ландшафтов

Ссылка для цитирования: Полещук О.М., Васильев С.Б. Нейронечеткая модель для прогноза семеношения лесных культур в условиях техногенных ландшафтов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 31–35. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-31-35

Для использования в хозяйстве нарушенных земель и предотвращения вредного влияния их на окружающую среду проводится рекультивация, под которой понимают искусственное восстановление земель и растительного покрова после техногенного нарушения ландшафта. Мировой опыт по рекультивации земель насчитывает приблизительно 90 лет. Первые работы по рекультивации земель были проведены в 1926 г. на участках, нарушенных горными работами (США, штат Индиана). Наиболее перспективным видом преобразования техногенных ландшафтов, как правило, является лесная рекультивация земель, которая занимает более 75 % общего объема рекультивации. Введение в искусственные лесные насаждения ценных интродуцированных пород имеет существенное лесоэкологическое значение. Расширяются ареалы ценных лесообразователей, увеличивается породное разнообразие насаждений, повышаются возможности их функционального использования.

Общеизвестна многогранная роль лесов в стабилизации природных процессов и регулировании их интенсивности. Леса, создаваемые на нарушенных землях, очень важны в масштабах экономики и общества, поскольку имеют лесохозяйственно-сырьевое назначение, выполняют почвозащитную, водоохранную и рекреационную функции, играют большую роль в улучшении санитарно-гигиенических условий окружающей среды.

К основным причинам, сдерживающим процесс интродукции, следует отнести отсутствие региональных семенных баз, создание которых невозможно без анализа результатов первичного испытания древесных растений, прогноза семен-

ной продуктивности и качества семян по результатам этих испытаний. В большинстве областей Российской Федерации нет ни продуцирующих постоянных лесосеменных участков ни, тем более, лесосеменных плантаций. Из-за отсутствия семян их заготовка иногда ведется даже в городских посадках. Таким образом, проблема создания семенной базы лесных пород, используемых для рекультивации техногенных ландшафтов в зависимости от их специфики, крайне актуальна.

Не менее актуальна проблема обработки данных и получения адекватных результатов, которые являются основополагающими в задачах принятия решений по использованию лесных культур в процессах интродукции. Необходимо проводить анализ и прогноз семеношения лесных пород, осуществлять мониторинг их жизнеспособности, а также принимать обоснованные решения с учетом особенностей техногенных ландшафтов [1].

Следует отметить специфику и сложность рассматриваемой проблемной области. Это связано с наличием: нечеткости (размытости) определения ряда характеристик; случайного фактора в их оценке; неопределенности в рассматриваемых условиях и целях; субъективной составляющей в поступающей экспертной информации, которую необходимо учитывать. Все это в совокупности приводит к тому, что традиционно используемые методы классического регрессионного анализа не позволяют решать задачи анализа и прогноза данных семеношения с целью получения адекватных конечных результатов и выработки эффективных управленческих решений [2].

С целью устранения недостатков методов классического регрессионного анализа с середи-

ны 90-х гг. XX в. стали применять прогнозные модели с использованием нечеткой логики и нейронных сетей. Технологии искусственного интеллекта, созданные с помощью методов нечеткой логики и нейронных сетей, получили название нейронечетких технологий. Стремление объединить нечеткую логику и нейронные сети вызвано желанием преодолеть ограничения, присущие каждому из методов в отдельности. В основе нейронечетких сетей лежит аппарат нечеткой логики, на базе которого делаются окончательные выводы, а соответствующие функции принадлежности настраиваются на базе алгоритмов обучения нейронных сетей, например алгоритма обратного распространения ошибки или метода рекуррентного спуска.

Основные понятия

Нейроном в информатике называют вычислительную единицу, которая получает информацию, производит над ней простые вычисления и передает ее дальше. Нейроны подразделяют на три типа: входные, скрытые и выходные. У каждого из нейронов есть два основных параметра: входные данные и выходные данные. Синапсом называют связь между двумя нейронами. У синапсов параметром является вес. При инициализации вес нейронов расставляется случайно. Выходная информация для нейрона — сумма всех входных данных, умноженных на соответствующие веса [2].

Нечетким множеством A [3] называется множество пар вида $\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X\}$, где $\mu_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0, 1]$.

Нечетким числом \tilde{A} называется нечеткое множество [3], имеющее функцию принадлежности $\mu_{\tilde{A}}(x) : R \rightarrow [0, 1]$.

Лингвистической переменной [4] называется пятерка

$$\{X, T(X), U, V, S\},$$

где X — название переменной;

$T(X) = \{X_i, i = \overline{1, m}\}$ — терм-множество переменной X , т. е. множество термов, или названий, лингвистических значений переменной X (каждое из этих значений — нечеткая переменная со значениями из универсального множества U);

V — синтаксическое правило, порождающее названия значений лингвистической переменной X ;

S — семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной с названием из $T(X)$ нечеткое подмножество универсального множества U .

Рассмотрим нейронечеткую сеть, которая называется адаптивной нейронечеткой системой вывода (ANFIS). Эта сеть состоит из пяти слоев. Опишем кратко функции каждого слоя.

Первый слой — входные нейроны, которые представляют собой числовые значения определенных термов лингвистических переменных. Узлами первого слоя являются функции принадлежности этих лингвистических переменных. Число узлов первого слоя соответствует числу термов входных лингвистических переменных. Выходом каждого узла является степень принадлежности числового входного значения к определенному терму лингвистических переменных. Первый слой называется слоем фаззификации входных данных.

Второй слой — входные нейроны, которые представляют собой значения функций принадлежности лингвистических переменных. Узлами второго слоя являются нечеткие правила. Число узлов соответствует числу нечетких правил. Каждый узел отвечает за одно правило. Нейроны второго слоя связаны только с теми нейронами первого слоя, которые входят в это правило.

Третий слой — входные нейроны, реализовавшие нечеткие правила узлов второго слоя. Узлами третьего слоя являются операции треугольной нормы (T -нормы). Частным случаем этой операции является, например, широко используемая операция взятия минимума, или умножения. Число узлов третьего слоя равно числу строк — конъюнкций (логическая операция «И») в системе нечетких правил. Выходными нейронами третьего слоя являются результаты операций T -нормы.

Треугольной нормой, или T -нормой, называется действительная двухместная функция $T : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$, удовлетворяющая следующим условиям [5]:

- 1) $T(0, 0) = 0, T(\mu_{\tilde{A}}, 1) = T(1, \mu_{\tilde{A}}) = \mu_{\tilde{A}}$ (ограниченность);
- 2) $T(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}}) \leq T(\mu_{\tilde{C}}, \mu_{\tilde{D}})$, если $\mu_{\tilde{A}} \leq \mu_{\tilde{C}}, \mu_{\tilde{B}} \leq \mu_{\tilde{D}}$ (монотонность);
- 3) $T(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}}) = T(\mu_{\tilde{B}}, \mu_{\tilde{A}})$ (коммутативность);
- 4) $T(\mu_{\tilde{A}}, T(\mu_{\tilde{B}}, \mu_{\tilde{C}})) = T(T(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}}), \mu_{\tilde{C}})$ (ассоциативность).

Четвертый слой — входные нейроны после выполнения операции треугольной нормы третьего слоя. Узлами четвертого слоя являются операции треугольной конормы. Частным случаем этой операции является, например, широко используемая операция взятия максимума, или сложения. Число узлов четвертого слоя соответствует числу лингвистических термов выходной переменной.

Треугольной конормой называется действительная двухместная функция $K : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$, удовлетворяющая следующим условиям [6]:

- 1) $K(0, 0) = 0, K(\mu_{\tilde{A}}, 0) = K(0, \mu_{\tilde{A}}) = \mu_{\tilde{A}}$ (ограниченность);
- 2) $K(\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}}) \leq K(\mu_{\tilde{C}}, \mu_{\tilde{D}})$, если $\mu_{\tilde{A}} \leq \mu_{\tilde{C}}, \mu_{\tilde{B}} \leq \mu_{\tilde{D}}$ (монотонность);

3) $K(\mu_{\bar{A}}, \mu_{\bar{B}}) = K(\mu_{\bar{B}}, \mu_{\bar{A}})$ (коммутативность);

4) $K(\mu_{\bar{A}}, K(\mu_{\bar{B}}, \mu_{\bar{C}})) = K(K(\mu_{\bar{A}}, \mu_{\bar{B}}), \mu_{\bar{C}})$ (ассоциативность).

Пятый слой суммирует вклад каждого правила и находит четкое выходное значение. Пятый слой называется слоем дефаззификации.

Цель работы

Настоящая работа посвящена изучению вопроса семеношения сосны Банкса на рекультивационных ландшафтах Егорьевского месторождения фосфоритов. Выбор сосны Банкса для исследования не случаен, поскольку она мирится с суровым климатом и обладает быстрым ростом (дает по 2–3 прироста в год).

Была поставлена задача изучения зависимости между выходной и входными переменными с целью прогноза веса семян после сушки.

Методы и объекты исследования

В качестве исходного материала были взяты данные этой сосны по урожаю шишек. В качестве выходной переменной y рассматривался вес семян после сушки (в граммах), в качестве входных переменных рассматривались: x_1 — масса шишки до сушки (в граммах), x_2 — длина шишки до сушки (в сантиметрах), x_3 — диаметр шишки до сушки (в сантиметрах), x_4 — масса шишки после сушки (в граммах), x_5 — количество семян после сушки.

Для построения зависимостей были выбраны следующие регрессионные модели:

- 1) классическая линейная регрессионная модель;
- 2) классическая квадратичная регрессионная модель;
- 3) классические нейронные сети (многослойный персептрон);
- 4) нейронечеткая модель.

Результаты и обсуждение

1. Классическая линейная регрессионная модель. Построены две классические линейные регрессионные модели. Для обучения первой регрессионной модели использовались 20 % исходных данных, предсказывались 80 % данных. Получены следующие результаты: $R^2 = 0,481241853$, процент верного прогноза — 11,25. Вид регрессионной модели:

$$y = 0,0000582 - 0,000798265x_1 + 0,003710811x_2 - 0,014598138x_3 + 0,004301971x_4 + 0,00553x_5.$$

Для обучения второй линейной регрессионной модели использовались 100 % исходных данных, предсказывались 100 % данных. Результаты: $R^2 = 0,881389$, процент верного прогноза — 30.

Вид регрессионной модели:

$$y = 0,0311209 + 0,001109068x_1 - 0,001022821x_2 - 0,03644694x_3 + 0,008924664x_4 + 0,005191x_5.$$

2. Классическая квадратичная регрессия.

Аналогично линейной были построены две классические квадратичные регрессионные модели. Для обучения первой регрессионной модели использовались 20 % исходных данных, предсказывались 80 % данных. Получены следующие результаты: $R^2 = 0,45$, процент верного прогноза — 8,75. Вид регрессионной модели:

$$y = 0,118787 + 0,107328x_1 + 0,6789x_2 - 1,6891x_3 - 0,121274x_4 + 0,0249012x_5 + 0,104395x_1^2 - 0,152918x_2^2 + 0,630976x_3^2 + 0,0787074x_4^2 + 0,0000831281x_5^2 - 0,0902681x_1x_2 - 0,00216325x_1x_3 - 0,222472x_1x_4 - 0,00143429x_1x_5 + 0,00967899x_2x_3 + 0,236338x_2x_4 + 0,0000398561x_2x_5 - 0,11937x_3x_4 - 0,0182906x_3x_5 + 0,00484114x_4x_5.$$

Для обучения второй регрессионной модели использовались 100 % исходных данных, предсказывались 100 % данных. Результаты: $R^2 = 0,903111$, процент верного прогноза — 25. Вид регрессионной модели:

$$y = 0,0858584 - 0,0948945x_1 + 0,0145514x_2 - 0,315832x_3 + 0,178576x_4 + 0,0119976x_5 - 0,0000126253x_1^2 + 0,00359926x_2^2 + 0,141342x_3^2 + 0,0131169x_4^2 + 0,0000121809x_5^2 + 0,0160592x_1x_2 + 0,0295964x_1x_3 - 0,00576666x_1x_4 + 0,0000318313x_1x_5 - 0,0317832x_2x_4 + 0,000543361x_2x_5 - 0,0733748x_3x_4 - 0,0061723x_3x_5 + 0,000565499x_4x_5.$$

3. Классические нейронные сети (многослойный персептрон). Известным и весьма целесообразным способом представления зависимости одной переменной от других являются нейронные сети. Для решения данной задачи рассматривали классические нейронные сети (многослойный персептрон — MLP). Сети построены в программе Statistica 8 при помощи мастера построения сетей. Программой определены 5 различных вариантов сетей с минимальной ошибкой, которые представлены в таблице.

Для обучения использовались 100 % данных, предсказывали 100 % данных. Результаты: для первой сети $R^2 = 0,886341$, процент верного прогноза — 39; для второй сети $R^2 = 0,891925$, процент верного прогноза — 41; для третьей сети $R^2 = 0,865737$, процент верного прогноза — 34; для четвертой сети $R^2 = 0,871172$, процент верного прогноза — 37; для пятой сети $R^2 = 0,900684$, процент верного прогноза — 39.

4. Нейронечеткая модель. Построена с помощью программы MATLAB 7.11. Исходная информация — выборка из 300 наблюдений со

Классические нейронные сети
Classical neural networks

| Вариант | Тип сети | Ошибка на обучающей выборке | Ошибка на тестовой выборке | Метод обучения | Функции активации скрытого слоя | Функции активации выходного слоя |
|---------|------------|-----------------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1 | MLP 5-34-1 | 0,003776 | 0,002532 | BFGS 10 | Exponential | Exponential |
| 2 | MLP 5-30-1 | 0,002574 | 0,002800 | BFGS 77 | Logistic | Sine |
| 3 | MLP 5-11-1 | 0,003140 | 0,002595 | BFGS 25 | Exponential | Identity |
| 4 | MLP 5-23-1 | 0,002917 | 0,002802 | BFGS 41 | » | Logistic |
| 5 | MLP 5-30-1 | 0,002931 | 0,002239 | BFGS 54 | Tanh | Tanh |

следующими параметрами: 1) mass before — масса до просушки, 2) length — длина, 3) width — ширина, 4) mass after — масса после просушки, 5) seeds_count — количество семян. Первые четыре параметра являются входными, пятый — выходным. Выборку из исходных 300 наблюдений случайным образом разбивали на две части, 250 наблюдений использовали для обучения, а оставшиеся 50 наблюдений — для проверки построенной модели. Сформирована система нечетких правил вывода с 75 правилами и весами, определенными в процессе итерационного обучения с помощью нейронной сети. Получены следующие результаты: $R^2 = 0,994013$, процент верного прогноза — 89. Таким образом, нейронечеткая модель дает лучший прогноз по сравнению с классическими регрессионными моделями (линейной и квадратичной) и классическими нейронными сетями.

Выводы

Разработана нейронечеткая модель для прогноза семеношения сосны Банка на рекультивированных землях Егорьевского месторождения фосфоритов. Построение новой модели понадобилось из-за неудовлетворительных выходных результатов классических регрессионных моделей и классических нейронных сетей, которые не позволяют учесть неполноту и нечеткость исходной

информации. Сравнительный анализ классических регрессионных моделей, нейронных сетей и разработанной нейронечеткой модели показал эффективность и адекватность нейронечеткой модели, что позволяет рекомендовать нейронечеткие модели для решения ряда задач исследования лесных культур.

Список литературы

- [1] Васильев С.Б. Минеральное питание древесных пород на рекультивируемых землях. Интродукция сосны Банка при рекультивации техногенного ландшафта Егорьевского месторождения фосфоритов // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2006. № 3. С. 92–93.
- [2] Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. М.: Вильямс, 2008. 1101 с.
- [3] Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.
- [4] Полещук О.М. О развитии систем обработки нечеткой информации на базе полных ортогональных семантических пространств // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2003. № 1. С. 112–117.
- [5] Домрачев В.Г., Полещук О.М., Ретинская И.В. Прогнозирование показателей качества образовательных услуг на основе успеваемости // Качество. Инновации. Образование, 2002. № 4. С. 49–52.
- [6] Полещук О.М. Некоторые подходы к моделированию системы управления образовательным процессом // Телекоммуникации и информатизация образования, 2002. № 3. С. 4.

Сведения об авторах

Полещук Ольга Митрофановна — д-р техн. наук, профессор кафедры «Высшая математика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), polechchuk@mgul.ac.ru

Васильев Сергей Борисович — канд. с.-х. наук, доцент, заведующий кафедрой искусственного лесовыращивания и механизации лесохозяйственных работ МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)

Статья поступила в редакцию 23.10.2017.

NEURO-FUZZY MODEL FOR THE PREDICTION OF FOREST REPRODUCTION IN CONDITIONS OF TECHNOGENIC LANDSCAPES

O.M. Poleshchuk, S.B. Vasil'ev

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishi, Moscow reg., Russia

poleshchuk@mgul.ac.ru

A neuro-fuzzy model for the prediction of forest cultures seed production in the conditions of technogenic landscapes by the example of Banks pine on reclamation landscapes of Egorevsky Deposit of phosphorites is created in the paper. The choice of neuro-fuzzy model is justified because standard methods cannot give satisfactory results and do not take into account the incompleteness and fuzziness of initial information. The comparative analysis of the classical regression models, neural networks and the developed neuro-fuzzy model, which showed the effectiveness and adequacy of the neuro-fuzzy mode, is carried out in the article.

Keywords: expert information, linguistic variable, membership function, neuro-fuzzy model, forest reproduction of in the conditions of technogenic landscapes

Suggested citation: Poleshchuk O.M., Vasil'ev S.B. *Nejronechetkaya model' dlya prognoza semenosheniya lesnykh kul'tur v usloviyakh tekhnogennykh landshaftov* [Neuro-fuzzy model for the prediction of forest reproduction in conditions of technogenic landscapes]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 31–35.

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-31-35

References

- [1] Vasil'ev S.B. *Mineral'noe pitanie drevesnykh porod na rekul'tiviruemyykh zemlyakh. Introduktsiya sosny Banksa pri rekul'tivatsii tekhnogennogo landshafta Egor'evskogo mestorozhdeniya fosforitov* [Mineral nutrition of tree species on recultivated lands Introduction pine of banks in reclamation of man-made landscape of the Egor'evsky deposit of phosphorites]. *Vestnik MGUL — Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2006, no. 3, pp. 92–93.
- [2] *Khaykin S. Neyronnye seti*. [Neural network]. Moscow: Vil'yams, 2008, 1101 p.
- [3] Zade L.A. *Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizitel'nykh resheniy* [Concept of a linguistic variable and its application to adoption of approximate decisions]. Moscow: Mir, 1976, 165 p.
- [4] Poleshchuk O.M. *O razvitiy sistem obrabotki nechetkoy informatsii na baze polnykh ortogonal'nykh semanticheskikh prostranstv*. [On the development of fuzzy information processing systems on the basis of complete orthogonal semantic spaces]. *Vestnik MGUL — Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2003, no. 1 (26), pp. 112–117.
- [5] Domrachev V.G., Poleshchuk O.M., Retinskaya I.V. *Prognozirovaniye pokazateley kachestva obrazovatel'nykh uslug na osnove uspevaemosti* [Prediction of quality of educational services on the basis of academic excellence]. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie*, 2002, no. 4, pp. 49–52.
- [6] Poleshchuk O.M. *Nekotorye podkhody k modelirovaniyu sistemy upravleniya obrazovatel'nykh protsessom* [Some approaches to the modeling of the system of management of educational process]. *Telekommunikatsii i informatizatsiya obrazovaniya*, 2002, no. 3, pp. 4.

Authors' information

Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna — D-r Sci. (Tech.), Professor of Higher Mathematics Department of BMSTU (Mytishchi branch), poleshchuk@mgul.ac.ru

Vasil'ev Sergey Borisovich — Cand. Sci. (Agricultural), Associate Professor, Head of Department of Artificial Forest Regeneration and Mechanization of Forestry Works of BMSTU (Mytishchi branch), svasilyev@mgul.ac.ru

Received 23.10.2017.

УТОЧНЕНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О МЕХАНИЗМЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ

Г.Н. Федотов¹, М.Ф. Федотова², В.С. Шалаев³, Ю.П. Батырев³, В.В. Демин¹

¹ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Факультет почвоведения, МГУ

²ООО «Почвенно-экологический центр МГУ имени М.В. Ломоносова» (ООО «Экотерра МГУ»), 119992, г. Москва, Ленинские горы, д.1, стр. 75Б

³МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

gennadiy.fedotov@gmail.com

Гумусовые вещества (ГВ) — главный компонент органического вещества почв, являющийся предметом исследования многих естественно-научных дисциплин. Связано это прежде всего с многофункциональностью ГВ и большой ролью, которую они играют в природе. Одним из важнейших свойств ГВ является их биологическая активность, проявляющаяся, в частности, в улучшении роста растений. Ранее выдвигались различные гипотезы о механизме биологической активности ГВ: влияние на проницаемость клеточных мембран и увеличение доступности в почвах элементов питания за счет их комплексования гумусовыми веществами и повышения подвижности, влияние на дыхательный метаболизм и фотосинтез, на передачу растениям гормонов роста от микроорганизмов и др. При отсутствии достаточно четких представлений о механизме биологической активности ГВ к проблеме подходят с разных сторон и проводят эксперименты, рассматривая эффекты различных воздействий на биологическую активность ГВ и объясняя тем или иным способом ее изменение. Цель настоящей работы — дальнейшее уточнение представлений о механизме биологической активности ГВ. В результате экспериментальных исследований обнаружено, что при увеличении pH раствора гумата ООО НВИЦ «Агротехнологии» с 10 до 12 эффективность его применения для стимуляции развития семян возрастает почти в два раза. Показано, что облучение растворов ГВ ультрафиолетовым излучением не оказывает значимого влияния на их биологическую активность. Увеличение биологической активности растворов ГВ при росте pH можно объяснить изменением структуры первичных частиц ГВ.

Ключевые слова: повышение скорости биохимических процессов в семенах, гуминовые препараты, повышение биологической активности препаратов для стимулирующей обработки семян, влияние pH и УФ-облучения растворов ГВ на их биологическую активность

Ссылка для цитирования: Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Демин В.В. Уточнение представлений о механизме биологической активности гуминовых препаратов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 36–42. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-36-42

Гумусовые вещества (ГВ) — главный компонент органического вещества почв, являющийся предметом исследования многих естественно-научных дисциплин. Связано это прежде всего с многофункциональностью ГВ и большой ролью, которую они играют в природе. Одним из важнейших свойств ГВ является их биологическая активность, проявляющаяся, в частности, в улучшении роста растений [1–7].

Выдвигают различные гипотезы о механизме биологической активности ГВ [2, 5, 8–12]: влияние на проницаемость клеточных мембран и увеличение доступности в почвах элементов питания за счет их комплексования гумусовыми веществами и повышения подвижности, влияние на дыхательный метаболизм и фотосинтез, на передачу растениям гормонов роста от микроорганизмов и др.

Отмечали, что различные воздействия на ГВ — механохимическая или ультрафиолетовая (УФ) обработка — повышают биологическую активность растворов ГВ [13, 14]. При этом положительное влияние механоактивации на биологи-

ческую активность ГВ объясняли переводом их в растворимое состояние, уменьшением их молекулярной массы и увеличением реакционной способности за счет частичной деструкции [13]. Повышение биологической активности при УФ-обработке растворов ГВ связывали с ростом в них числа свободных радикалов, которые могут перехватывать (тушить) свободные радикалы в среде, прилегающей к клеточной мембране и, как следствие, нивелировать их отрицательное воздействие на мембраны [14].

Фактически при отсутствии достаточно четких представлений о механизме биологической активности ГВ исследователи подходят с разных сторон к проблеме и проводят эксперименты, рассматривая эффекты различных воздействий на биологическую активность ГВ и объясняя тем или иным способом ее изменение.

В работе [5] было выдвинуто предположение о том, что биологическая активность ГВ, проявляющаяся в повышении посевных качеств семян, связана со способностью ГВ сорбировать ингибиторы, замедляющие развитие семян и эндофитной

микробиоты. Сделан вывод о возможном влиянии на биологическую активность ГВ количества в них свободных для адсорбции ингибиторов активных центров.

В работе [15] показано, что ни изменение размера частиц ГВ в растворах, ни изменение количества свободных функциональных групп ГВ, ни удаление непрочных связанных молекул не оказывают значимого влияния на биологическую активность препарата. Связано это, по-видимому, с тем, что ГВ в растворах представляют собой фрактальные кластеры размером 100...200 нм из первичных частиц ГВ [16], структура которых изменяется при изменении гидрофобности ГВ и систем, в которых они находятся [16–18]. В связи с этим можно предположить, что отсутствие влияния изменения дисперсности ГВ на их биологическую активность связано с небольшой долей активных центров, освобождаемых (блокируемых) при дезагрегации (агрегации). При этом значительного изменения структуры первичных частиц ГВ, образующих фрактальные кластеры, при воздействии всех перечисленных факторов, по-видимому, не происходит. Можно предположить, что биологическая активность ГВ обусловлена не строением фрактальных кластеров из первичных частиц ГВ, а структурной организацией самих первичных частиц ГВ.

Цель работы — дальнейшее уточнение представлений о механизме биологической активности ГВ.

Объекты и методы исследования

Использовали семена с неглубоким покоем [19]: семена редиса, сорт Розово-красный с белым кончиком, которые хорошо реагируют на обработку стимуляторами [5], и яровых зерновых культур — пшеницы, сорт МИС, и ячменя, сорт Владимир.

Почву имитировали влажным окатанным кварцевым песком из месторождения в Рязанской области (размер частиц 0,5...0,8 мм). Влажность песка составляла 17,5 % при работе с семенами редиса, что обеспечивало достаточно высокий стимулирующий эффект [5]. Влажность песка при работе с зерновыми культурами составляла 25 %.

Изучали действие гумата калия (натрия), произведенного из бурого угля ООО НВЦ «Агротехнологии» (Россия), а также комплексного препарата — стимулятора, включающего в свой состав гумат ООО НВЦ «Агротехнологии» (Россия), автолизат пивных дрожжей (АПД) (ООО «Биотех плюс», Россия) и препарат «Бутон», произведенный ООО «ПСК Техноэкспорт» (Россия), содержащий натриевые соли гиббереллиновых кислот в количестве 20 г/кг.

УФ-обработку растворов осуществляли при помощи облучателя ОУФК-09-1 с лампой ДКБУ-9,

диапазон излучения 205...315 нм при значении облученности 20 Вт/м² в течение 15...240 мин.

Семена редиса обрабатывали растворами стимуляторов при расходе 100 л/т [5], а семена зерновых культур — 40 л/т [20]. Для этого 40 г семян помещали в пластиковую лодочку размером 20×7 см, глубиной 4 см, добавляли навеску воды (раствора) 4 г (0,8 г) и тщательно перемешивали примерно 1 мин до достижения равномерной окраски семян.

Качество стимулирующей обработки определяли по интенсивности выделения углекислоты [5] при контакте семян с влажным песком. Эксперименты проводили, помещая 5 г семян в 2 стаканчика объемом 100 мл, засыпая их 20 г сухого песка, добавляя из пипетки 3,5 г воды так, чтобы вода достаточно равномерно увлажняла песок. После этого стаканчики с семенами ставили в стеклянную емкость объемом 3 л, которую герметично закрывали. Использовали обычные стеклянные трехлитровые банки; их закрывали пластиковыми крышками с отверстиями, в которые плотно мог входить зонд измерителя углекислоты Testo 535. Отверстия в крышках затыкали изнутри резиновыми пробками так, чтобы их можно было выталкивать внутрь банок, вставляя зонд измерителя, емкости термостатировали при температуре 25 °С в камере, в которую входила 21 емкость. Опыты проводили с семикратной повторностью. В каждой камере один из образцов (7 емкостей) был контрольным, по нему проводили пересчет. Емкости в камере располагали в шахматном порядке, чтобы уменьшить влияние неоднородности распределения температуры. С этой же целью в камере располагали вентилятор, перемешивающий воздух. Через 24 ч измеряли концентрацию CO₂ в емкостях и пересчитывали количество CO₂, выделившегося на 1 г семян. При проведении измерения зонд измерителя помещали в емкость на 5 мин до достижения равновесия углекислоты, находящейся в емкости, с адсорбированной на чувствительной части поверхности зонда. Ошибка опыта при 95%-ном уровне значимости не превышала 5 %.

Данная методика позволяет исследовать в одном опыте от 1000 до 1500 семян зерновых и в десятки раз больше мелких семян овощей, что резко уменьшает ошибку экспериментов, связанную с разнокачественностью семян [21].

Измерение концентрации углекислоты проводили с помощью прибора Testo 535, который позволяет определять концентрацию углекислого газа в газовой смеси при содержании 0–9999 ppm. Принцип работы прибора основан на поглощении лазерного излучения углекислотой, адсорбированной на чувствительной части поверхности зонда. Относительно большая площадь адсорбции

онной поверхности зонда приводит к усреднению колебаний концентрации углекислоты в сосуде, что заметно снижает ошибку метода по сравнению с отбором газовой смеси из сосуда шприцем и определением концентрации углекислоты в газовой смеси при помощи хроматографа.

Результаты и обсуждение

В связи с тем что изменение рН растворов может приводить к изменению структуры первичных частиц ГВ, исследовали влияние рН на биологическую активность растворов препарата. В результате проведенных экспериментов установлено (рис. 1), что при рН = 8–10 наблюдается значительное возрастание биологической активности. Однако при рН > 12 эффект стимуляции быстро убывает.

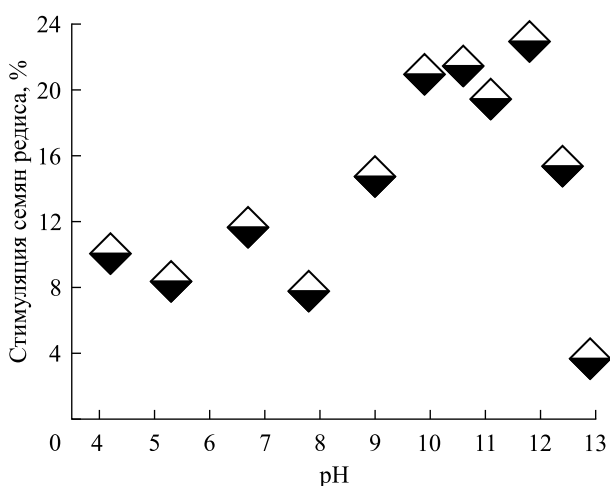


Рис. 1. Влияние рН раствора гумата с концентрацией 10 г/л на прорастание семян редиса

Fig. 1. Effect of the pH of the humate solution at a concentration of 10 g/l on the germination of radish seeds

Снижение эффекта от применения растворов гуматов при рН > 12 вполне ожидаемо, так как сильнощелочная среда должна оказывать угнетающее влияние на биологические объекты. Повышение же эффективности почти в два раза при использовании щелочных растворов по сравнению со слабокислыми, нейтральными и слабощелочными растворами, наиболее комфортными для функционирования биологических объектов, было довольно неожиданным. Фактически наблюдается переход от стимуляции порядка 10 %, лежащей в области ошибки лабораторных экспериментов, к заметным эффектам стимуляции — около 22 %. Можно объяснить наблюдаемое явление изменением структуры первичных частиц ГВ. Однако подобное объяснение достаточно сложно подтвердить независимыми экспериментами.

Полученные результаты необходимо было проанализировать и с других позиций, чтобы срав-

нить различные подходы. Связано это с тем, что изменение рН растворов гуматов может оказывать влияние не только на сорбционную способность ГВ, но и на реакцию эпифитных и эндофитных микроорганизмов при обработке семян щелочными растворами, а также на реакцию самих семян на щелочную среду [19, 22]. Поэтому была предпринята попытка использовать метод исключения и проверить все возможные объяснения наблюдаемого при изменении рН эффекта.

Оценку влияния других факторов удобно проводить при использовании комплексного стимулятора, так как действие этого препарата носит многовекторный характер [20]. Во-первых, увеличивается концентрация питательных веществ за счет лизированных клеток дрожжей, что стимулирует развитие самих семян и эндофитных микроорганизмов. Во-вторых, повышается содержание живых дрожжевых клеток в семенах, стимулирующих их развитие. В-третьих, стимулируется развитие семян за счет гиббереллинов. Как следствие, эффект от применения комплексного препарата примерно в 2,5 раза выше по сравнению с использованием одного гумата, а присутствие гумата в комплексном препарате не оказывает значимого дополнительного влияния на стимуляцию развития семян.

Проведенное изучение влияния рН растворов комплексного стимулятора на посевные качества семян зерновых культур (рис. 2) свидетельствует о том, что значительный рост эффекта стимуляции в интервале рН = 10...12 характерен именно для гуматов и не наблюдается при применении комплексного стимулятора (в этом случае он практически не зависит от рН).

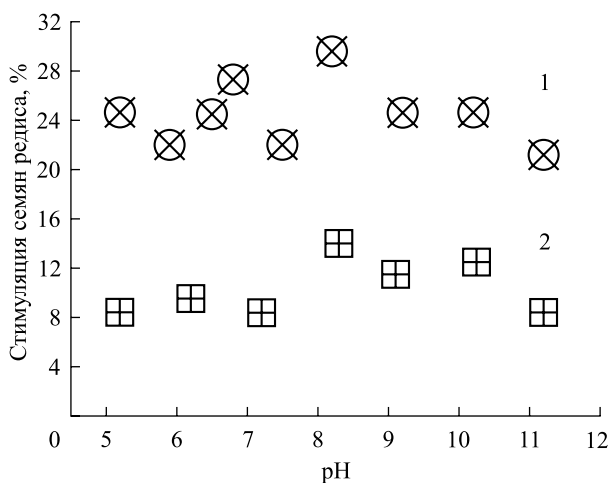


Рис. 2. Влияние рН раствора комплексного стимулятора на прорастание семян ярового ячменя, сорт Владимир, и яровой пшеницы, сорт МИС

Fig. 2. Effect of the pH of the complex stimulant solution on the germination of spring barley seeds, breed Vladimir, and spring wheat, breed MIS

Следовательно, переход от стимуляции порядка 10 %, наблюдающейся для гуматов в диапазоне рН = 4...8, к заметным эффектам стимуляции (~22 % в диапазоне рН = 9...11) должно объясняться изменением в состоянии самих ГВ при различных значениях рН.

С одной стороны, при рН > 9 начинают ионизироваться фенольные гидроксилы, увеличивая сорбционную способность ГВ и, как следствие, способность поглощать ингибиторы биохимических процессов (фактор структуры первичных частиц ГВ). С другой стороны, при рН > 9 заметно возрастает содержание свободных радикалов в молекулах ГВ [23].

Характерные свойства этих свободных радикалов — стабильность и низкая реакционная способность — обусловлены делокализацией неспаренных электронов по конденсированным фрагментам молекул ГВ. По данным [24], свободные радикалы в условиях нормы играют важную роль в процессах жизнеобеспечения клеток в различных биологических системах, участвуя в реакциях окислительного фосфорилирования, биосинтеза простагландинов и нуклеиновых кислот, в регуляции липидного обмена, в процессах митоза, а также метаболизма катехоламинов. Однако их роль в биологических системах чрезвычайно динамична, поскольку свободные радикалы относятся к категории высокоректогенных молекул, избыточное образование которых может достаточно быстро привести к дезорганизации клеточных структур, нарушению функциональной активности клеток [24].

Можно предположить, что молекулы ГВ, несущие радикалы, способны реагировать с другими свободнорадикальными частицами: тушить свободные радикалы при их избытке, а при недостатке — увеличивать их концентрацию, приближая ее к норме. В обоих случаях повышение концентрации свободных радикалов в молекулах ГВ может оказывать положительное влияние на семена.

Следует отметить, что подобное повышение биологической активности растворов гуматов, подвергшихся действию УФ-облучения, и усиление их влияния на растения, коррелирующее с увеличением содержания свободных радикалов в молекулах гуминовых кислот, ранее уже обнаруживали [14].

Проведенные эксперименты показали, что после обработки гуматов УФ-излучением в течение 15...240 мин никакого влияния облучения на биологическую активность растворов ГВ не отмечается, что позволяет отказаться от гипотезы о влиянии свободных радикалов на биологическую активность ГВ.

При обработке растворов ГВ УФ-излучением одновременно идут несколько процессов: обра-

зование свободных радикалов на молекулах ГВ, окисление ГВ с возникновением новых кислотных групп, а при высокой интенсивности УФ-излучения и распад ГВ. Об этом свидетельствует снижение рН растворов за 120...240 минут облучения примерно на 0,4–0,5 единицы с 9,9–10 до 9,65–9,5. Последние два процесса должны сопровождаться изменением структуры первичных частиц ГВ. Таким образом, увеличение биологической активности растворов ГВ при росте рН на данном этапе изучения не удается объяснить ничем, кроме изменения структуры первичных частиц ГВ.

При этом можно предположить, что биологическая активность ГВ обеспечит в определенных условиях не только эффективность семян сельскохозяйственных культур, но и семян, используемых в лесном хозяйстве.

Выводы

1. Обнаружено, что при изменении рН раствора гумата ООО НВЦ «Агротехнологии» эффективность его применения для стимуляции развития семян изменяется сложным образом и является оптимальной в интервале рН = 10...12.

2. Показано, что облучение растворов ГВ УФ-излучением не оказывает значимого влияния на биологическую активность их растворов.

3. Увеличение биологической активности растворов ГВ при росте рН можно на данном этапе изучения объяснить изменением структуры первичных частиц ГВ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/8.9.

Список литературы

- [1] Александрова И.В. О физиологической активности гумусовых веществ и продуктов их метаболизма // Органическое вещество целинных и освоенных почв / под ред. И.О. Александровой. М.: Наука, 1972. С. 30–69.
- [2] Безуглова О.С. Гуминовые вещества в биосфере: учеб. пособие. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального ун-та, 2009. 120 с.
- [3] Ваксман С. Гумус. Происхождение, состав и значение его в природе. М.: Сельхозгиз, 1937. 472 с.
- [4] Кононова М.М. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 315 с.
- [5] Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П. Биологическая активность гумусовых веществ и их влияние на свойства семян // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017, т. 21, № 2, С. 26–36.
- [6] Христева Л.А. О природе действия физиологически активных форм гуминовых кислот и других стимуляторов роста растений // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения, 1968. № 3. С. 13–28.

- [7] Hassan A., Yasir A., Abdul R, Dost M. Effect of humic acid on root elongation and percent seed germination of wheat seeds // *Int. J. Agriculture and Crop Sciences*, 2014, vol. 7 (4), pp. 196–201.
- [8] Горовая А.И., Орлов Д.С., Щербенко О.В. Гуминовые вещества: строение, функции, механизм действия, протекторные свойства, экологическая роль. Киев: Наукова думка, 1995. 303 с.
- [9] Мажуль В.М., Прокопова Ж.В., Ивашкевич Л.С. Механизм действия гуминовых препаратов из торфа на структурное состояние мембран и функциональную активность дрожжевых клеток // *Гуминовые вещества в биосфере*. М.: Наука, 1993. С. 151–157.
- [10] Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. Physiological effects of humic substances on higher plants // *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, v. 34, no. 11, pp. 1527–1536.
- [11] Trevisan S., Francioso O., Quaggiotti S., Nardi S. Humic substances biological activity at the plant-soil interface. From environmental aspects to molecular factors // *Plant Signaling and Behavior*, 2010, v. 5 (6), pp. 635–643.
- [12] Zandonadi D.B., Santos M.P., Busato J.G., Peres L.E.P., Façanha A.R. Plant physiology as affected by humified organic matter // *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 2013, vol. 25 (1), pp. 12–25.
- [13] Иванов А.А., Филатов Д.А. Биологическая активность гуминовых кислот торфа, полученных методом механикоактивации // *Вестник Томского гос. политех. ун-та*, 2011. Вып. 5 (107). С. 131–134.
- [14] Орлов Д.С., Демин В.В., Завгородняя Ю.А. Влияние молекулярных параметров гуминовых кислот на их биологическую активность // *Доклады Академии наук*, 1997. Т. 354. № 6. С. 843–845.
- [15] Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П. Повышение эффективности применения гуминовых препаратов для предпосевной обработки семян // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2017. Т. 21. № 2. С. 37–44.
- [16] Osterberg R., Mortensen K.M. Fractal geometry of humic acids. Temperature dependent restructuring studied by small-angle neutron scattering // *Humic substances in the global environment and implication on human health / eds. N. Senesy, T. Milano. Amsterdam: Elsevier, 1994, pp. 256–257.*
- [17] Никонова С.И., Цыпленкова В.П., Григорьева М.А. Вискозиметрия – индикатор термоиндуцированных структурных перестроек органо-минеральных гелей почв // *Вестник Ленинградского университета*, 1987. Сер. 3. Вып. 3. № 17. С. 71–78.
- [18] Ширшова Л.Т., Ермолаева М.А. Состояние гумусовых веществ почв в водных растворах по результатам электрофореза и гель-хроматографии на сефадексах // *Почвоведение*, 2001. № 8. С. 955–962.
- [19] Николаева М.Г., Разумова М.В., Гладкова В.Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л.: Наука, 1985. 347 с.
- [20] Федотов Г.Н., Шоба С.А., Федотова М.Ф. Разработка стимулятора для повышения посевных качеств семян на основе автолизата дрожжей // *Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение*, 2017. № 2. С. 3–12.
- [21] Сечняк Л.К., Киндрок Н.А., Слюсаренко О.К., Ивашенко В.Г., Кузнецов Е.Д. Экология семян пшеницы. М.: Колос, 1983. 349 с.
- [22] Обручева Н.В. Прорастание семян // *Физиология семян*. М.: Наука, 1982. С. 223–274.
- [23] Senesi N., Steelink C. Application of ESR Spectroscopy to the Study of Humic Substances // *Humic Substances. II / eds. M.H.V. Hayes, P. MacCarthy, R.L. Malcolm, R.S. Swift. John Wiley & Sons Ltd, 1989, pp. 373–408.*
- [24] Чеснокова Н.П., Понукалина Е.В., Бизенкова М.Н. Источники образования свободных радикалов и их значение в биологических системах в условиях нормы // *Современные наукоемкие технологии*, 2006. № 6. С. 28–34.

Сведения об авторах

Федотов Геннадий Николаевич — д-р биологических наук, ведущий научный сотрудник факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, gennadiy.fedotov@gmail.com

Федотова Магдалина Федоровна — специалист ООО «Почвенно-экологический центр МГУ имени М.В. Ломоносова» (ООО «Экотерра МГУ»), gennadiy.fedotov@gmail.com

Шалаев Валентин Сергеевич — д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), shalaev@mgul.ac.ru

Батырев Юрий Павлович — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), batyrev@mgul.ac.ru

Демин Владимир Владимирович — канд. биологических наук, ведущий научный сотрудник факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, vvd.msu@gmail.com

Статья поступила в редакцию 28.09.2017.

ENHANCEMENT OF REPRESENTATIONS ABOUT BIOLOGICAL ACTIVITY MECHANISM OF HUMIN PREPARATIONS

G.N. Fedotov¹, M.F. Fedotova², V.S. Shalaev³, Yu.P. Batyrev³, V.V. Demin¹

¹M.V. Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskie Gory, 1, p. 12, Faculty of Soil Science, Moscow State University

²Soil-Ecological Center of Moscow State University (Ecoterra MSU), 119992, Moscow, Leninskie gory, 1, p.75B

³BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

gennadiy.fedotov@gmail.com

Humic substances (HS) are the main components of soils organic matter, which is the subject of many natural science disciplines. This is primarily due to the multifunctionality of the HS and their great role in nature. According to many literature data, one of the most important properties of HS is their biological activity, manifested, in particular, in the improvement of plant growth. Various hypotheses have been advanced earlier on the biological activity mechanism of HS such as the effect on the permeability of cell membranes and on the increase in the availability of nutrients in soils due to their complexing with humic substances and increasing mobility, the effect on respiratory metabolism and photosynthesis, the effect on the transfer of growth hormones from microorganisms to plants, etc. In fact, in the absence of sufficiently clear ideas about the biological activity mechanism of HS, the problem is approached from different sides and experiments are carried out, considering the effects of various effects on the biological activity of HS and explaining in one way or another its change. The purpose of this work was to further clarify the concept of biological activity mechanism of HS. According to the results of experimental studies, when clarifying the concept of biological activity mechanism of HS, it was found that when the pH of the humate solution of «Agrotechnologii» is changed, the effectiveness of its application to stimulate the development of seeds increases almost twice with an increase in pH from 10 to 12. It is shown that irradiation solutions of HS with ultraviolet radiation does not have a significant effect on the biological activity of their solutions. It is possible to conclude that an increase in the biological activity of HS solutions with increasing pH can, at this stage of the study, explain the change in the structure of primary particles of HS.

Keywords: increase in the speed of biochemical processes in seeds, humic preparations, increase biological activity of preparations for stimulating seed treatment, influence pH and ultraviolet irradiation of HS solutions on their biological activity

Suggested citation: Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P., Demin V.V. *Utochnenie predstavleniy o mekhanizme biologicheskoy aktivnosti guminovykh preparatov* [Enhancement of representations about biological activity mechanism of humin preparations] *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 36–42. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-36-42

References

- [1] Aleksandrova I.V. *O fiziologicheskoy aktivnosti gumusovykh veshchestv i produktov ikh metabolizma* [About physiological activity humic substances and their metabolic products]. *Organicheskoe veshchestvo tselinnykh i osvoennykh pochv*. Moscow: Nauka Publ., 1972, pp. 30–69.
- [2] Bezuglova O.S. *Guminovye veshchestva v biosphere* [Humic substances in the biosphere]. Rostov-na-Donu: Yuzhnyy federal'nyy un-t Publ., 2009, 120 p.
- [3] Vaksman S. *Gumus. Proiskhozhdenie, sostav i znachenie ego v prirode* [Humus. Origin, composition and significance in nature]. Moscow: Sel' hozgiz Publ., 1937, 472 p.
- [4] Kononova M.M. *Organicheskoe veshchestvo pochvy, ego priroda, svoystva i metody izucheniya* [Organic matter of the soil, its nature, properties and methods of study]. Moscow: AN SSSR Publ., 1963. 315 p.
- [5] Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P. *Biologicheskaya aktivnost' gumusovykh veshchestv i ikh vliyaniye na svoystva semyan* [Biological activity of humic substances and their influence on the seeds properties]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, v. 21, no. 2, pp. 26–36.
- [6] Khristeva L.A. *O prirode deystviya fiziologicheskii aktivnykh form guminovykh kislot i drugikh stimulyatorov rosta rasteniy* [About nature of the action of physiologically active forms of humic acids and other plant growth stimulants]. *Guminovye udobreniya. Teoriya i praktika ikh primeneniya*, 1968, no. 3, pp. 13–28.
- [7] Hassan A., Yasir A., Abdul R., Dost M. Effect of humic acid on root elongation and percent seed germination of wheat seeds. *Int. J. Agriculture and Crop Sciences*, 2014, v. 7 (4), pp. 196–201.
- [8] Gorovaya A.I., Orlov D.S., Shcherbenko O.V. *Guminovye veshchestva: stroenie, funktsii, mekhanizm deystviya, protekturnyye svoystva, ekologicheskaya rol'* [Humic substances: structure, functions, mechanism of action, protective properties, ecological role]. Kiev: Naukova dumka Publ., 1995, 303 p.
- [9] Mazhul' V.M., Prokopova Zh.V., Ivashkevich L.S. *Mekhanizm deystviya guminovykh preparatov iz torfa na strukturnoye sostoyaniye membran i funktsional'nyu aktivnost' drozhzhevykh kletok* [The action mechanism of humic preparations from peat on the structural state of membranes and the functional activity of yeast cells]. *Guminovye veshchestva v biosfere*. Moscow: Nauka Publ., 1993, pp. 151–157.
- [10] Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, v. 34, no. 11, pp. 1527–1536.
- [11] Trevisan S., Francioso O., Quaggiotti S., Nardi S. Humic substances biological activity at the plant-soil interface. From environmental aspects to molecular factors. *Plant Signaling and Behavior*, 2010, no. 5 (6), pp. 635–643.

- [12] Zandonadi D.B., Santos M.P., Busato J.G., Peres L.E.P., Façanha A.R. Plant physiology as affected by humified organic matter. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 2013, v. 25 (1), pp. 12–25.
- [13] Ivanov A.A., Filatov D.A. *Biologicheskaya aktivnost' guminovykh kislot torfa, poluchennykh metodom mekhanoaktivatsii* [Biological activity of peat humic acids obtained by mechanoactivation]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta*, 2011, v. 5 (107), pp. 131–134.
- [14] Orlov D.S., Demin V.V., Zavgorodnyaya Yu.A. *Vliyaniye molekulyarnykh parametrov guminovykh kislot na ikh biologicheskuyu aktivnost'* [Influence of molecular parameters of humic acids on their biological activity]. *Doklady Akademii nauk*, 1997, v. 354, no. 6, pp. 843–845.
- [15] Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P. *Povysheniye effektivnosti primeneniya guminovykh preparatov dlya predposevnoy obrabotki semyan* [Increasing the effectiveness of humic preparations for presowing seed treatment]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, v. 21, no. 2, pp. 37–44.
- [16] Osterberg R., Mortensen K.M. Fractal geometry of humic acids. Temperature dependent restructuring studied by small-angle neutron scattering. Humic substances in the global environment and implication on human health. Ed. by N. Senesy, T. Milano. Amsterdam: Elsevier Publ., 1994, pp. 256–257.
- [17] Nikonova S.I., Tsyplenkova V.P., Grigor'eva M.A. *Viskozimetriya — indikator termoindutsirovannykh strukturnykh perestroyek organomineral'nykh geley pochv* [Viscosimetry — an indicator of thermoinduced structural rearrangements of soils organomineral gels]. *Vestnik Leningradskogo universiteta*, 1987, iss. 3, v. 3, no. 17, pp. 71–78.
- [18] Shirshova L.T., Ermolaeva M.A. *Sostoyaniye gumusovykh veshchestv pochv v vodnykh rastvorakh po rezul'tatam elektroforeza i gel'-khromatografii na sefadeksakh* [State of humus substances of soils in aqueous solutions based on electrophoresis and gel chromatography on Sephadexes]. *Pochvovedeniye*, 2001, no. 8, pp. 955–962.
- [19] Nikolaeva M.G., Razumova M.V., Gladkova V.N. *Spravochnik po proraschivaniyu pokoyashchikhsya semyan* [Handbook on germination of dormant seeds]. Leningrad: Nauka Publ., 1985, 347 p.
- [20] Fedotov G.N., Shoba S.A., Fedotova M.F. *Razrabotka stimulyatora dlya povysheniya posevnykh kachestv semyan na osnove avtolizata drozhzhey* [Development of stimulant for increasing seed quality of seeds based on yeast autolysate]. *Vestnik MGU*, iss. 17. *Pochvovedeniye*, 2017, no. 2, pp. 3–12.
- [21] Sechnyak L.K., Kindruk N.A., Slyusarenko O.K., Ivashchenko V.G., Kuznetsov E.D. *Ekologiya semyan pshenitsy* [Ecology of wheat seeds]. Moscow: Kolos, 1983, 349 p.
- [22] Obrucheva N.V. *Prorastaniye semyan* [Germination of seeds]. *Fiziologiya semyan*. Moscow: Nauka Publ., 1982, pp. 223–274.
- [23] Senesi N., Steelink C. Application of ESR Spectroscopy to the Study of Humic Substances. In: *Humic Substances. II*. Eds. M.H.B. Hayes, P. MacCarthy, R.L. Malcolm, R.S. Swift. John Wiley & Sons Ltd, 1989, pp. 373–408.
- [24] Chesnokova N.P., Ponukalina E.V., Bizenkova M.N. *Istochniki obrazovaniya svobodnykh radikalov i ikh znachenie v biologicheskikh sistemakh v usloviyakh normy* [Sources of formation free radicals and their significance in biological systems under normal conditions]. *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii*, 2006, no. 6, pp. 28–34.

Authors' information

Fedotov Gennadiy Nikolaevich — Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher of Moscow State University, gennadiy.fedotov@gmail.com

Fedotova Magdalena Fedorovna — Specialist of Soil Ecological Center of Moscow State University (Ecoterra MSU), gennadiy.fedotov@gmail.com

Shalaev Valentin Sergeevich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, BMSTU (Mytishchi branch), shalaev@mgul.ac.ru

Batyrev Yuriy Pavlovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), batyrev@mgul.ac.ru

Demin Vladimir Vladimirovich — Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher of Faculty of Soil Science of Moscow State University, vvd.msu@gmail.com

Received 28.09.2017.

О НЕОБХОДИМОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ПОЧВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛЕСОВОДСТВЕННЫХ И АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Е.С. Мигунова

Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації імені Г.М. Висоцького, 61024, Харків, вул. Пушкінська, 86

migunova-l-s@yandex.ua

Обосновывается необходимость изучения почв и в целом физико-географических условий исследований объектов. Такие работы позволят оценить типичность подбираемых объектов, сравнить секции при закладке опытов и понять причины, определяющие состав и продуктивность насаждений. Различия почв при самых незначительных изменениях рельефа по своему влиянию на рост насаждений перекрывают воздействие на них любых лесохозяйственных мероприятий.

Ключевые слова: почвы, почвогрунт, генетический тип, механический (гранулометрический) состав, плодородие, рельеф, ландшафт

Ссылка для цитирования: Мигунова Е.С. О необходимости изучения почв при проведении лесоводственных и агролесомелиоративных исследований // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 43–51. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-43-51

Каков грунт земли, таков и лес

Народная мудрость

Очень долго лесоводство было чисто производственной отраслью, не имевшей своего теоретического обоснования. Положение изменилось после того, как Г.Ф. Морозов создал свои учения о лесах и о типах насаждений [1, 2]. Главным в этих учениях является обоснование единства природы и жесткой обусловленности лесных насаждений абиотическими факторами, их средой: «Лес находится под влиянием климата и под властью земли» [3]. Подчеркнем: «под властью земли». И еще одно, не менее важное, положение Морозова, не ставшее, к сожалению, крылатым, можно встретить у Г.Н. Висоцкого: «География должна предшествовать лесоводству» [4].

Если климат относительно однороден в пределах значительных территорий и уже основательно изучен и расклассифицирован метеорологами, то почвы крайне изменчивы в пространстве и определить их особенности на том или другом объекте без специального изучения невозможно. Приведем в подтверждение два примера.

В Башкирии автору довелось наблюдать в непосредственном соседстве сосновое насаждение исключительно высокой продуктивности — сомкнутый древостой высотой 40 м и рядом, в небольшом понижении, изреженные сосенки примерно того же возраста высотой 3 м. Эти различия обусловлены разной глубиной залегания грунтовых вод (ГВ). Но чтобы определить, на какой глубине находятся ГВ на этих двух участках, нужно выкопать почвенные разрезы. А потом желательно пробурить скважины и понаблюдать за

изменениями их глубины в течение года, а лучше в течение ряда лет, так как состояние насаждений при близком залегании ГВ часто определяют экстремальные колебания их уровня.

Второй пример: в Архангельской области среди большого массива чисто соснового древостоя на песчаной террасе росла одна ель, вполне здоровая, примерно той же высоты, что и окружающие ее сосны. Выкопав почвенный разрез под этой елью, мы обнаружили, что она растет на небольшом суглинистом валуне, находящемся среди слагающих террасу древнеаллювиальных песков. Понять такое без специальной раскопки невозможно.

Именно поэтому Морозов, разрабатывая свои теории, сосредоточил внимание на исследовании почв. Ученого даже упрекали в том, что ему из почвенной ямы не видно леса. Будучи горячим приверженцем идей В.В. Докучаева о взаимосвязях в природе, Морозов попытался создать классификацию типов насаждений на базе генетических типов почв — дубравы на серых, темно-серых лесных почвах, солонцах и др. [5]. Но эта классификация не получила распространения, так как нередко одни и те же типы леса оказывались на разных почвах, и наоборот.

Последователь Морозова А.А. Крюденер, крупный лесоустроитель, изучавший народные знания о природе так, как изучают сказания, былины, назвал *тип насаждения* единством климата, почвогрунта и растительного сообщества [6], дав тем самым первое в истории науки, на 20 лет раньше английского геоботаника А. Тэнсли [7], определение экосистемы. Следуя народному постулату «каков грунт земли, таков и лес», он

разработал сопряженную классификацию лесных насаждений и почвогрунтов, в которой леса размещены по нарастанию плодородия почвогрунтов в координатах увеличения в них количества пищи (7 групп) и влаги (15 групп). Обеспеченность пищей оценивалась А.А. Крюденером по механическому (гранулометрическому) составу почвогрунтов, как это издревле утвердилось в народе («тощие» пески — «жирные» глины), что выражается в появлении по мере утяжеления почвогрунта все более требовательных видов растений во всех ярусах насаждений. Увлажнение он оценивал по положению в рельефе и составу напочвенного покрова.

Совместив почвы и приуроченные к ним насаждения, Крюденер превратил свою разработку в *классификацию лесных экосистем*. Границами экосистем в ней являются границы типов насаждений. Растительность принята за критерий качества почвогрунтов, почвы оцениваются как среда обитания растений. При таком подходе оказалось, что определяют состав и продуктивность насаждений не генетические типы почв, как полагал Морозов, а механический состав почвообразующих пород, отражающий их обеспеченность элементами питания растений.

Классификация Крюденера начала быстро использоваться лесоустроителями. Однако после его эмиграции в 1918 г. в Германию и смерти Морозова в 1920 г. в СССР она была заменена ботанической, точнее, фитоценологической (фитоценоз — растительное сообщество) классификацией Каяндера — Сукачева [8], не опирающейся на почвы, как классификации Морозова и Крюденера (ельники-черничники, сосняки-брусничники и т. д.). Это было тяжелым ударом для отечественного лесоводства. Некоторые лесничие подали тогда в знак протеста прошения об отставке. Друг Морозова Высоцкий (сказавший как-то, что со смертью Морозова он потерял половину своего «я», причем лучшую половину) входил в то время в руководство лесной отраслью Украины и сделал все, чтобы сберечь лесоводственно-экологическое учение Морозова — Крюденера.

Благодаря усилиям Высоцкого классификация Крюденера сохранилась на Украине как классификация Е.В. Алексеева, который использовал разработки Крюденера после переезда в 1914 г. из Петербурга (где он много лет работал вместе с Крюденером в Удельном ведомстве и потому хорошо знал его классификацию) в Киев и создал на ее основе сокращенный вариант классификации применительно к украинским лесам [9]. Ученик Высоцкого П.С. Погребняк [10], продолжая работу Алексеева, преобразовал центральный фрагмент таблицы Крюденера в компакт-

ную классификационную модель в координатах четырех типов богатства (от А — бедного до D — богатого) и шести типов увлажнения (от 0 — сухого до 5 — заболоченного) земель, как их ранее выделял и Крюденер [11]. Их единства образуют типы местообитаний (А₂, В₃ и др.). Эта классификация под названием *эдафической сетки* (от греч. «эдафос» — почва, земля) легла в основу украинской школы лесной типологии (так стало называться учение о типах насаждений). Горизонтальный ряд эдафической сетки получил название трофогенного, вертикальный — гигрогенного. Соответственно, отдельные звенья этих рядов называют *трофотопами* и *гигротопами*.

Суть этой классификации можно сформулировать следующим образом. В природе имеется четыре основных типа земель с разным богатством элементами питания растений. В разных климатических зонах к ним приурочены насаждения из пород, сходных по требовательности к этим элементам, но различающихся по теплолюбию и морозоустойчивости. Следует особо подчеркнуть, что в эдафической сетке учтены все земли, различающиеся по уровню богатства и увлажнения. Позже по предложению Погребняка была составлена климатическая сетка в координатах теплоты и влажности климата [12].

В связи с тем что почвоведомы-генетиками значение механического состава почв было низведено до показателя крупности фракций, а оценка по нему плодородия считалась устаревшей, ненаучной, Погребняк перешел на определение плодородия почв *методом фитоиндикации* (по составу и продуктивности всех ярусов лесных насаждений), который был предложен Крюденером [13]. При всем огромном многообразии видов растений в природе нет двух видов, полностью тождественных по потребностям в пище и влаге. Это позволяет по составу, структуре и продуктивности естественной растительности, преобладанию разных экологических групп растений (олиго- или мегатрофов, ксеро- или гигрофитов) оценивать качество и степень однородности среды с такой точностью, какую не могут обеспечить самые детальные обследования и самые совершенные приборы. Так, бедными считаются земли, на которых растет только олиготроф — сосна обыкновенная (боры), богатыми — те, на которых растут только требовательные породы (ель, дуб, бук) и сосны нет (дубравы, груды).

В результате сложилась ситуация, при которой российские лесоводы перейдя на определение типов леса по В.Н. Сукачеву, не требующую учета почв, довольно скоро отошли от их изучения, которым многие занимались в морозовский период. На Украине же, где в основу классификации насаждений положено плодородие почв, лесоводы

так увлеклись использованием значительно более быстрой оценки его методом фитоиндикации, что тоже практически полностью отошли от изучения почв. Между тем для определения причин того или другого уровня плодородия и разработки мероприятий по его поддержанию и повышению необходимо проведение почвенных исследований.

Изучением почв в лесах занимаются почвоведы, у которых оформился специальный раздел «Лесное почвоведение». Но они изучают почвы без связи с особенностями роста на них растительности, сосредоточив внимание на их морфологии, строении верхних горизонтов и на лесных подстилках.

Чтобы показать, как изучали почвы отечественные лесоводы морозовского периода, приведем некоторые данные о работах Высоцкого, участника Особой экспедиции Лесного департамента, более десяти лет заведовавшего ее Велико-Анадольским участком (1892–1904). За эти годы он провел массу почвенных исследований. Самым главным из них было многолетнее широкомасштабное изучение водного режима почв. Высоцкий внес много нового в совершенствование методики, разработал метод определения запасов доступной влаги в почвах по ее убыли за вегетационный период [13]. В процессе этих работ был впервые установлен факт большего расходования влаги древесной растительностью по сравнению с травянистой, что потребовало пересмотра всей системы агролесомелиорации. Высоцким было сформулировано и обосновано важное положение о типах водного режима почв (*промывной, периодически промывной, непромывной и выпотной* типы) [13]. В результате был создан новый раздел почвоведения — *гидрология почв*.

Кроме того, Высоцкий впервые детально описал процесс оглеения почв, ввел в научный оборот народное название «глей». Он первым охарактеризовал процесс ожелезнения песчаных почв — формирование псевдофибров и жерствы (термины Высоцкого), указал на коллоидные явления в почвах, детально описал погребенные гумусовые горизонты в лёссах. Его разработки намечают путь количественного решения уравнения связи почв с факторами почвообразования Докучаева [14]. Все это позволяет признать Высоцкого, агронома по образованию и лесовода по роду деятельности, классиком почвоведения. И не только почвоведения, но и еще целого ряда наук, в том числе гидрологии, географии, геоботаники, экологии, метеорологии.

Однако Высоцкий никогда специально не занимался проблемами названных наук, и проводимые в этих науках исследования не были для него самоцелью. Все его наработки и обобщения в разных науках сделаны им попутно, в процессе

решения сугубо лесоводственных вопросов, в связи с проблемами степного лесоразведения. Но занимался он вопросами смежных естественных наук далеко не случайно. Они были необходимы ему потому, что эти науки изучают среду обитания лесов, а изучать лес в отрыве от одновременного изучения среды, по мнению Высоцкого, не имеет смысла. Широко распространение в те годы получила прокладка лесоводами в своих лесничествах многокилометровых нивелировочных профилей, на которых проводилось сопряженное изучение насаждений и факторов среды, прежде всего почв. Очень глубоко знали почвоведение лесные типологи Крюденер, Алексеев, Погребняк, внесшие значительный вклад в методику изучения почв и оценку их лесорастительного потенциала. Так, Погребняк обосновал положение о том, что генетический тип почв является мерой влажности типа леса [15], а трофность почв определяется их минеральным составом, обусловленным составом почвообразующих пород. Морозов и Высоцкий признаны основоположниками ландшафтоведения.

Обобщение результатов многолетних исследований по вопросам лесоведения показало, что наиболее крупные из них связаны с изучением взаимосвязей лесных насаждений и почв. Автор впервые занялась изучением почв на участках Особой экспедиции В.В. Докучаева. Впоследствии результаты данных исследований позволили прийти к заключению, что два из участков экспедиции — Каменно-Степной и Велико-Анадольский — находятся не на вполне типичных для степной зоны, которую они должны характеризовать, местах. На Каменно-Степном участке относительно неглубоко на глубине (6...7 м) залегают грунтовые воды, Велико-Анадольский массив находится на отрогах Донецкого кряжа, на котором проявляется высотная поясность. В результате оба участка имеют некоторые черты, сближающие их с лесостепью. Это четко проявляется в их почвенном покрове, представленном высокогумусированными обыкновенными черноземами, переходными к типичным, характерным для лесостепи. Недаром Докучаев называл почвы зеркалом ландшафта.

Третий, Деркульский, участок находится в более жестких, типично степных условиях, что изначально проявлялось в заметно худшем, по сравнению с первым и вторым участком, росте на нем создаваемых в период работы экспедиции лесных полосах. Но именно этот участок вскоре после завершения экспедиции долгие годы не использовался как опытный. Почвы Деркульского участка, как и двух других, представлены обыкновенными черноземами. Но если в Каменной Степи и Велико-Анадоле они имеют значительное

сходство с лесостепными типичными черноземами, то на Деркуле, наоборот, они представляют переход к южным черноземам, что проявляется в значительно меньшей мощности их низкой гумусированности. Как свидетельствует многолетний опыт выращивания лесных полос, южнее проходит рубеж между зонами *степи* (обыкновенные черноземы) и *сухой степи* (южные черноземы, темно-каштановые почвы), существенно различающимися по лесорастительным условиям. Поскольку естественная растительность степей практически не сохранилась, почвы являются наиболее надежным маркером границ между разными подзонами степей. Зональные типы увлажнения (на суглинистых водоразделах) [12]: в лесостепи свежий тип (2), в Каменной Степи и Велико-Анадоле свежеватый (1–2), в типичной степи сухой (1), в сухой степи очень сухой (0). Заметим, что Докучаев очень ответственно относился к типичности подбираемых для опытных работ объектов. Однако слабое на тот период знание природы степной зоны, и прежде всего ее почв, определило недостаточную типичность объектов его экспедиции.

Позднее автору довелось участвовать в работах по почвенному районированию Центрально-Нечерноземного региона. Опорными объектами для проведения этих работ были приняты почвы сортоучастков, созданных ранее для испытания и последующего широкого внедрения новых сортов и агротехнических приемов. Предстояло разработать почвенное районирование Ивановской области. По природным условиям в области выделяются две существенно различающихся части. Юго-восточная приурочена к Мещерской низменности, сложенной древнеаллювиальными песками, северо-западная — к равнине, сложенной суглинистыми моренными отложениями. Особенностью этой второй части является наличие среди ледниковой морены нескольких высококарбонатных лёссовых островков, выделяющихся более южным колоритом — широколиственными лесами, высокогумусированными слабо оподзоленными почвами и высокой распаханностью, которые получили название «ополье».

Как выяснилось при проведении работ, два из четырех имеющихся в области сортоучастков размещены на этих лёссовых островках, совершенно нетипичных для области в целом. А на обширных песчаных массивах Мещерской низменности находится один участок, который вследствие очень низких урожаев на нем сельскохозяйственных культур предполагалось вскоре закрыть. Так недооценка особенности почв, необходимости их типичности при проведении крупной акции, какой было в свое время создание сортоиспытатель-

ных участков, привели к тому, что на территории Ивановской области на протяжении многих лет результаты работы не отражали истинного положения по области в целом.

Цель работы

В Украинском НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г.Н. Высоцкого (г. Харьков) автор занимается доработкой и совершенствованием классификационных построений украинской экологической школы лесной типологии, созданной на принципах Морозова и Крюденера.

Методы и объекты исследования

Первый этап работы — изучение лесорастительных свойств засоленных почв и создание их лесотипологической классификации. Засоленные почвы, при очень большом видовом разнообразии, в целом характеризуются крайне неблагоприятными лесорастительными свойствами и очень низкой лесопригодностью. Сбор и обработка массового материала сопряженного изучения почв и имеющих на них насаждений позволили установить угнетающие и токсичные для древесных пород, обладающих разной степенью солевыносливости, количества преобладающих в почвах легкорастворимых солей и показали, что степень засоленности почв определяется глубиной залегания в них токсичных количеств хлора ($> 0,03 \% \text{Cl}'$) и соды ($> 0,01 \% \text{CO}''$). По этому признаку выделены четыре галогенных (от греч. «галос» — соль) варианта местообитаний (h' , h'' , h''' , H). В последующем их перевели в категорию самостоятельных типов местообитаний (E , F , G , H), продолжающих трофогенный ряд эдафической сетки ($A-D$). Это позволяет применять сетку не только для лесной области, но и для более засушливых областях. Лесопригодность почв определяется степенью их засоленности и уровнем увлажнения [16, 17].

Следующий этап работы — изучение трофности лесных местообитаний. Хотя эдафическая сетка, или эдсетка, как основная классификационная модель давно используется украинскими типологами в научных и производственных работах, отсутствие понятийного и количественного обоснования одного из главных ее аргументов — *трофности* — было существенной недоработкой. Предложенный Высоцким термин «трофность» (от греч. «трофэ» — питание) изначально увязал шкалу трофотопов эдсетки с нарастанием обеспеченности лесных местообитаний элементами питания растений. Однако определение подвижных форм натрия, фосфора и калия общепринятыми методами не выявляло никаких закономерных различий в их содержании в разных трофотопах.

Для исследования трофности проводилось сопряженное изучение лесных насаждений и всего комплекса факторов, формирующих их местообитания (почв, рельефа, почвообразующих, а при залегании выше 3 м также подстилающих пород и грунтовых вод) в лесной зоне и лесостепи Украины. Чтобы определить, насколько объективны установленные типологами закономерности взаимосвязей лесных насаждений и среды и насколько широко они применимы, автор посетила многие заповедники, научные учреждения и производственные организации на огромной территории — от Закарпатья, Прибалтики и Архангельска до Красноярска, Якутска и Норильска, заложив в целом более 500 круговых пробных площадей. Еще большее количество пробных площадей было заложено при изучении лесопригодности засоленных почв, причем не только на Украине, но и в Прикаспии и Средней Азии.

Результаты и обсуждение

В результате обработки всех собранных данных установлено, что трофность лесных местообитаний определяет наибольшее в пределах корнедоступного слоя (для сосны до 3...3,5 м) общее (валовое) количество двух важнейших для жизнедеятельности растений элементов — фосфора и калия, исключая практически недоступный растениям калий кристаллических решеток полевых шпатов [17]. К сожалению, именно этот калий преобладает на нашей планете. Остальные, в том числе труднодоступные, формы этих элементов извлекаются длительным кипячением в смеси концентрированных серной и хлорной кислот (вытяжка Гинзбург [18]).

Почвообразующие породы, а соответственно и почвы на них существенно различаются по содержанию этих элементов, что определяет все разнообразие растительности внутри разных зон: от незакрепленных кварцевых песков, содержащих их следы, до богатых ими лёссов с разными по составу лесами и степями, от крайне бедных ультрапресных грунтовых вод при застойном режиме на верховых сфагновых болотах до богатых проточных минерализованных вод в поймах, где произрастают высокопродуктивные насаждения черной ольхи и ели.

Собранный материал в основном подтвердил выявленные ранее типологами связи между составом насаждений и механическим составом почвогрунтов, включая содержащиеся в них минеральные вещества и биоэлементы. К чистым пескам в разных зонах приурочены насаждения олиготрофа — сосны обыкновенной (тип А эдсетки — бедный, боры). Когда в верхнем слое песков (1...1,5 м) имеются суглинистые прослойки, в сосновых насаждениях появляется второй ярус ме-

зотрофов — ели в тайге, дуба в лесостепи (тип В, субори). При неглубоком подстилании песков суглинистыми породами (до 1...1,5 м) в сосново-еловых и сосново-дубовых насаждениях имеется в разной степени выраженный третий ярус мегатрофов — липы, лещины (тип С, сурамени, сугрудки). При подстилании песков суглинками на глубине 1,5...3 м формируются высокопродуктивные чисто сосновые субори и сугруды. И, наконец, к суглинистым отложениям в разных зонах разных генетических типов почв приурочены насаждения из требовательных пород — мезо- и мегатрофов (груды), различающиеся по составу главных пород, который обусловлен климатом: рамени (ельники) в тайге, бучины — в мягком климате широколиственных лесов, дубравы — в лесостепи.

Генетические типы почв отражают уровень увлажнения местообитаний и проявляются прежде всего в продуктивности насаждений. Однако при этом ель, легко потребляющая биоэлементы из минеральных слоев почвогрунта, на злостных суглинистых подзолах благодаря лучшей водообеспеченности может достигать более высокой продуктивности, чем дуб на серых лесных почвах, имеющих метровый гумусовый горизонт. На неоподзоленных песчаных землях эти породы (мезотрофы) даже не приживаются.

Очень важными факторами, определяющими лесорастительный потенциал почв, являются глубина залегания и минерализация грунтовых вод. При близком залегании они определяют не только увлажнение, но и обеспеченность почв элементами питания и степень засоления почв.

Определение трофности как основного аргумента эдафической сетки важно не только для оценки богатства местообитаний и состава насаждений. Когда было установлено, что трофность местообитаний обусловлена содержанием в них элементов минерального питания растений, появилось понимание того, что *лесотипологическая классификационная система базируется на трех глобальных лимитированных экологических (необходимых для жизни) ресурсах — тепле, влаге и пище*. Впервые эти три фактора назвал «элементами жизни растений» Высоцкий [14]. В 1939 г. два «космических» (тепло и свет) и два «земных» (пища и влага) фактора жизни растений выделил В.Р. Вильямс [19]. Погребняк неоднократно отмечал особую роль этих факторов для формирования разных типов леса [20]. Но эти ученые не оценивали их как лимитирующие жизнь. Между тем эти факторы представляют важнейшие составляющие плодородия среды и определяют все разнообразие природы нашей планеты [21]. Тепло выступает в качестве ограничителя жизнедеятельности в приполярных об-

ластях и на высокогорьях, элементы питания — в тропических лесах, на грунтах с легким механическим составом, на маломощных и выпаханых землях. На остальной, преобладающей, части суши главным ресурсом, ограничивающим жизнь биоты, является влага.

Сопряженные классификационные модели среды и растительности лесной типологии — *климатическая и эдафическая сетки* (системы) — построены в координатах *только лимитированных ресурсов среды*: климатическая — по нарастанию количества тепла и атмосферных осадков [12], эдафическая — по увеличению запасов пищи и доступной влаги в почвогрунтах. Все они уже оценены типологами количественно. В холодном климате сумма положительных средних месячных значений температуры (сумма тепла) составляет 24...44°, в теплом — 124...144° [12]. В бедных типах наибольшее валовое количество P_2O_5 и K_2O (без калия полевых шпатов) ниже 0,02 и 0,03 % соответственно, в богатых выше 0,06 и 0,80 % соответственно. Количество доступной влаги в очень сухих типах равно 150...200 мм, во влажных 400...500 мм [17]. (Свет не является классификационным параметром, так как поступаая на Землю в огромных количествах, не лимитирует жизнедеятельности и продуктивности биоты в целом и может служить ограничителем лишь по отношению к подчиненным ярусам растительного покрова.) Зная количество лимитированных ресурсов, можно прогнозировать состав и продуктивность биоты в любой точке планеты и программировать продуктивность, воздействуя на эти ресурсы.

Безусловно, приведенные данные не могли быть получены без большого объема почвенных исследований, без анализа почв. Изучение почв необходимо также при всех лесоводственных исследованиях, хотя бы только для того, чтобы подобрать типичные, т. е. преобладающие на тех или иных объектах, площади, да и оценить, насколько интересны сами эти объекты.

Любые работы в лесу следует начинать с рекогносцировочного знакомства с территорией, на которой предполагается проведение исследований, с закладкой нескольких почвенных разрезов. Заметим, что в таких работах нельзя ограничиваться неглубокими прикопками. Древесные породы, в отличие от травянистой растительности, очень чутко реагируют на изменения состава почвогрунтов на глубине до 1,5...2,0 м, а сосна — до 3,0...3,5 м. Наличие в песках даже небольших суглинистых прослоек и, тем более, подстиление тяжелыми породами коренным образом изменяет лесорастительный потенциал почв, влияя на состав насаждений.

В данном случае можно прогнозировать глубину залегания подстилающих пород, не копая почвенных разрезов. Так, в заповеднике «Кивач» прекрасный рост сосны в некоторых стационарах Карельского института леса связывали с небольшими особенностями строения верхних горизонтов почв, тогда как в действительности он обусловлен залеганием на двухметровой глубине ленточных глин, значительно замедляющих отток влаги и обеспечивающих сосну элементами питания. На повышенных участках, при значительно более глубоком залегании глин, произрастают изреженные низкобонитетные насаждения сосны. Там, где глины находятся на глубине около 1 м, в сосновых насаждениях имеется второй ярус ели и березы, а там, где глины выходят на поверхность, формируются чистые древостой ели. Данные факты не были выявлены не только специалистами, работающими многие годы в заповеднике, но и неоднократно посещавшими эти объекты учеными разных институтов, в том числе зарубежных.

Последующие наблюдения подтвердили не только тесную связь между гранулометрическим составом почвогрунтов и количеством в них элементов питания растений, но и тот факт, что с повышением оглиненности песков быстро увеличивается содержание в них биоэлементов. Уже 2...3 % физической глины достаточно для того, чтобы перевести почвогрунты из одной группы богатства в другую. Поэтому многие лесоводы внимательно относятся к определению гранулометрического состава песков, а некоторые (А.Г. Гаель, А.С. Гладкий) подразделяют их не на две группы (рыхлые и связные), а на три: пески (содержат до 3 % мелких частиц размером $< 0,01$ мм); глинистые пески (3..6 % мелких частиц); легкие супеси (6..10 % мелких частиц). Этим трем группам в степной и лесостепной зонах Русской равнины соответствуют три категории богатства (трофности) почвогрунтов на эдафической сетке: *бедные, относительно бедные и относительно богатые*. Преобладающая часть почв, сформированных на суглинках, за исключением сильно выпаханых, обеспечена элементами питания на уровне *богатых* (по отношению к древесной растительности) типов, а лимитирует продуктивность насаждений на них чаще всего водный режим. Вспомним в связи с этим малоизвестное, но очень важное положение Высоцкого о том, что *изучение почв нужно начинать с изучения подпочв, грунтов, а верхней корочки его следует закончить*.

Другим необходимым условием качественных исследований является массовость наблюдений. Никогда нельзя ограничиваться обследованием

одного-двух участков, закладываемых на одном объекте. Крюденер создал свою классификацию по материалам закладки под его руководством более шести тысяч пробных площадей с почвенными разрезами на каждой. При изучении трофности почв мы описали более 500 участков в разных частях СССР. На всех участках богатые трофотопы были жестко сопряжены с суглинистыми почвогрунтами или близким залеганием минерализованных грунтовых вод. Но на описанной под № 501 пробе непосредственно под Харьковом оказалось, что прекрасная кленово-липовая дубрава растет на чистых кварцевых песках, при отсутствии в них суглинистых прослоек и грунтовых вод.

В результате обследования было выявлено довольно широко распространенное, но мало известное явление — *внутрипочвенный* и *внутригрунтовый* сток. В местах концентрации стока на корнедоступной глубине постоянно поддерживается оптимальный для древесной растительности водный режим, исключающий периоды исчерпания доступной влаги. Этим обусловлено, в частности, формирование лесостепного ландшафта, при котором дубравы приурочены к местам концентрации такого стока, направленного к речным долинам. На центральных частях водоразделов в прошлом господствовали луговые степи. В лесной зоне к местам концентрации стока приурочены наиболее высокопродуктивные насаждения, в частности известная Линдуловская роща под Петербургом, на некоторых участках которой продуктивность лиственницы превышает 1000 м³/га. Наличием почвенно-грунтового стока со Среднерусской возвышенности в низменное Полесье определяется формирование высокопродуктивного Брянского лесного массива. На путях такого же стока находится Беловежская пуца. Определить его наличие по почвенным разрезам практически невозможно; о нем может свидетельствовать относительно повышенная влажность почв в засушливые периоды вегетации. Наиболее интенсивно сток проявляется на двучленных породах (супесь/суглинки), имеющих выраженный уклон к постоянным или временным водотокам. Примером могут служить сосновые насаждения Ia–Iб классов бонитета в Боярском лесхозе под Киевом, где пески на глубине около 3 м подстилаются лессами. В зонах с засушливым климатом к таким участкам приурочены куртины засухоустойчивых кустарников. Помимо создания оптимальных условий увлажнения, сток с суглинистых водоразделов является источником элементов питания растений.

Особенно важен выбор типичных объектов для проведения многолетних опытов с закладкой нескольких секций и контролем, поскольку даже самые незначительные изменения рельефа

и сложения почвогрунтов существенно влияют на водный режим почв, изменения которого обычно полностью перекрывают воздействие на насаждения различных лесохозяйственных мероприятий.

При знакомстве с почвами особое внимание должно уделяться оценке их лесорастительного потенциала и выявлению ограничивающих его факторов. Для этого желательно изучать почвы в единстве с той растительностью, которая на них произрастает. При выборе мест для закладки почвенных разрезов надо искать участки с наиболее сохранившейся естественной растительностью, при описании характеризуя почву как среду обитания растений (включая определение объема корнеобитаемой зоны, оценку водно-физических свойств и обеспеченности элементами питания). Это требует закладки глубоких почвенных разрезов. Рациональным решением этой задачи является закладка относительно неглубоких (1...1,2 м), но более широких, чем принято, разрезов и их доуглубление бурением до 2 м, а на песках до 3 м или до грунтовых вод. При описании разрезов и скважин особое внимание следует уделять детальной характеристике гранулометрического состава почвогрунтов, степени оглиненности и неоднородности песков, наличию прослоек более тяжелых пород, их мощности, глубины залегания, чередования и подстилания породами разного состава.

Заканчивая описание каждого разреза, необходимо указывать не только генетический тип и вид почв, но и особенности гранулометрического состава и сложения почв и почвообразующих пород. По совокупности всех факторов (рельефа, растительности, грунтовых вод) желательно определять *типы местообитаний*, как их выделяют типологи экологической школы, например: А₁ — бедное сухое, сухой бор, С₃ — относительно богатое влажное, влажный сугрудок. Растительность в данном случае используется как индикатор качества почв. Весьма интересные материалы можно получить при изучении корневых систем растений с определением причин, ограничивающих корнеобитаемую зону.

Особые методы необходимы и при аналитической обработке взятых образцов почв. Нам удалось найти хороший метод определения количества доступных элементов питания древесных растений (как оказалось, им доступны все имеющиеся в почвах элементы, кроме калия кристаллических решеток полевых шпатов). Этим методом является вытяжка Гинзбург [18]. Общепринятые методы определения подвижных форм биоэлементов, используемые на сельскохозяйственных землях, для оценки обеспеченности ими древесных растений совершенно непригодны.

Выводы

Знакомство с почвами объектов исследований, безусловно, поможет лучше организовать работу, натолкнет на включение в программу исследований каких-то новых вопросов. Оно позволит также давать объективные рекомендации по поводу того, где могут быть применены полученные результаты. При желании можно обобщить собранные материалы в виде краткого очерка «Характеристика почв объекта». В целом же учет особенностей почв — залог высокого качества всех работ по лесовосстановлению и лесовыращиванию.

И еще один важный момент: уже первые лесные типологи, прежде всего Крюденер, оперировали не почвами и даже не почвогрунтами, а всем комплексом факторов, влияющих на рост насаждений. В расчет принимались приуроченность объектов к тем или другим геоморфологическим элементам (террасы, поймы), положение в рельефе, степень дренированности территории, определяющая водный и воздушный режим, уровень и проточность грунтовых вод. Этот комплекс факторов может быть определен понятием «земли». В ботанике ему соответствует термин «местообитание». Крюденер называл этот комплекс почвенно-грунтовыми условиями. Все составляющие этого комплекса учтены в его классификационной таблице [6]. Все последующие работы, основанные на классификационных построениях Крюденера, опираются на взаимосвязь леса не с почвами, а именно с местообитаниями, землями. Однако при этом основным всегда остается связь роста насаждений с уровнем плодородия среды, ее обеспеченностью пищей и влагой, концентрирующихся прежде всего в почвогрунтах.

В заключение напомним положение Г.Ф. Морозова: «География должна предшествовать лесоводству». Без глубокого знания среды обитания леса невозможно подлинно рациональное ведение лесохозяйственного производства. Поэтому необходимо значительно усиленное изучение не только почвоведения, в том числе функций почв как среды обитания растений [22], но и основ ландшафтоведения, геоморфологии, гидрологии, метеорологии. Такое изучение может проводиться в лесных вузах в рамках большого курса *лесной типологии* как учения о взаимосвязи леса и среды, о лесных экосистемах, с включением в него разделов по основам вышеперечисленных дисциплин.

Сведения об авторе

Мигунова Елена Сергеевна — д-р с.-х. наук, профессор, академик Лесной академии наук Украины, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии леса Украинского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации имени Г.М. Высоцкого, migunova-l-s@yandex.ua

Статья поступила в редакцию 25.01.2017.

Список литературы

- [1] Морозов Г.Ф. Учение о лесе. Избр. тр. В 2 т. М.: Лесная пром-сть., 1970. Т. I. С. 27–458.
- [2] Морозов Г.Ф. Учение о типах насаждений. Избр. тр. В 2 т. М.: Лесная пром-сть, 1971. Т. II. С. 11–356.
- [3] Морозов Г.Ф. О типах насаждений и их значении в лесоводстве // Лесной журнал, 1904. Вып. 1. С. 6–25.
- [4] Висоцький Г.М. Лісівництво й географія // Український лісовод, 1928. № 5, 6.
- [5] Морозов Г.Ф. Исследование лесов Воронежской губернии // Лесной журнал, 1913. Вып. 3, 4. С. 463–481.
- [6] Крюденер А.А. Основы классификации типов насаждений и их народнохозяйственное значение в обиходе страны. Пг.: Типография Глав. управления уделов, 1916. Вып. 3. 190 с.
- [7] Tansley A.G. The use and abuse of vegetation concepts and terms // Ecology, 1935, v. 16, no. 3.
- [8] Сукачев В.Н. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Избр. тр. Т. 1. Л.: Наука, 1972. 420 с.
- [9] Алексеев Е.В. Типы украинского леса. Правобережье. Киев, 1928. 120 с.
- [10] Погребняк П.С. Основи типологічної класифікації та методика складати її // Сер. наук. вид. ВНДЛГА. Харків: ВНДЛГА, 1931. Вип. 10. С. 180–189.
- [11] Крюденер А.А. Опыт группировки почвенного покрова в связи с местоположением, почвою, инсоляцией и возобновлением под пологом и на лесосеках // Лесной журнал, 1903. Вып. 6. С. 1430–1468.
- [12] Воробьев Д.В. Лесотипологическая классификация климатов // Тр. Харьковского СХИ. Т. 30, 1961; 1972. Т. 169, 1972.
- [13] Высоцкий Г.Н. Биологические, почвенные и фенологические наблюдения и исследования в Велико-Анадолле. 1901–1902 // Избр. соч. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 159–497.
- [14] Высоцкий Г.Н. О карте типов местопроизрастаний // Современные вопросы русского сельского хозяйства. СПб., 1904. С. 81–94.
- [15] Погребняк П.С. Лесорастительные условия правобережного Полесья // Труды по лесному опытному делу Украины. Харьков: Всеукраїнське центральне управління лісами, 1927. Вып. VII. 246 с.
- [16] Мигунова Е.С. Лесонасаждения на засоленных почвах. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 144 с.
- [17] Мигунова Е.С. Леса и лесные земли (количественная оценка взаимосвязей). М.: Экология, 1993. 364 с.
- [18] Гинзбург К.Е. Методы определения фосфора в почвах // Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. С. 118.
- [19] Вильямс В.Р. Почвоведение с основами земледелия. М.: Сельхозгиз, 1939. 447 с.
- [20] Погребняк П.С. Основы лесной типологии. Киев: АН УССР, 1955. 456 с.
- [21] Мигунова Е.С. Типы леса и типы природы. Экологические взаимосвязи. Saarbücken: Palmarium Academic Publishing, 2014. 295 с.
- [22] Мигунова Е.С. Почвоведение и лесная типология. Изучение почв как среды обитания растений. Харьков: Планета-Принт, 2017. 94 с.

ON NECESSITY OF STUDY OF SOILS IN THE CONDUCT OF FORESTRY AND AGROFORESTRY RESEARCHES

E.S. Migunova

Ukrainian Scientific Research Institute of Forestry and Agroforestry named after G.M. Vysotsky, 61024, Kharkiv, st. Pushkinskaya, 86
mail@bgita.ru

The necessity of studying soils and, on the whole, the physical and geographical conditions of research objects, as it was carried out by many in the Morozov period, is substantiated. Such works will allow to evaluate the typicality of the selected objects, the comparability of the sections in the setting of experiments and, on the whole, understand the reasons that determine the composition and productivity of these or other plantings and their changes. Differences in soils with the slightest changes in the relief in their influence on the growth of plantations cover the impact on them of any forest management measures.

Keywords: land, soil, genetic type, mechanical (granulometric) composition, fertility, relief, landscape

Suggested citation: Migunova E.S. *O neobkhodimosti izucheniya pochv pri provedenii lesovodstvennykh i agrolesomeliativnykh issledovaniy* [On necessity of study of soils in the conduct of forestry and agroforestry researches] *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 43–51.

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-43-51

References

- [1] Morozov G.F. *Uchenie o lese. 1930. Izbr. trudy v 2 t.* [Doctrine of the forest. 1930. Works in 2 t.] Moscow: Lesnaya prom-st' Publ. [Forestry], 1970, t. I, pp. 27–458.
- [2] Morozov G.F. *Uchenie o tipakh nasazhdeniy. 1930. Izbr. trudy v 2 t.* [The doctrine of types of plantations. 1930. Works in 2 v.]. V. II. Moscow: Lesn. prom-st' Publ. [Forestry], 1971, pp. 11–356.
- [3] Morozov G.F. *O tipakh nasazhdeniy i ikh znachenii v lesovodstve* [On types of plantations and their significance in forestry]. *Lesnoy zhurnal*, 1904, v. 1, pp. 6–25.
- [4] Visots'kiy G.M. *Lisivnitstvo y geografiya* [Forestry and geography] Український лісовод, 1928, no. 5–6.
- [5] Morozov G.F. *Issledovanie lesov Voronezhskoy gubernii* [Investigation of the forests of the Voronezh province]. *Lesnoy zhurnal*, 1913, v. 3–4, pp. 463–481.
- [6] Kryudener A.A. *Osnovy klassifikatsii tipov nasazhdeniy i ikh narodnokho-zyaystvennoe znachenie v obikhode strany* [The basis for the classification of plantation types and their national economic importance in the country's everyday life]. Petrograd: Tipografiya Glavnogo Upravleniya Udelov Publ., 1916, v. 3, 190 p.
- [7] Tansley A.G. The use and the abuse of vegetation concepts and terms. *Ecology Publ.*, 1935, v. 16, pp. 284–307.
- [8] Sukachev V.N. *Osnovy lesnoy tipologii i biogeotsenologii* [Basics of forest typology and biogeocenology]. *Fav. works*, v. 1. Leningrad: Nauka Publ., 1972, 420 p.
- [9] Alekseev E.V. *Tipy ukrainskogo lesa. Pravoberezh'e* [Types of Ukrainian forest. Right-bank]. Kiev, 1928, 120 p.
- [10] Pogrebnyak P.S. *Osnovi tipologichnoi klasifikatsii ta metodika skladati ii* [The basis of the typological classification and the methodology of warehousing]. Ser. nauk. VNDILGA, Kharkiv: VNDILGA Publ., 1931, v. 10, pp. 180–189.
- [11] Kryudener A.A. *Opyt gruppirovki pochvennogo pokrova v svyazi s mes-topolozheniem, pochvoyu, insolyatsiey i vobnovleniem pod pologom i na lesekekakh* [Experience in the grouping of soil cover in connection with the location, soil, insolation and renewal under the canopy and on the forest-trees]. *Lesnoy zhurnal*, 1903, iss. 6, pp. 1430–1468.
- [12] Vorob'ev D.V. *Lesotipologicheskaya klassifikatsiya klimatov* [Lesitipologicheskaya classification of climates] Tr. Kharkov Agricultural Institute, 1961, v. 30, pp. 23–43; 1972, v. 169, pp. 51–62.
- [13] Vysotskiy G.N. *Biologicheskie, pochvennye i fenologicheskie nablyude-niya i issledovaniya v Veliko-Anadole 1901–1902* [Biological, soil and phenological observations and studies in Veliko-Anadol. 1901–1902]. Selected treatises. T. 1. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1962, pp. 159–497.
- [14] Vysotskiy G.N. *O karte tipov mestoproizrastaniy* [On the map of types of habitats]. *Modern questions of Russian agriculture*. St. Petersburg, 1904, pp. 81–94.
- [15] Pogrebnyak P.S. *Lesorastitel'nye usloviya pravoberezhnogo Poles'ya* [The forest-growing conditions of the right-bank Polissya]. Proceedings of the Forest Experimental Business of Ukraine. Kharkov: All-Ukrainian central forest management Publ., 1927, v. VII, 246 p.
- [16] Migunova E.S. *Lesonasazhdeniya na zasolennykh pochvakh* [Silviculture on saline soils]. Moscow: Lesn. prom-st' Publ. [Forestry], 1978, 144 p.
- [17] Migunova E.S. *Lesy i lesnye zemli (kolichestvennaya otsenka vzaimosvyazey)* [Forests and forest lands (a quantitative assessment of mutual relations)]. Moscow: Ecology Publ., 1993, 364 p.
- [18] Ginzburg K.E. *Metody opredeleniya fosfora v pochvakh* [Methods for determination of phosphorus in soils]. Agrochemical methods of soil investigation. Moscow: Nauka Publ., 1975, p. 118.
- [19] Vil'yams V.R. *Pochvovedenie s osnovami zemledeliya* [Soil science with the basics of farming]. Moscow: Sel'khozgiz Publ., 1939, 447 p.
- [20] Pogrebnyak P.S. *Osnovy lesnoy tipologii* [Basics of forest typology]. Kiev: Academy of Sciences of the Ukrainian SSR Publ., 1955, 456 p.
- [21] Migunova E.S. *Tipy lesa i tipy prirody. Ekologicheskie vzaimosvyazi* [Types of forests and types of nature]. Ecological relationships. Saarbücken: Palmarium Academic Publishing, Germany Publ., 2014, 295 p.
- [22] Migunova E.S. *Pochvovedenie i lesnaya tipologiya. Izuchenie pochv kak sredy obitaniya rasteniy* [Soil science and forest typology. Study of soils as a habitat for plants]. Khar'kov: Planet-Print Publ., 2017, 94 p.

Author's information

Migunova Elena Sergeevna — Dr. Sci. (Agricultural), Professor, Academician of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Leading Scientist of the Forest Ecology Laboratory of the Ukrainian Scientific Research Institute of Forestry and Agroforestry named after G.M. Vysotsky, migunova-l-s@yandex.ua

Received 25.01.2017.

К ВОПРОСУ О ЦВЕТОЧНОМ ОФОРМЛЕНИИ ТЕРРИТОРИИ МОНАСТЫРЕЙ

О.Н. Бобылева, И.Ю. Бочкова

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
bochkova@mgul.ac.ru

Рассмотрены вопросы цветочного оформления территорий русских православных монастырей. Описаны этапы становления русских монастырских садов с древних времен, особенности цветочного оформления каждого типа сада на примерах Соловецкого, Валаамского и Дивеевского монастырей. Показаны приемы планировки садов: аптекарского огорода, плодового сада, цветочных композиций. Приведены рекомендации по подбору ассортимента цветочно-декоративных растений для монастырских территорий: для рокария, миксбордеров, клумб. Даны варианты ассортимента цветочных культур в зависимости от стиля территории монастыря.

Ключевые слова: монастырский сад, территория монастыря, цветовая гамма, композиция цветников, орнамент цветников

Ссылка для цитирования: Бобылева О.Н., Бочкова И.Ю. К вопросу о цветочном оформлении территории монастырей // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 52–57.
DOI: 10.18698/2542-1468-2017-5-52-57

С древних времен русские монастыри славились своими необыкновенными садами, даже в самых суровых и отдаленных местах. С появлением в XI в. в Киеве первых на Руси монастырей сады в них играли в основном утилитарную роль. Постепенно отношение к саду наполнялось духовным и эстетическим содержанием. Сады древних обителей неоднократно перестраивались, и теперь очень сложно судить об их облике в конкретную историческую эпоху. Сохранились немногочисленные архивные документы: планы, чертежи, описания в летописях, житиях святых, воспоминаниях паломников, а также старинные иконы, росписи стен монастырских храмов, рисунки, картины, позднее — литографии обителей, которые дают представления об историческом облике русских монастырей. В отдельных монастырях до сих пор частично сохранились архитектурные и инженерные сооружения (например, старинные искусственные пруды в Свято-Пафнутьевом Боровском монастыре, аллеи деревьев и каналы в Спасо-Преображенском Соловецком монастыре и на Валааме, кедровые насаждения XVI в. в Свято-Введенском Толгском монастыре). Специалисты в области ландшафтной архитектуры по крупицам собирают сведения о старинных монастырских садах и цветниках.

Цель работы

Цель данной работы — анализ исторического материала по цветочному оформлению территории русских монастырей и разработка рекомендаций для специалистов в области ландшафтной архитектуры по подбору ассортимента цветочно-декоративных растений и приемам создания цветников при реконструкции и восстановлении монастырских садов.

Академик Д.С. Лихачев в своей работе по истории садов пишет, что в средние века «монастырские сады были трех типов: хозяйственные, которых мы здесь не касаемся, те, что помещались в ограде монастыря и служили как бы образами рая, и те, что помещались за монастырской оградой и связывались с представлениями о священных рощах» [1]. Сад внутри ограды («вертоград заключенный») должен был иметь атрибуты райской жизни: «райские деревья» — яблони, благоухающие цветы, птиц на ветвях деревьев, водные устройства. Еще одна черта, характерная для «райских садов», — ограда, необходимость которой подчеркивается в одном из названий сада («вертоград») [1]. Ограда ассоциировалась со спасением, защитой от мирских грехов высокими стенами монастыря — «оградой рая». В садах внутри монастырей выращивались плодовые деревья и кустарники, овощи, лекарственные травы и цветы. На устройство древних монастырей оказывали влияние и западноевропейские традиции. Это влияние отразилось на планировке территории монастырских садов, в частности, на форме пересечения дорожек (крестообразная форма).

Сады за пределами монастырских стен носили менее регулярный характер и имели в основном хозяйственное значение, но наряду с плодовыми и лекарственными растениями в них выращивались цветы и декоративные культуры, были предусмотрены и места отдыха для паломников (например, в Паисиевом саду Валаамского монастыря, Пафнутьевом саду Троице-Сергиевой лавры).

К XIV–XV вв. монастырские сады становятся крупнее, усложняется их планировка, расширяется ассортимент растений.

Сохранились многочисленные описания и изображения садов Макарьевской пустыни Соловецкого монастыря. В суровых условиях Севера монахи выращивали яблони, вишню, черемуху, сирень, иргу, калину, жимолость, спирею, курильский чай. Вдоль дороги посадили шиповник (розу морщинистую), бадан толстолистный. Важной заботой монахов Соловецкого монастыря было выращивание лекарственных растений. На специально устроенных аптекарских огородах растили шалфей, полынь, чабрец, валериану, ромашку, мяту и др. На цветочных клумбах можно было увидеть астры, маки, табак, львиный зев, ромашку садовую, в оранжереях — резеду, душистый горошек, настурцию [2]. В качестве орнаментов для клумб использовали элементы религиозной символики — например, крест, вписанный в круг [3].

«Оранжереи с цветами прелестны. В распределении клумб обнаруживается вкус и знание дела. Я долго был тут, внимательно рассматривая все подробности этого уголка. Это — полярная Италия, как ее метко назвал высокий посетитель», — писал В.И. Немирович-Данченко. По воспоминаниям писателя, помимо разнообразных цветов и овощей в теплицах с подземным подогревом выращивались арбузы, дыни, персики, «разная нежная ягода» [4].

«Северным Афоном» называют Свято-Преображенский Валаамский монастырь, сады которого создавались на суровом скалистом архипелаге, где толщина естественного почвенного слоя всего 10 см. Одних только яблонь в валаамских садах было к началу XIX в. 60 сортов. Кроме яблонь, монахи выращивали груши, вишню, сливу, крыжовник (его именовали «берсень»), малину. В Верхнем саду, возникшем из Аптекарского огорода, по-прежнему растут разные виды и сорта шиповника, валериана, мята, можжевельник, аптечная ромашка. Нижний сад прославился виноградом [5].

В петровскую эпоху во многих русских монастырях, особенно расположенных близко к крупным городам, появляются признаки обмирщения (секуляризации) ландшафта: мощеные дорожки, гроты, фонтаны, стриженные формы деревьев и кустарников. [6]. В первой половине XVIII в. в Санкт-Петербурге, в Александро-Невской лавре и Смольном монастыре, применяли регулярную планировку, включая кустарниковые боскеты, стриженные шпалеры, цветочные партеры, фонтаны и т. д. [7]

В конце XVIII в. в русских монастырских садах начали высаживать садовые розы.

К концу XIX в. — началу XX в. многие монастыри России представляли собой города-сады с широкими аллеями, рощами, видовыми площадками, крупными цветниками, набережными, рассчитанные на большое количество паломников.

В годы советской власти вместе с монастырями были уничтожены и монастырские сады. Частично они сохранились лишь при немногих действовавших в те годы монастырях.

В настоящее время, в эпоху возрождения храмов и монастырей, восстанавливаются и монастырские сады, и цветники в них.

Один из крупнейших монастырей — Дивеевский (полное название — Серафимов Дивеевский во имя Святой Троицы женский монастырь), расположенный в с. Дивеево Нижегородской области. Почитается православной церковью как четвертый (после Иверии, Афона и Киево-Печерской лавры) земной Удел Пресвятой Богородицы. История Серафимо-Дивеевского монастыря начинается с середины XVI в., когда в с. Дивеево пришла Агафия Семеновна Мельгунова, ставшая основательницей и первоначальницей женской общины при Казанской церкви. Только на двенадцатой начальнице, как и предсказывал преподобный Серафим, устроился здесь монастырь. В 1927 г. монастырь был закрыт и разорен. Через шестьдесят лет началось его возрождение. Летом 1991 г. в Дивеево принесли мощи преподобного Серафима Саровского, и с тех пор они постоянно находятся в Троицком соборе.

Святая Канавка — одна из главных святынь монастыря. По преданию, 25 ноября 1825 г. Богородица явилась преподобному Серафиму и повелела основать Мельничную общину, указав обнести это место канавой и валом. Копать Канавку должны были только сестры общины, а миряне могли помогать носить землю и насыпать вал. Сегодня Святая Канавка полностью восстановлена. Внутри ее территории созданы ландшафтные композиции из декоративных кустарников, деревьев, травянистых растений. Много высажено роз, флоксов, пионов, лилий (рис. 1). По самой Канавке высажен крыжовник [8].

Выводы

Анализ исторических материалов по вопросам цветочного оформления монастырских территорий позволяет сделать вывод, что нет единых канонов и правил создания цветников в монастырях, но, безусловно, есть благочестивые традиции цветочного оформления, связанные с определенным укладом монастырской жизни. Предлагаем следующие рекомендации, которыми могут руководствоваться специалисты при создании цветников на монастырских территориях.

1. Необходимо учитывать индивидуальные исторические, местные природно-климатические, архитектурно-планировочные, ландшафтные особенности каждой обители, а также их утилитарные и социальные функции.

2. Выбор ассортимента растений и приемов цветочного оформления в значительной мере



Рис. 1. Святая Канавка (Дивеево)
Fig. 1. The Holy Path (Diveevo)

зависит от мнения и личных предпочтений настоятеля обители, которые обязательно надо учитывать при воссоздании монастырских садов и цветников.

3. Не стоит забывать, что русские монастыри всегда сочетали в себе полезное и идеальное, утилитарное и сакральное; в них, в отличие от западноевропейских монастырей, отсутствовали показная роскошь, театральность, избыток символизма.

Нежелательно перегружать композиции монастырских цветников растениями — библейскими символами (которые считаются свидетелями библейских событий). Их должно быть не более двух–четырех видов [9]. Надо иметь в виду, что в православии садовые розы никогда не были символом Богородицы, как в католицизме, и появились в монастырских садах России лишь с конца XVIII в. — в пору активного обмирщения церкви. До этого выращивались шиповники. Истинным символом Богородицы в православии всегда являлась белая лилия (крин), которую часто сажали рядом с небольшим водоемом (криница). В условиях благоприятного климата хорошо высаживать виноград — символ священного дерева — и такие библейские растения, как иссоп, фиалки, шафран, лаванда.

4. Одновременно с библейскими использовались и ныне достойны располагаться на террито-

рии монастыря разнообразные стабильно-декоративные цветочные культуры с привлекательными цветками, соцветиями, листьями, часто с ароматом, такие как пионы, ирисы, георгины, астры, хризантемы, примулы, золотарник, нивяник, ландыш, хоста, астильба, лилейник, гейхера, гравилат, бадан и др. (рис. 2.), в том числе двулетники (маргаритки, виола Витрокка) и в небольшом количестве — летники.



Рис. 2. Цветник из многолетников (Оптина Пустынь)
Fig. 2. A flower garden of perennials (OptinaPustyn)

В монастырях, расположенных рядом с крупными городами, нередко упор делается на летники — бегонию, петунию, сальвию, тагетес. Цветники из них резко контрастируют с архитектурой и окружающим природным ландшафтом монастырской территории. Такие композиции мало отличаются от городских цветников и часто не находят отклика в душах насельников и паломников монастыря.

5. Наряду с разными видами шиповника стоит использовать садовые розы: флорибунда, шрабы, плетистые — на опорах.

6. Очень гармонично воспринимаются на территории монастыря злаковые растения, такие как мискантус, фалярис, молиния, вейник и т. п., благодаря своей воздушности, интересной форме, стабильности декоративности.

7. Растения, которые традиционно не рекомендуются высаживать на территории храмов: ядовитые (аконит, белена, лютики, ясенец, дафна), колючие (например, агавы). Непригодны для монастырского сада растения, за которыми с давних времен закрепился отрицательный сакральный смысл, так называемые колдовские травы: дербенник иволистный (плакун-трава), кошачья лапка (нечуй-ветер), кувшинка (одолень-трава), фуксия [10].

8. Дорожки в монастырских садах можно оформить бордюрами, рабатками или миксбордерами лесного или садового типа из стабиль-

но-декоративных неприхотливых растений, подобранных по принципу непрерывности цветения, сочетая их с традиционными для монастырей деревьями и кустарниками. Можно обеспечить наиболее пышное цветение садов летом и осенью во время таких православных праздников, как Вознесение, Троица, Петров день, Успение и Рождество Богородицы, церковное Новолетие, престольные праздники.

9. Цветовая гамма цветочных композиций должна согласовываться с цветом архитектурных строений. Так, у стен храма из красного кирпича хорошо воспринимаются растения с белой, серебристой, голубой окраской, у белых стен — с красной и бордовой, у желтых — с сиреневой, синей, фиолетовой, у голубых — с желтой, красной, пурпурной окраской [11].

10. В некоторых случаях в парадных местах монастырской территории можно применять и регулярные элементы цветочного оформления, например, цветники с растительными орнаментами, христианской символикой (крест, рыба, голубь) (рис. 3), надписями, клумбы с розами (рис. 4), подпорные стенки и контейнеры с цветочными растениями (рис. 5) и т. д. Форма, линии рисунка

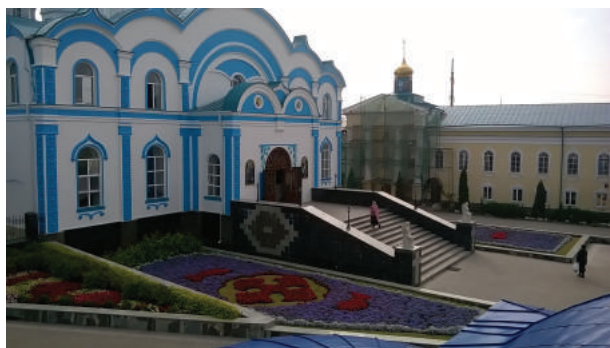


Рис. 3. Регулярный цветник с изображением креста (Задонский Рождество-Богородицкий Монастырь)

Fig. 3. Regular flower garden with the image of the cross (Zadonsky Christmas-Bogoroditsky Monastery)



Рис. 4. Посадки роз (Дивеево)

Fig. 4. Rose plantations (Diveevo)



Рис. 5. Контейнеры с петуниями (Свято-Введенский Толгский монастырь)

Fig. 5. Containers with petunias (Holy-Vvedensky Tolga Monastery)

и контуры регулярных цветников должны соответствовать стилю архитектурных сооружений. Так, рисунки работок и клумб могут включать отдельные элементы и украшения монастырских зданий, например, линии куполов, оконных наличников, а также элементы орнаментов росписи зданий.

11. Существует традиция устраивать на специально отведенных участках монастырских территорий аптекарские огороды или сады лекарственных растений, где можно выращивать и собирать коллекции редких и лекарственных растений. Например, на территории Свято-Никола-Берлюковского монастыря (Московская область, Ногинский район) в настоящее время воссоздан Аптекарский огород, на котором монахи выращивают и заготавливают более 50 видов лекарственных растений.

12. На территории монастырей уместны рокарии, особенно на участках с выраженным рельефом — склонах, террасах. Для них подбирают такой ассортимент кустарников и цветочных растений, который обеспечивает непрерывность цветения и прежде всего — цветение к праздникам. Это традиционные для рокария неприхотливые культуры: ирисы, хризантемы, хосты, гвоздики, очитки, молодило, луковичные и мелколуковичные культуры и др.

13. Безусловно, надо категорически отказаться от разнообразных растительных лабиринтов, характерных для католических садов, ограничить применение стриженных форм деревьев и кустарников [11].

14. С древних времен на территории обителей размещаются монастырские кладбища, на которых похоронены православные христиане — настоятели, монахи, благотворители монастыря. По благочестивой традиции, на могилах можно

высаживать барвинок малый (народное название «гроб-трава»), который живым ковром будет стелиться по могильным холмам, а весной и в начале лета покроется голубыми цветками. Места упокоения можно оформить такими растениями, как незабудка, маргаритка, виола Витрокка, хоста, а также мелколуковичными культурами.

Создавать цветники в русских монастырях нужно не только осмысленно, но и с любовью и особым тщанием. Ведь, по образному выражению св. праведного Иоанна Кронштадского, цветы — это остатки рая на земле.

Список литературы

- [1] Лихачев Д.С. Поэзия садов. К семантике садово-парковых стилей. М.: Наука, 1982. 344 с.
- [2] Богуславский Г. Острова Соловецкие. Архангельск: Северо-Западное книжное изд-во, 1966. 163 с.
- [3] Паршин А.Ю. Соловецкий сад. Ботанический сад — Макарьевская пустынь Соловецкого государственного историко-архитектурного и природного музея-заповедника. М., 2005. 56 с.
- [4] Немирович-Данченко В.И. Соловки // От Соловков до Святой Земли: паломнические очерки русских писателей. М.: Артос-Медиа, 2012. 768 с.
- [5] Православные монастыри. № 2. Путешествия по святым местам / под ред. А. Жарковой. М.: DeAgostini, 2008. 32 с.
- [6] Вергунов А.П., Горохов В.А. Монастыри. Природа и люди. М.: Изд-во ж. «Москва», 2006. 624 с.
- [7] Вергунов А.П., Горохов В.А. Монастыри земли русской. М.: Изд-во ж. «Москва», 2009. 800 с.
- [8] Канавка Царицы Небесной. Дивеево: Свято-Троицкий Серафимо-Дивеевский монастырь, 2009. 80 с.
- [9] Михальчик А.С. Ландшафт территорий христианских храмов и монастырские сады // Питомник, частный сад, 2011. № 5 (11). С. 61
- [10] Стрижев А.А. Русское разнотравье. М.: Общество сохранения литературного наследия, 2007. 568 с.
- [11] Бобылева О.Н., Бочкова И.Ю. Цветочное оформление территорий храмовых комплексов // Объекты культурного наследия — проблемы сохранения, восстановления и развития: Сб. ст. / под ред. О.Н. Бобылевой, И.Ю. Бочковой. М.: МГУЛ, 2016. С. 66–69.

Сведения об авторах

Бобылева Ольга Николаевна — старший преподаватель кафедры декоративного растениеводства и физиологии растений МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), bobyleva@mgul.ac.ru, agava0105@yandex.ru

Бочкова Ирина Юрьевна — канд. с.-х. наук, доцент кафедры декоративного растениеводства и физиологии растений МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), bochkova@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 01.11.2017.

ON THE QUESTION OF THE FLOWER DESIGN OF MONASTERY TERRITORY

O.N. Bobyleva, I.Yu. Bochkova

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

bobyleva@mgul.ac.ru

The article deals with the issues of flower decoration of territories of Russian Orthodox monasteries. The stages of the formation of Russian monastic gardens from ancient times, the features of the floral decoration of each type of garden on the examples of the Solovetsky, Valaam and Diveevsky monasteries are described. The techniques of planning gardens such as apothecary garden, fruit garden, flower compositions are considered. Recommendations are given on the selection of an assortment of floral and ornamental plants for monastic territories, i.e. for rockeries, mixborders, flower beds. The variants of the assortment of flower crops are considered depending on the style of the monastery territory.

Keywords: monastery garden, territory of a monastery, colors, composition of flower beds, ornament of flower beds

Suggested citation: Bobyleva O.N., Bochkova I.Yu. *K voprosu tsvetochnogo oformleniya territorii monastyrey* [On the question of the flower design of the monastery territory]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 52–57. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-52-57

References

- [1] Likhachev D.S. *Poeziya sadov. K semantike sadovo-parkovykh stiley* [Poetry of gardens. To the semantics of garden and park styles]. Moscow: Nauka Publ. [Science], 1982, 344 p.
- [2] Boguslavskiy G. *Ostrova Solovetskie* [The Solovetsky Islands]. Arhangel'sk: Severo-Zapadnoe knizhnoe Izdatel'stvo [North-East book Publ.], 1966, 163 p.
- [3] Parshin A.Yu. *Solovetskiy sad. Botanicheskiy sad — Makar'evskaya pustyn' Solovetskogo gosudarstvennogo istoriko-arkhitekturnogo i prirodnogo muzeya-zapovednika* [The Solovetsky garden. Botanical Garden — Makarevskaya desert of the Solovetsky State Historical, Architectural and Natural Museum-Reserve]. Moscow, 2005, 56 p.
- [4] Nemirovich-Danchenko V.I. *Solovki: v kn. «Ot Solovkov do Svyatoy Zemli: palomnicheskie ocherki russkikh pisateley»* [Solovki, in book «Collection From Solovki to the Holy Land: pilgrim essays of Russian writers»]. Moscow: Artos-Media Publ., 2012, 768 p.
- [5] *Pravoslavnye monastyri. № 2. Puteshestviya po svyatyim mestam* [Orthodox monasteries. Traveling to holy places]. Moscow: DeAgostini Publ., 2008, 32 p.
- [6] Vergunov A.P., Gorokhov V.A. *Monastyri. Priroda i lyudi* [Monasteries. Nature and people]. Moscow: Publishing House of the magazine «Moscow», 2006, 624 p.
- [7] Vergunov A.P., Gorokhov V.A. *Monastyri zemli russkoy* [Monasteries of the Russian land]. Moscow: Publishing House of the magazine «Moscow», 2009, 800 p.
- [8] *Kanavka Tsaritsy Nebesnoy* [The groove of the Queen of Heaven]. Diveevo: Holy Trinity Seraphim-Diveevsky Monastery Publ., 2009, 80 p.
- [9] Mikhail'chik A.S. *Landshaft territoriy khristianskikh khramov i monastyrskie sady* [The landscape of the territories of Christian churches and monastery gardens]. *Pitomnik, chastnyj sad* [Kennel, private garden], 2011, no. 5 (11), p. 61.
- [10] Strizhev A.A. *Russkoe raznotrav'e* [Russian herbage]. Moscow: Society for the Preservation of Literary Heritage Publ., 2007, 568 p.
- [11] Bobyleva O.N., Bochkova I.Yu. *Tsvetochnoe oformlenie territoriy khramovykh kompleksov* [Flower decoration of the territories of temple complexes]. *Ob'ekty kul'turnogo naslediya — problemy sokhraneniya, vosstanovleniya i razvitiya* [Objects of cultural heritage — the problems of preservation, restoration and development]. Moscow: MGUL Publ., 2016, pp. 66–69.

Authors' information

Bobyleva Ol'ga Nikolaevna — Senior Lecturer of BMSTU (Mytishchi branch), bobyleva@mgul.ac.ru, agava0105@yandex.ru

Bochkova Irina Yur'evna — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), bochkova@mgul.ac.ru

Received 01.11.2017.

ЗАЧЕМ ПАРИЖУ PROMENADE PLANTÉE

А.Н. Белкин¹, В.В. Дормидонтова²

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

²МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
an.belkin@mail.ru

Линейный парк «Променад растений» в Париже рассмотрен как позитивный и показательный пример устройства новой озелененной связи в крупнейшем историческом городе. Речь идет о маршруте длиной в 4,5 км, связывающем площадь Бастилии с Венсенским лесом. Характеристика маршрута приведена для того, чтобы показать сложность создания такого парка в городе с плотной сеткой улиц и застройкой. Описание композиционное разнообразие и выразительность пространств, входящих в структуру линейного парка. Главная парковая дорога проходит над землей, по земле, под землей. Чередуются закрытые и открытые пространства. Плохо освещенные тоннели сменяются хорошо освещенными участками, проходящими по виадукам и мостам. Парк привлекает многих посетителей благодаря удобству и красоте малых архитектурных форм, богатству ассортимента цветущих, ароматных и фруктовых деревьев, кустарников и лиан, обилию цветов и трав. Трудности проектирования и строительства объясняются стремлением создать непрерывность системы открытых зеленых пространств в городе, в формировании которых озелененные связи играют важнейшую роль. Экологический подход в иерархии ценностей градостроительной политики является основным. Реализация экологического подхода осуществляется путем формирования системы открытых озелененных пространств в городе. Непрерывность зеленых насаждений определяет качество экологического каркаса города.

Ключевые слова: город, экология, система открытых озелененных пространств, линейный парк, непрерывность

Ссылка для цитирования: Белкин А.Н., Дормидонтова В.В. Зачем Парижу Promenade plantée // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 58–63. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-58-63

Новым объектам, обогатившим системы озеленения городов мира на рубеже XX и XXI вв., в профессиональной литературе уделяется большое внимание [1–6, 11–15]. La Promenade plantée в Париже остается лучшим примером создания озелененной связи в крупнейшем историческом городе и отражает процесс развития древней Лютеции в самом позитивном значении этого слова. Этот линейный парк длиной 4,5 км, который по-русски называют «Променад растений», связывает площадь Бастилии с Венсенским лесом, буквально пробиваясь сквозь достаточно плотную сетку улиц и застройку [2]. Авторы проекта архитекторы Ф. Матье (Philippe Mathieux) и Ж. Вержели (Jacques Vergely) проявили редкую изобретательность и высокое мастерство в стремлении обеспечить пешеходную связь городского центра с крупным парковым массивом, избегая при этом одноуровневых пересечений с городским транспортом [2, 3].

Проектирование «Променада растений» началось в 1988 г. на месте железнодорожного пути. Эта ветка, проходившая от станции Бастилия до станции Рейи и дальше в пригороды, была построена в 1859 г., прослужила сто лет, стала ненужной и в 1969 г. была закрыта [4, 5].

Променад начинается за оперным театром, в начале проспекта Домениль, с подъема на старый железнодорожный виадук [6]. Эта красивая ка-

менная аркада высотой около 10 м служит основанием променада на протяжении 1,5 км (рис. 1). Дорога по верху аркады истинно парковая, растительные группы справа и слева от нее зрительно сливаются с кронами высоких деревьев, растущих внизу, на проспекте Домениль. Поэтому довольно долго по ходу движения окружающая застройка не видна. Композиция изменяется: то большие, то меньшие пространства разделены и организованы не только растениями, но и ажурными металлическими трельяжами, короткими берсо (рис. 2). Панорамы окружающей застройки возникают в основном в местах пересечения с поперечными



Рис. 1. Каменная аркада виадука

Fig. 1. Viaduct stone arcade



Рис. 2. Трельяжи и берсо
Fig. 2. Trellises and berceaux

улицами, а их немало. Аркаду пересекают улица Моро, проспект Ледрю-Роллен, улицы Траверсьер, Абель, Жан-Бутон, бульвар Дидро. Старый виадук заканчивается у улицы Рамбуйе.

По мосту над улицей Рамбуйе сквозь узкую щель в жилом доме на уровне четвертого этажа маршрут продолжается уже по другим стенам. Поверхность променада сужается, потом расширяется, позволяя устроить здесь два продолговатых декоративных бассейна (рис. 3), а потом



Рис. 3. Декоративные бассейны
Fig. 3. Decorative pools

дорога снова протискивается в щель между домами. Из этой второй, неожиданной, щели (рис. 4) по мосту над перекрестком улиц Шарантон и Монгалле дорога приводит в парк Рейи. У моста, с тротуара перекрестка, в парк и на променад можно подняться по лестнице с красиво озелененной ступенчатой каменной стеной (рис. 5).

Променад предусматривает переход через территорию парка по элегантному мосту над большой круглой поляной (рис. 6), на которой обычно много отдыхающих. Ограниченность территории



Рис. 4. Дорога «сквозь дом»
Fig. 4. A way via the building



Рис. 5. Лестница на променад
Fig. 5. Stairs at the promenade



Рис. 6. Большая поляна парка Рейи
Fig. 6. Park Reuilly large lawn

виадука, узких проходов сквозь дома сменяется по контрасту огромным парковым пространством, в котором доминирует поверхность газона большой поляны. По выходе из парка Рейи маршрут продолжает идущая по земле аллея Вивальди, после которой не вполне ясно, куда идти.

А идти надо в тоннель под улицей Рейи, потом по обильно озелененному внутриквартальному пространству. Этот переход из света в тень повторяется еще дважды — при проходе по тоннелю под улицей Пикпюс и под одноименным бульваром. Как компенсация сумрака, в просветы тоннельных арок свисают вьющиеся растения, а внутри устроены пристенные фонтаны (рис. 7). Таким образом, парковая дорога «ныряет» в тоннели под улицами, а между ними пересекает незастроенные территории городских кварталов, свободно изгибаясь по поверхности земли. Далее



Рис. 7. Тоннель
Fig. 7. Tunnel

по пешеходным мостикам надо преодолеть еще проспект доктора Арнольда Нетте и улицы Мессидор и Ротанбур, чтобы вернуться на проспект Домениль к скверу с золотой скульптурой Афины на площади Эдуара Ренара. Здесь, перед зданием Музея искусств народов Африки и Океании, на краю Венсенского леса «Променад растений» заканчивается; или начинается, если угодно будет идти к центру города.

«Променад растений» — интересная и разнообразная архитектурно-ландшафтная композиция. Это разнообразие в первую очередь определяется тем, что части линейного парка находятся над землей, на земле и под землей. Данное обстоятельство обуславливает применение различных композиционных приемов и средств организации пространств, использование мощений, малых архитектурных форм, водных устройств, элементов искусственного освещения. Растительные композиции также разнообразны: здесь растут липы, клены, бамбук, вишни, катальпы, платаны, акант, форзиции, виноград, плющ, глицинии, пассифлора, ирисы, лаванда и многое другое. На виадуке много видов и сортов роз с разной окраской, что естественно для столицы страны, ставшей после крестовых походов центром развития и распространения культуры роз по всей Европе (рис. 8).



Рис. 8. Потомки прованских роз
Fig. 8. Descendants of the Provence roses

Несомненные достоинства «Променада растений» и отражают стремление к достижению цели более сложной, чем создание отдельного парка. Так упорно пробиваться сквозь городскую ткань стоило ради непрерывности системы открытых озелененных пространств города, в формировании которой озелененные связи играют важнейшую роль.

Непрерывность системы открытых озелененных пространств имеет два аспекта: урбоэкологический и функциональный. В функциональном аспекте необходимо, чтобы горожанин, выйдя из

дома, мог достичь пригородной зоны отдыха, не покидая озелененных пространств разного размера и характера: из двора попасть в сад микрорайона, далее — в районный и городской парки, затем — в пригородный лесопарк, связывающий город с неурбанизированными природными и сельскохозяйственными ландшафтами. В урбо-экологическом, природоохранном аспекте важно добиться экологической устойчивости открытых пространств и тем самым — оздоровления городской среды в целом [12].

Известно, что попытки сохранить «островки природы» в городе часто безуспешны. Растения гибнут, оказавшись в неблагоприятных условиях. А в восприятии горожанина «эти символы живой природы, замкнутые в противоречащем, чуждом окружении, могут, с известной точки зрения, восприниматься и драматически, как живые организмы в заточении» [13, с. 4] (рис. 9).



Рис. 9. Контейнеры с растениями на металлических мостах
Fig. 9. Containers with plants on the metal bridges

Внутри развитой, непосредственно связанной с природным окружением городской системы открытых озелененных пространств устойчивость ландшафтных компонентов значительно выше [14]. Да и восприятие растительных композиций ближе к естественно-природному. Следовательно, необходимы не окруженные застройкой, пусть и большие, парковые участки, а введенные непрерывными потоками в расчлененную застройку озелененные пространства (рис. 10).

Эта непрерывность, связность системы открытых пространств может быть обеспечена озелененными связями, подобными «Променаду растений». При проектировании нового или растущего малого города озелененные связи могут быть предусмотрены генеральным планом и относительно легко реализованы. В условиях реконструкции города, особенно исторического и очень крупного, эта актуальная задача, как видим,



Рис. 10. Между арками — «садовая комната»
Fig. 10. «A garden room» between arches

может быть решена, хотя и ценою значительно больших усилий.

В иерархии градостроительных задач экология занимает важнейшее место, потому что относится к биологическим потребностям человека. Столь же важным является раздел экологии при формировании градостроительной политики. Вот как говорит об этом А.В. Крашенинников:

«Основываясь на пирамиде градостроительных ценностей, систематизацию положений градостроительной политики целесообразно проводить по следующим пяти разделам:

- природная среда и экология;
- функциональная инфраструктура и коммуникации;
- социально-пространственная организация;
- историко-культурная содержательность;
- художественный потенциал и образная выразительность» [15, с. 12, 13].

Экологические принципы основаны на стремлении к достижению устойчивости городского ландшафта, иначе говоря, сбалансированности процессов управления человеком и процессов саморегуляции за счет входящих в ландшафт природных компонентов. Для решения этой задачи недостаточно озелененных участков, окруженных застройкой, — необходима непрерывность открытых пространств. Застроенные же территории превращаются при этом в отдельные массивы, окруженные природой. При этом нужна непрерывность не только внутригородских, но и внешних, пригородных и межселенных озелененных пространств. Существование природных элементов, введенных в урбанизированную среду, облегчается связями с биогенными комплексами пригородной зоны.

Для отечественного градостроительства последней четверти XX в. характерен весьма низкий уровень градостроительной культуры. К этому привели отсутствие государственной

градостроительной политики и постановки задачи пространственной организации территорий, приоритет задач земельно-имущественного характера, отсутствие органа управления территориальным планированием, наконец, отсутствие теоретико-методологической базы градостроительной деятельности, адекватной современным социально-экономическим условиям. В данных обстоятельствах экологические принципы формирования урбанизированного ландшафта могут стать методологической основой проектирования как нового города, так и развивающегося исторического города в процессе его реконструкции. Таким образом, взамен удобных, но отсутствующих сегодня плановых показателей развития экономики, которые прежде были основой разработки генеральных планов, могут быть предложены более сложные и непривычные экологические основы формообразования города. Урбозокологический подход осуществляется через формирование системы открытых озелененных пространств, являющейся экологическим каркасом города.

Список литературы

- [1] Deschamps L. Jardins autor de Paris. Paris: Quest-France, 2003. 143 p.
- [2] Променада растений. URL: [https://yandex.ru/images/search?text=променада%20растений%20в%20париже&img_url=https%3A%](https://yandex.ru/images/search?text=променада%20растений%20в%20париже&img_url=https%3A%20)
- [3] Jarrasse D. Grammaire des jardins parisiens. Paris: Parigramme, 2009. 271 p.
- [4] Дормидонтова В.В. Характеристика современного этапа развития садово-паркового искусства // *Architecture and Modern Information Technologies*, 2011. № 4 (17). URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2011/4kvart11/dormidontova.pdf>
- [5] Завирухина М. Парижская променада. URL: <http://www.vashsad.ua/landscape-design/styles/articles/show/8145>
- [6] Зеленая аллея в Париже. URL: <http://frenchparis.ru/promenade-plantee/>
- [7] Bennett P. Dance of Drumlins // *Landscape Architecture*, 1999, no. 8, pp. 60–67.
- [8] Bradley-Hole C. The Minimalist Garden. London: Mitchell Beazley, 1999. 208 p.
- [9] Helphand K. Landscape as Cinema // *Landscape Architecture*, 1988. v. 78, no. 5, p. 30.
- [10] Baumeister N. New Landscape architecture. Berlin: Braun, 2007, 352 p.
- [11] Clemens M. A New Europe. Gift from the Sea // *Landscape Architecture*, 1995, no. 10, p. 60.
- [12] Белкин А.Н. Городской ландшафт: учеб. пособие. М: Высшая школа, 1987. 111 с.
- [13] Бабуров В.В., Микулина Е.М. Природная среда в пространственной структуре города // *Природно-климатические условия и архитектурно-строительное проектирование: Сб. науч. тр. / науч. ред. В.Т. Шимко; Географическое общество СССР (Московский филиал) при Академии наук СССР, Главное управление гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР, Министерство здравоохранения СССР, Министерство высшего и среднего специального образования СССР и РСФСР. М.: Стройиздат, 1975. С. 4.*
- [14] Рысин Л.П., Рысин С.Л. Урболесоведение. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 240 с.
- [15] Крашенинников А.В. Градостроительное развитие и городская среда. North Carolina, USA, 2017. 170 с.

Сведения об авторах

Белкин Александр Николаевич — канд. архитектуры, профессор, член Союза архитекторов РФ, профессор кафедры архитектуры Московского государственного строительного университета, an.belkin@mail.ru

Дормидонтова Виктория Владиславовна — канд. архитектуры, профессор, член Союза архитекторов РФ, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), v.dormidontova@mail.ru

Статья поступила в редакцию 01.10.2017.

WHAT IES PROMENADE PLANTEE FOR PARIS

A.N. Belkin¹, V.V. Dormidontova²

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), 129337, 26, Yaroslavskoye shosse, Moscow, Russia

²BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

an.belkin@mail.ru

Linear park «Promenade plantée» in Paris is considered in the article as a positive and bright example of the new green link in the largest historic city. We are talking about the route 4.5 km long, linking Bastille Square with Vincent forest. Characteristics of the route are intended to show the complexity of creating such a park in the city with a dense network of streets and buildings. The compositional diversity and expressiveness of the structural spaces of the linear park is described. The main park route goes over the ground, on the ground, under the ground. Closed and open spaces alternate. Poorly lit tunnels give way to well-lit areas, passing through viaducts and bridges. The Park attracts many visitors due to the convenience and beauty of the small architectural forms, the richness of the range of blooming, fragrant and fruit trees, shrubs and lianas, the profusion of flowers and herbs. The difficulties of design and construction are explained by the desire to create a continuity of the system of open green spaces in the city, in the formation of which greened links play a crucial role. Ecological approach in the hierarchy of values of urban policy is the fundamental one. Implementation of the ecological approach is fulfilled through the formation of a system of open green spaces in the city. The continuity of green spaces determines the quality of the ecological framework of the city.

Keywords: city, ecology, open green spaces system, linear park, continuity

Suggested citation: Belkin A.N., Dormidontova V.V. *Zachem Parizhu Promenade plantée* [What is Promenade plantée for Paris]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 58–63.

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-58-63

References

- [1] Deschamps L. *Jardins autor de Paris*. Paris: Quest-France, 2003. 143 p.
- [2] *Promenad rasteniy*. URL: [https://yandex.ru/images/search?text=променад%20растений%20в%20париже&img_url=https%3A%](https://yandex.ru/images/search?text=променад%20растений%20в%20париже&img_url=https%3A%20)
- [3] Jarrasse D. *Grammaire des jardins parisiens*. Paris: Parigramme, 2009. 271 p.
- [4] Dormidontova V.V. *Kharakteristika sovremennogo etapa razvitiya sadovo-parkovogo iskusstva* [Characteristic of the present stage of development of landscape gardening art]. *Architecture and Modern Information Technologies: international online scientific and educational magazine*, 2011, no. 4 (17). Available at: <http://www.marhi.ru/AMIT/2011/4kvart11/dormidontova/dormidontova.pdf>
- [5] Zvirnyukhina M. *Parizhskaya promenada* [Promenade in Paris]. Available at: <http://www.vashsad.ua/landscape-design/styles/articles/show/8145>
- [6] *Zelyonaya alleya v Parizhe* [Green alley in Paris]. Available at: <http://frenchparis.ru/promenade-plantee/>
- [7] Bennett P. *Dance of Drumlins*. *Landscape Architecture*, 1999, no. 8, pp. 60–67.
- [8] Bradley-Hole C. *The Minimalist Garden*. London: Mitchell Beazley, 1999, 208 p.
- [9] Helphand K. *Landscape as Cinema*. *Landscape Architecture*, 1988, v. 78, no. 5, pp. 30.
- [10] Baumeister N. *New Landscape architecture*. Berlin: Braun, 2007, 352 p.
- [11] Clemens M. *A New Europe. Gift from the Sea*. *Landscape Architecture*, 1995, no. 10, pp. 60.
- [12] Belkin A.N. *Gorodskoi landshaft* [City landscape]. Moscow: Vysshaya shkola, 1987, 111 p.
- [13] Baburov V.V., Mikulina E.M. *Prirodnaya sreda v prostranstvennoy strukture goroda* [The environment in spatial structure of the city]. *Sb. nauch. tr. «Prirodno-klimaticheskie usloviya i arkhitekturno-stroitel'noe proektirovanie»* [Collected papers «Climatic conditions and architectural and construction design»]. Moscow: Stroyizdat, 1975, p. 4.
- [14] Rysin L.P., Rysin S.L. *Urbolesovedeniye* [Urban forestry]. Moscow: Tovarischestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2012, 240 p.
- [15] Krashennnikov A.V. *Gradostroitel'noe razvitie i gorodskaya sreda* [Town-planning development and urban environment]. North Carolina, USA, 2017, 170 p.

Authors' information

Belkin Aleksandr Nikolaevich — Cand. (Architecture), Professor, Member of the Union of Artists of the Russian Federation, Professor of the Architecture Department of the Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), an.belkin@mail.ru

Dormidontova Viktoriya Vladislavovna — Cand. (Architecture), Professor, Member of the Union of Artists of the Russian Federation, Professor of the Department of Landscape Architecture and Landscape Engineering of BMSTU (Mytishchi branch), v.dormidontova@mail.ru

Received 01.11.2017.

УДК 821.161.1.0

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-64-67

РАСТЕНИЯ В ХУДОЖЕСТВЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ ЛИРИКИ НИКОЛАЯ РУБЦОВА

С.А. Щербаков

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
sa_scherbakov@mgul.ac.ru

Рассмотрены образы деревьев, трав и цветов в лирике Николая Рубцова. Дендронимический ряд поэта состоит из привычных для средней и северной Руси пород. Особо им любима и часто сопровождает лирического героя ива, что, судя по стихотворению «В горнице моей светло...», связано какими-то тайными нитями с сиротством поэта. Сквозным мотивом в творчестве Рубцова стал шум, производимый деревьями при ветре, что зафиксировано и в названии одного из его немногочисленных прижизненных сборников — «Сосен шум». Другое «шумящее» дерево Рубцова — береза. В стихотворении «В минуты музыки», где строка «И шум порывистых берез» звучит рефреном в первом и последнем четверостишиях, в пяти строфах уместилось глубокое размышление о вере, любви и надежде — трех краеугольных камнях христианского бытия. Травянистая растительность у Рубцова фигурирует, как правило, в собирательных образах травы и цветов. Персонификации удостоились подорожник, анютины глазки, колокольчик, ромашка, фиалка. Из красиво цветущих садовых растений, традиционных в лирической поэзии, — роза, «наследник розы — георгин», знак весны — тюльпан. Особое место в художественном мире поэта занимают семантически близкие, навеянные памятью о матери образы красных цветов из стихотворения «В горнице моей светло...» и аленького цветка из одноименного стихотворения. Они ассоциируются у Рубцова с горем и страданием, но в них сосредоточены неизбывная любовь и высшая красота, очищающие душу. Недаром, говоря о его поэзии, часто употребляют термин «катарсис».

Ключевые слова: деревья, травы, цветы, лирический герой, мотив, художественный образ

Ссылка для цитирования: Щербаков С.А. Растения в художественном пространстве лирики Николая Рубцова // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 64–67. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-64-67

В целом дендрологический мир лирического пространства Рубцова не слишком разнообразен. В нем присутствуют привычные для средней и северной Руси древесные породы: береза, вишня, дуб, ель, ива, осина, сосна, тополь. Встречаются и экзотические: акация, кипарис, пальма (отдельное стихотворение — «Пальмы юга»).

Деревья как персонажи в его стихах (особенно ранних) часто фигурируют «посмертно», и только «древесная эпитафия» напоминает об их жизнеспособной поре: «Там, где тополь шумел тогда, / Пень стоит... / А тополя нету», «И вдруг я встретил рухнувшие липы...», «Ночью я видел: / Ломались березы!», «Где дуб шумел и красовался, / Там пень стоит... / А дуба нет...» [1]. Драматически сломленные, обреченные, они распространяют свою неблагоприятную судьбу на житейские перипетии лирического героя: «Листвой пропащей, знобящей мглой, / Заносит буря неясный путь. / А ивы гнутся над головою, / Скрипят и стонут — не отдохнуть» [1]. Сами стихии диктуют им свои условия, подчиняют своей музыке: «На громких скрипках дремучих сосен / Играет буря...» [1] и т. д.

Сквозным же мотивом в творчестве поэта стал шум, производимый деревьями при ветре, что зафиксировано и в названии одного из его немногочисленных прижизненных сборников — «Сосен шум», что, конечно же, сразу напоминает название книги стихов Н. Клюева «Сосен перезвон» и

строки есенинского стихотворения: «Поет зима — аукает, / Мохнатый лес баюкает / Стозвоном сосняка» [2]. Впрочем, образ «звонящих сосен» вообще интернационален: «В русской и китайской поэзии сосна предстает как загадочный образ. В раскрытии его обращает на себя внимание любопытная деталь — звуковая характеристика: раскачиваемые ветром, сосны звенят, как колокол, от них по всему лесу идет звон. Впервые в русской поэзии об этом пишет Бунин: “Тоскующая песнь под звон угрюмых сосен...”» [3]. Таким образом, Рубцов следует в русле мировой поэтической традиции. С тем, правда, уточнением, что он, обладая уникальным слухом, позволявшим слышать «звуки, / Которых не слышит никто...» [1], говорил именно о шумящих, а не о звонящих соснах.

Н.М. Коняев, повествуя об истории создания сборника «Сосен шум», указывал: «Здесь, в Липином Бору, днем он диктовал машинистке свои тексты, а по вечерам, затопив редакционную печку, слушал шум ветра в деревьях.

*В который раз меня приветил
Уютный древний Липин Бор,
Где только ветер, снежный ветер
Заводит с хвоей вечный спор...
Да как же спать, когда из мрака
Мне будто слышен глас веков,
И свет соседнего барака
Еще горит во мгле снегов...*

В этом стихотворении шумят сосны стихотворения «В сибирской деревне», написанного на Алтае, но переключка на этом не стихает, эхо ее разносится по всем стихам сборника...» [4]. Обратим внимание на то, что при цитировании Коняевым опущена, на мой взгляд, наиболее важная, опорная строфа стихотворения: «Пусть завтра будет путь морозен, / Пусть буду, может быть, угрюм, / Я не просплю сказанье сосен, / Старинных сосен долгий шум...» [1]. Позднее, уже в другом контексте, Коняев признавался, что стихи из этого сборника поразили его «не только своей пронзительной лиричностью, но и тем гулом судьбы, что отчетливо различался в шуме рубцовских сосен...» [4].

Другое «шумящее» дерево Рубцова — береза. В стихотворении «В минуты музыки» строка «И шум порывистых берез» звучит рефреном в первом и последнем четверостишиях, придавая ему идеально законченную форму. Стихотворение это, несомненно, является лирическим шедевром и в плане содержания: в его пяти четверостишиях уместилось повествование о вере, любви и надежде — трех краеугольных камнях человеческого бытия. При этом вера представлена мотивом печальной отстраненности от нее («И путь без солнца, путь без веры...»), любовь — троекратным прямым упоминанием, а надежда — провиденциальной картиной:

*И все равно под небом низким
Я вижу явственно, до слез,
И желтый плес, и голос близкий,
И шум порывистых берез. [1]*

В. Коротяев в предисловии к сборнику «Подорожники» писал: «И не однажды, наверно, и многих посещал вопрос: кто дал поэту такую пристальность взгляда, такую чистоту слога, такой уникальный слух, способный различать звуки, “которых не слышит никто”?» [5]. Но в данном случае речь идет даже о большем и, казалось бы, недостижимом: слух и зрение лирического героя сливаются воедино, «рождая орган для шестого чувства» [6].

В стихотворении «Березы» их шум, звуча рефреном, ассоциируется у лирического героя с памятью о родителях: «Я люблю, когда шумят березы... / <...> / Ведь шумит такая же береза / Над могилой матери моей. / <...> / На войне отца убила пуля, / А у нас в деревне у оград / С ветром и дождем шумел, как улей, / Вот такой же желтый листопад...» [1]. В цикле «Осенние этюды» «береза старая, как Русь» наделена человеческими качествами: «шумит над девочкой... / И так вздыхает горестно и страстно, / Как будто человеческою речью / Она желает что-то рассказать» [1].

Особенно любима поэтом и часто сопровождает лирического героя ива: «Россия! Как грустно! Как странно поникли и грустно / Во мгле под обрывом безвестные ивы мои!», «И опять под ивами багряными / Расходился праздник невзначай», «Я лучше помню ивы над рекою», «Вздогнувшие ивы брызгают росой...» [1] и т. д. Ночным покоем осеняет она жилище лирического героя в стихотворении «В горнице моей светло...»: «Дремлет на стене моей / Ивы кружевная тень» [1].

И именно с ивой ассоциируется русский человек — женщина, а может, и сам лирический герой в стихотворении, где дерево выступает в качестве адресата поэтического высказывания:

*Зачем ты, ива, вырастаешь,
Над судоходною рекой
И волны мутные ласкаешь,
Как будто нужен им покой?*

*Преград не зная и обходов,
Бездумно жизнь твою губя,
От проходящих пароходов
Несутся волны на тебя!*

*А есть укромный край природы,
Где под церковною горой
В тени мерцающие воды
С твоей ласкаются сестрой... [1]*

Стихотворение «Ива» не часто попадает в поле зрения исследователей творчества поэта, поскольку содержание его ускользает от лобового толкования и, на первый взгляд, оно не обладает той провидческой декларированностью, которая присуща наиболее известным его произведениям. Однако оно примечательно глубоким обобщением судьбы человека, который лишен церковной защиты, на него несутся волны гибели. И напротив, «укромный край природы», находящийся в стороне от стрежневого течения реки, несет благодатную гармонию, ласку.

Травянистая растительность в произведениях поэта фигурирует, как правило, в собирательном образе травы: «Взбегу на холм и упаду в траву...», «Траву жуют стреноженные кони...», «И трава молочная, и мед...», «Как трава, как вода, как березы...», «Где травы я косил... [1] и т. д. Персонафикации удостоился подорожник. «Подорожники» — так называются одно из самых известных стихотворений Рубцова и самая известная из его книг, составленная В. Коротяевым и вышедшая сотысячным тиражом в «Молодой гвардии» вскоре после смерти поэта. При этом образ подорожников раскрыт в четверостишии, не содержащем ни одного эпитета, «ибо поэт явно не ставил перед собой изобразительных задач» [7]:

*Приуныли нынче подорожники,
Потому что плача и смеясь,
Все прошли бродяги и острожники —
Грузовик разбрызгивает грязь. [1]*

Данное четверостишие абсолютно точно раскрывает биологические особенности подорожника: он комфортно чувствует себя именно на уплотненной пешим людом и гужевым транспортом почве, за что и получил свое название, а вот под колесами грузовика и подорожники «приунывают».

Из красиво цветущих садовых растений, традиционных в лирической поэзии, у Рубцова фигурируют роза, «наследник розы — георгин» [1], знак весны — тюльпан.

В большей мере его внимание привлекают луговые и лесные цветы: анютины глазки, колокольчик, ромашка, фиалка. Но поскольку «цвет не играет сколько-нибудь существенной роли в поэзии Николая Рубцова, и в этом, между прочим, состоит одно из коренных ее отличий от поэзии Есенина, переполненной цветом» [7], то хоть сколько-нибудь распространенные описания цветущих растений у него отсутствуют. В отдельную группу цветочных персонажей поэта можно выделить не имеющие ботанических названий «красные цветы» и фантастические «зеленые цветы», давшие название одной из его прижизненных книг.

Образ красных цветов из стихотворения «В горнице...» («В горнице моей светло. / Это от ночной звезды. / Матушка возьмет ведро, / Молча принесет воды. . . / Красные цветы мои / В садике завяли все...») [1]), по праву считающегося одним из шедевров лирики Рубцова, и образ аленького цветка из одноименного стихотворения занимают особое место в его художественном мире. Они имеют собственную творческую историю, тесно связанную с судьбой поэта. В прозаическом отрывке «Золотой ключик», обращаясь памятью к детству, Рубцов пишет: «Часто я уходил в безлюдную глубину сада возле нашего дома, где полюбился мне один удивительно красивый алый цветок. Я трогал его, поливал и ухаживал за ним всячески, как только умел. Об этом моем занятии знал только мой брат, который был на несколько лет старше меня. Однажды он пришел ко мне в сад и сказал: — Пойдем в кино. — Какое кино? — спросил я. — “Золотой ключик”, — ответил он. — Пойдем, сказал я. Мы посмотрели кино “Золотой ключик”, в котором было так много интересного, и, счастливые, возвращались домой. Возле калитки нашего дома нас остановила соседка и сказала: “А ваша мама умерла”. <...> Я ничего не понял тогда, что такое случилось, но сердце мое содрогнулось и теперь часто вспоминаю я то кино “Золотой ключик”, тот аленький цветок и соседку, которая сказала: *А ваша мама умерла...*». [1]

Сюжет стихотворения «Аленький цветок» в начале совпадает с вышеприведенными воспоминаниями — «В зарослях сада нашего / Прятался я как мог. / Там я тайком выращивал / Аленький свой цветок», а затем делает еще один поворот, наверное, тоже основанный на фактическом событии (даже если шестилетний ребенок и не знал о правиле приносить умершим цветы, старшие, скорее всего, подсказали ему): «Кстати его, нехстати ли, / Вырастить все же смог... / Нес я за гробом матери / Аленький свой цветок» [1]. «Аленький цветочек» из сказки Аксакова, аллюзивная связь с которым здесь очевидна, традиционно ассоциируется с, казалось бы, невозможным, но обретенным благодаря стечению обстоятельств и силе духа счастьем (как и фильм «Золотой ключик» — не случайно Рубцов акцентирует внимание на том, что из кино они возвращались «счастливые»). Образ красных цветов глубоко прочувствовал и прокомментировал биограф поэта Коняев, указав, что это «те красные цветы, которые в поэтическом мире Рубцова неразрывно связаны с матерью, с ее смертью... <...> Красный цветок нес шестилетний Рубцов за гробом матери... Чтобы полить этот увядший в памяти цветок, и приносит матушка воды» [5]. Образ «аленького цветка» ассоциируется у Рубцова с горем и страданием, но в нем сосредоточена высшая красота, очищающая душу, верная и пламенная, неизбывная любовь. Недаром, говоря о его поэзии, часто употребляют термин «катарсис».

Лирическое пространство Рубцова не отличается видовой многочисленностью флоры, но образы растений всегда сопрягаются у него с приметами Родины, ее неповторимой красоты, благословенной предрасположенности к доброму в своей божественной сущности человеку.

Список литературы

- [1] Рубцов Н.М. Звезда полей: собр. соч.: М.: Воскресенье, 1999. 672 с.
- [2] Есенин С.А. Полн. собр. соч. В 7 т. М.: Наука; Голос, 1995–2002. Т. 1. 665 с.
- [3] Пчелинцева К.Ф., Ся Хун Фан. Символика растений в русской и китайской поэзии // Природа и человек в художественной литературе: Матер. Всерос. науч. конф. Волгоград, 2–6 октября 2000 г., ВолГУ. Волгоград: ВолГУ, 2001. С. 241–248.
- [4] Коняев Н.М. Николай Рубцов. М.: Молодая гвардия, 2001. 364 с.
- [5] Коротав В. Горит его звезда. Предисловие к кн.: Рубцов Н.М. Подорожники: стихотворения. М.: Молодая гвардия, 1976. 304 с.
- [6] Гумилев Н.С. Стихотворения и поэмы. Л.: Советский писатель, 1988. 632 с.
- [7] Кожин В.В. Николай Рубцов. Заметки о жизни и творчестве поэта. М.: Советская Россия, 1976. 88 с.

Сведения об авторе

Щербakov Сергей Анатольевич — д-р филол. наук, профессор кафедры русского языка МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), sa_scherbakov@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 27.10.2017.

PLANTS IN THE ARTISTIC SPACE OF NIKOLAY RUBTSOV'S LYRIC POETRY

S.A. Shcherbakov

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

sa_scherbakov@mgul.ac.ru

The article considers tree, herb and flower images in Nikolay Rubtsov's lyric poetry. The poet's dendronymic variety consists of species typical of the Middle and North Russia. Willow is distinctively loved by the poet and often follows the narrator what, as reflected by the poetry «Glaze in my chamber», is attributed with some secret lines to the author's orphanage. The noise produced by trees under the breath of wind became a cross-cutting motive in Nikolay Rubtsov's creative works what reflects in the name of one of the few lifetime collections «Pines' noise». Another noise-making tree is a birch. In the verse «During the minutes of music» where the line «And puffy birches' noise» sounds as a refrain in the first and last quatrains, the five strophes contain deep considering of belief, love, and hope, which are the three keystones of the Christian genesis. Grassland vegetation in Rubtsov's poetry basically figures as a generalized character of herbs and flowers, specific attention given to ribwort, cupid's-delight, bell-flower, chamomile, violet. Among traditional of lyric poetry finely blooming flowers are roses, «their heritors — dahlias» and tulips as spring's symbol. A very special role in the poet's artistic world belongs to semantically relative, inspired by his mother memoriam, characters of red flowers in the poem «In the chamber...» and the Scarlet Flower from the cognominal piece of poetry. The poet associates them with grief and suffering but they are also a centralization of inescapable love and supreme beauty which purge one's soul. No wonder people saying about his poetry use such appellation as «catharsis».

Keywords: trees, herbs, flowers, lyric character, motive, artistic image

Suggested citation: Shcherbakov S.A. *Rasteniya v khudozhestvennom prostranstve liriki Nikolaya Rubtsova* [Plants in the artistic space of Nikolay Rubtsov's lyric poetry]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 64–67. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-64-67

References

- [1] Rubtsov N.M. *Zvezda poley* [The Star of Fields]. Complete set of works. Moscow: Voskresen'e Publ., 1999. 672 p.
- [2] Esenin S.A. *Polnoe sobranie sochineniy* [Complete set of works] In 7 vol. Moscow: Nauka Publ.; Golos Publ., 1995–2002ю V. 1, 665 p.
- [3] Pchelintseva K.F., Sya Khun Fan. *Simvolika rasteniy v russkoy i kitayskoy poezii* [Symbolism of plants in Russian and Chinese poetry]. *Priroda i chelovek v khudozhestvennoy literature: Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii* [Nature and man in fiction: Materials of the All-Russian Scientific Conference]. Volgograd, VolGU Publ., 2001, pp. 241–248.
- [4] Konyaev N.M. *Nikolay Rubtsov*. Moscow: Molodaya Gvardiya Publ., 2001, 364 p.
- [5] Korotaev V. *Gorit ego zvezda* [His star is burning]. In book: Rubtsov N.M. *Podorozhniki: stikhotvoreniya* [Plantains: Poems]. Moscow: Molodaya gvardiya Publ., 1976, 304 p.
- [6] Gumilev N.S. *Stikhotvoreniya i poemy* [Poems]. Leningrad: Sovetskiy pisatel' Publ., 1988, 632 p.
- [7] Kozhinov V.V. *Nikolay Rubtsov. Zametki o zhizni i tvorchestve poeta* [Notes on the life and work of the poet]. Moscow: Sovetskaya Rossiya Publ., 1976, 88 p.

Author's information

Shcherbakov Sergey Anatol'evich — Dr. Sci. (Philol.), Professor at the Department of Russian Language of BMSTU (Mytishchi branch), sa_scherbakov@mgul.ac.ru

Received 27.10.2017.

КВАЗИБЕССТУПЕНЧАТЫЕ ТРАНСМИССИИ ДЛЯ ЛЕСНЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

Р.Ю. Добрецов¹, И.В. Григорьев²

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет имени Петра Великого», 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29

²ФГБОУ ВО «Якутская государственная сельскохозяйственная академия», 677007, г. Якутск, Сергеляхское ш., 3-й км, д. 3

dr-idpo@yandex.ru

Рассмотрено семейство кинематических схем вальных коробок передач, позволяющих получить большое число режимов работы и реализовать принцип двухпоточной трансмиссии трактора. Отличительной особенностью схем является наличие параллельных грузовых (выходных) валов. Приведены две группы схем: с приводом грузовых валов непосредственно от ведущего вала коробки передач и от промежуточного вала, который, в свою очередь, связан с ведущим валом. Первая группа схем имеет три степени свободы, вторая — четыре. Возможен синтез других подобных групп схем, что является предметом дальнейших исследований. Представленные группы позволяют получить достаточное число режимов работы для применения на тягово-транспортных машинах. Используемые элементы управления — дисковые фрикционные муфты с гидравлическим или электромеханическим приводом. Коробка передач допускает разные уровни автоматизации вплоть до работы под контролем электронной системы управления с возможностью интеграции в бортовую сеть при помощи шины CAN. Рассмотрен пример замещения с помощью предлагаемого трансформирующего механизма коробки перемены передач и раздаточной коробки трелевочного гусеничного трактора 3-го тягового класса. В двухпоточном исполнении агрегат заменяет гидромеханическую трансмиссию с использованием гидрообъемной передачи в параллельном потоке мощности. Описанные схемные решения могут применяться и в других лесохозяйственных машинах, в сельскохозяйственных и промышленных тракторах, дорожно-строительной технике, а также в гусеничных и колесных машинах с разным числом ведущих мостов. Приводятся примеры кинематических схем АКПП для гусеничного трактора 3-го тягового класса и основные соотношения, определяющие особенности кинематики, силового и мощностного баланса трансформирующего механизма.

Ключевые слова: гусеничный трактор, двухпоточная трансмиссия, управление буксованием, дисковая фрикционная муфта

Ссылка для цитирования: Добрецов Р.Ю., Григорьев И.В. Квазибесступенчатые трансмиссии для лесных гусеничных машин // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 68–77.

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-68-77

В трансмиссиях современных и перспективных тракторов и других лесных гусеничных машин применяется гидрообъемная передача (ГОП), установленная либо параллельно механической ступенчатой коробке передач, либо в основном потоке мощности. Управление переключением передач при наличии механической ветви трансмиссии, как правило, автоматизировано.

Применение ГОП в основном потоке мощности сопровождается значительными потерями энергии, так как коэффициент полезного действия ГОП существенно зависит от режима работы передачи. Поэтому получают распространение схемы трансмиссий, в которых ГОП находится в параллельном потоке мощности, а в основном располагается механическая коробка передач.

При выборе параметров трансмиссии, кинематической схемы коробки передач и концепции системы управления исходят из необходимости обеспечить переключение передач без разрыва потока мощности и без ступенчатого изменения передаточного отношения. При этом коэффициент полезного действия трансмиссии должен быть по крайней мере выше, чем у ГОП, работающей в эквивалентной однопоточной трансмиссии

[1–3]. Шасси гусеничного трактора 3-го тягового класса используется при создании трелевочных тракторов, специальных пожарных и лесохозяйственных машин. Изложенные подходы применимы и к шасси сельскохозяйственных тракторов и дорожно-строительной техники на их основе.

Использование ГОП в составе двухпоточной трансмиссии позволяет реализовать основные достоинства ГОП при достижении удовлетворительной экономичности трансмиссии в целом [1–3]. В такой трансмиссии предусмотрено разветвление потока мощности. Основной поток идет через ветвь, содержащую автоматизированную или автоматическую ступенчатую коробку передач; в параллельной ветви находится ГОП. Алгоритм совместного использования ветвей строится исходя из условия получения КПД трансмиссии, превышающего по значению КПД собственно ГОП. В качестве примера реализации двухпоточной трансмиссии с ГОП можно привести трактор Favorit 926 Vario [1]. Тракторы с ГОП в составе двухпоточной трансмиссии занимают свой сегмент рынка сельскохозяйственной техники.

ГОП — механизм высокотехнологичный, стоимость его производства высока. Российским

производителям трудно конкурировать с зарубежными. Представляет интерес замена ГОП на другой бесступенчатый трансформатор крутящего момента (например, фрикционную дисковую муфту с управляемым буксованием) или переход к использованию электродвигателя и к концепции гибридной двухпоточной трансмиссии.

Путем анализа российского рынка тракторов, технологических и экономических аспектов их производства для конкретного индустриального партнера (ОАО «Петербургский тракторный завод») выявлена целесообразность использования ступенчатой вальной автоматизированной или автоматической коробки перемены передач (АКПП) с управлением переключением передач с помощью дисковых фрикционных элементов управления (ФЭУ). Переключение осуществляется либо по командам оператора, либо под контролем автоматической системы управления, с помощью гидравлического привода.

Такой подход позволит использовать имеющиеся производственные мощности изготовителя и при этом заложить в конструкцию возможность совершенствования системы управления (вплоть до работы в составе роботизированного комплекса точного земледелия).

Литературные источники по данной тематике можно подразделить на следующие группы.

1. Фундаментальные труды по вопросам теории, расчета и конструирования трактора, например источники [1, 4–7]. Отдельные положения работ [4–7] можно признать устаревшими, но базовые методы проектирования элементов трансмиссии изложены в них во всей полноте, их использование целесообразно и на современном этапе.

2. Фундаментальные труды в области основ земледелия и сельскохозяйственного производства, позволяющие оценить рациональность предлагаемых при проектировании трактора технических решений в контексте потребностей конечного владельца техники и в экологическом аспекте [8–10].

3. Фундаментальные работы в отрасли транспортного машиностроения, например [11–13], содержащие описание концепций и технологий, применимых при работе над двухпоточными трансмиссиями тяговых и транспортных машин, апробированные методы расчета и т. п.

Анализ указанных литературных источников позволил сформулировать основные положения данной работы:

– нет оснований отказываться от использования в составе трансмиссий трактора и дорожно-строительных машин, выпускаемых на основе шасси трактора, вальной ступенчатой АКПП;

– при разбивке передач надлежит максимально учитывать адаптивность современного теплого

двигателя и уделять внимание технологическим потребностям заказчика (агротехнического комплекса, дорожно-строительной или нефтегазовой отрасли), в связи с чем целесообразно разрабатывать семейство АКПП, технологически максимально родственных, но адаптируемых под конкретный двигатель и рассчитанных на определенные условия эксплуатации;

– трансмиссия (по крайней мере, трансформирующий механизм в ее составе) перспективного трактора должна выполняться по двухпоточной схеме, с возможностью обеспечить плавное изменение крутящего момента в пределах ступени;

– базовые методы расчета и конструирования тракторостроения целесообразно комбинировать с опытом и технологиями транспортного машиностроения.

Цель работы

С учетом потребностей индустриального партнера, цель данной работы — предложить схемное решение по трансформирующему механизму на базе вальной коробки передач, обеспечивающего плавное изменение крутящего момента в пределах ступени и переключение передач без разрыва потока мощности. Валы АКПП должны иметь минимальный осевой габарит; гамма передаточных отношений АКПП должна изменяться гибко (в частности, должна воспроизводиться гамма передаточных отношений АКПП предшествующей серийной модификации).

Методы и объекты исследования

Удовлетворяющее требованиям техническое решение при анализе литературы и патентных материалов найдено не было. Изучение фундаментальных работ [1, 4–7, 11–13] показало, что, используя методическую базу теории, расчета и конструирования транспортных машин, можно выделить подлежащие определению основные параметры и создать математические модели для описания новых, содержащих фрикционные муфты с управляемым буксованием, двухпоточных трансмиссий тракторов. Другая задача — формирование методики определения передаточных отношений АКПП с учетом ограничений, накладываемых особенностью конструкции.

Анализ литературных источников позволил прийти к выводу, что перечисленные задачи в теоретическом плане не решены. Без их решения конструирование новой АКПП представляется чрезмерно затратным, что определяет актуальность прикладных исследований.

В работе [14] предложены варианты кинематических схем двухпоточных трансмиссий, в которых АКПП, фрикционная муфта и суммирующий ряд выполняются как отдельные узлы

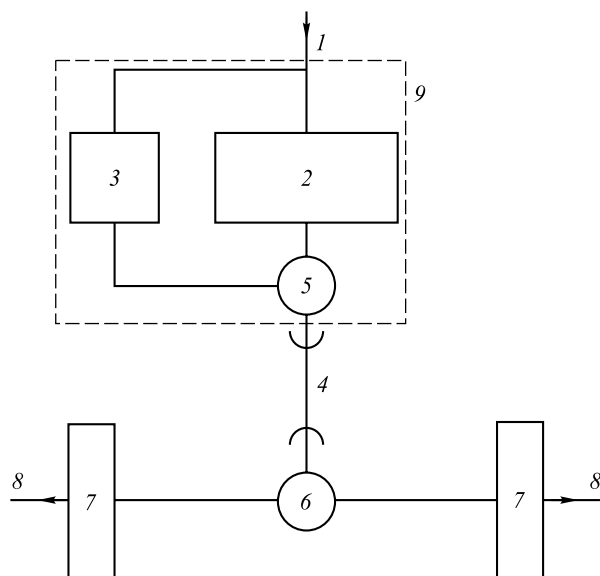


Рис. 1. Обобщенная схема двухпоточной трансмиссии колесного трактора (условно показан привод на один мост): 1 — подвод мощности от двигателя; 2 — АКПП; 3 — фрикционный механизм; 4 — карданная передача; 5 — суммирующий планетарный ряд; 6 — механизм распределения мощности; 7 — колесный редуктор; 8 — отвод мощности к ведущим колесам

Fig. 1. A general scheme of a double-flow transmission in a wheeled tractor (the drive is conventionally shown per one bridge): 1 — power supply from the engine; 2 — automatic transmission; 3 — friction mechanism; 4 — gimbal transmission; 5 — summing planetary series; 6 — power distribution mechanism; 7 — wheel reducer; 8 — power outlet to the driving wheels

(рис. 1). Преимуществом такого решения является возможность использования АКПП любой конструкции, главным недостатком — проблемы с компоновкой дополнительных узлов на шас-

си трактора. Предлагается объединить эти узлы (см. рис 1), интегрировав их в АКПП новой конструкции. Такая АКПП может быть выполнена с соблюдением габаритных и присоединительных размеров прототипа.

Результаты и обсуждение

В основе предлагаемой конструкции лежит концепция семейства АКПП с параллельными грузовыми валами. Пример такой схемы в упрощенном виде приведен на рис. 2. Данное решение относится к семейству кинематических схем (табл. 1). Особенности устройства и работы конструкции поясним на примере рис. 2.

АКПП содержит один ведущий и пять ведомых валов. Ведомые валы связаны между собой шестернями суммирующего редуктора. На ведущем валу расположены три ФЭУ, на каждом ведомом — по одному.

АКПП имеет три степени свободы. Для включения передачи одновременно должны быть задействованы два элемента управления (по одному на каждом используемом валу). Поэтому таблица включений ФЭУ для понимания принципа работы АКПП не требуется. Поток мощности идет через ведущий вал и один из ведомых валов, сумматор. При переключении передач допускается одновременная работа двух ведомых валов (имеющееся кинематическое рассогласование компенсируется буксованием ФЭУ).

Ожидаемые преимущества предлагаемых схем:

- короткие, жесткие валы с минимальным числом ФЭУ;
- простая, симметричная кинематическая схема;

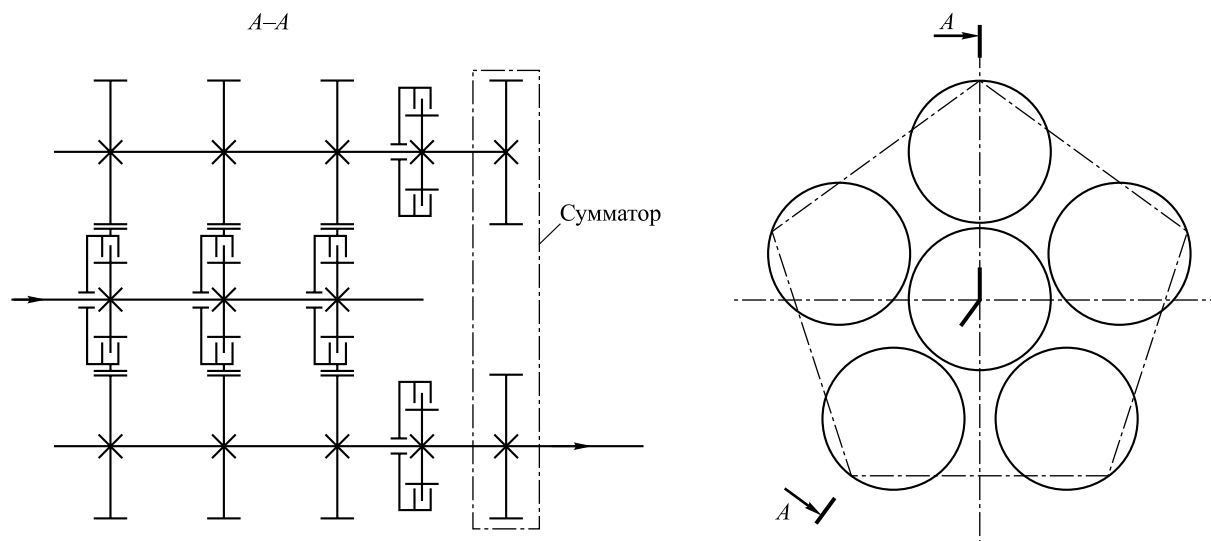


Рис. 2. Упрощенная кинематическая схема автоматизированной коробки передач (табл. 1, вариант 9)

Fig. 2. Simplified kinematic scheme of the automated gearbox (table 1, version 9)

Т а б л и ц а 1
Семейство кинематических схем АКПП с тремя степенями свободы
Family of kinematic schemes of automatic transmission with three degrees of freedom

| Вариант | Число ФЭУ на ведущем валу k | Число грузовых валов n | Число режимов работы Z | Общее число ФЭУ Y | Общее число валов N |
|---------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 2 | 4 | 4 | 3 |
| 2 | 2 | 3 | 6 | 5 | 4 |
| 3 | 2 | 4 | 8 | 6 | 5 |
| 4 | 2 | 5 | 10 | 7 | 6 |
| 5 | 2 | 6 | 12 | 8 | 7 |
| 6 | 3 | 2 | 6 | 5 | 3 |
| 7 | 3 | 3 | 9 | 6 | 4 |
| 8 | 3 | 4 | 12 | 7 | 5 |
| 9 | 3 | 5 | 15 | 8 | 6 |
| 10 | 3 | 6 | 18 | 9 | 7 |
| 11 | 4 | 2 | 8 | 6 | 3 |
| 12 | 4 | 3 | 12 | 7 | 4 |
| 13 | 4 | 4 | 16 | 8 | 5 |
| 14 | 4 | 5 | 20 | 9 | 6 |
| 15 | 4 | 6 | 24 | 10 | 7 |

- компактность;
- широкие возможности варьирования передаточных отношений режимов;
- передаточные отношения режимов не зависят друг от друга;
- возможность унифицировать ведомые валы, большинство деталей и узлов;
- возможность применять с гидродинамической передачей и любым двигателем, устанавливая согласующий редуктор на входе и корректируя передаточное отношение сумматора;
- любой ведомый вал можно использовать для получения группы передач заднего хода и (при установке дополнительного ФЭУ, связанного

с ведущим валом) для создания двухпоточной трансмиссии.

В последнем случае вместо ГОП предлагается применять более дешевый, но функционально конкурентоспособный фрикционный механизм [15–17].

Ожидаемые недостатки:

- на каждой передаче включен ФЭУ на ведомом валу (включение целесообразно осуществлять без нагрузки);
- валы закомпонованы в объеме картера, картер старой конструкции использовать нельзя;
- наличие сумматора;
- число передач заднего хода целесообразно делать равным числу передач, получаемом на одном валу;
- при работе АКПП (за исключением холостого хода) ведомые валы постоянно вращаются;
- затруднен доступ к ФЭУ ведущего вала при ремонте.

Передаточное отношение на выбранном режиме работы

$$u = \omega_0 / \omega_x = u_{\Sigma} \sum_{k=1}^p (u_{jxk} h_{jxk})$$

Здесь ω_0 , ω_x — угловая скорость соответственно ведущего и ведомого валов;

u_{Σ} — передаточное отношение сумматора, в

$$\text{общем случае } u_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (u_{\Sigma i} h_{\Sigma i});$$

u_{jxk} — передаточные отношения для зацепления грузовых валов с промежуточным ($k = 1, p$, в рассматриваемом примере $p = 5$);

h_{jxk} — коэффициент, принимающий значение 1, если на данном режиме используется пара шестерен с индексом jx , или 0, если пара не используется.

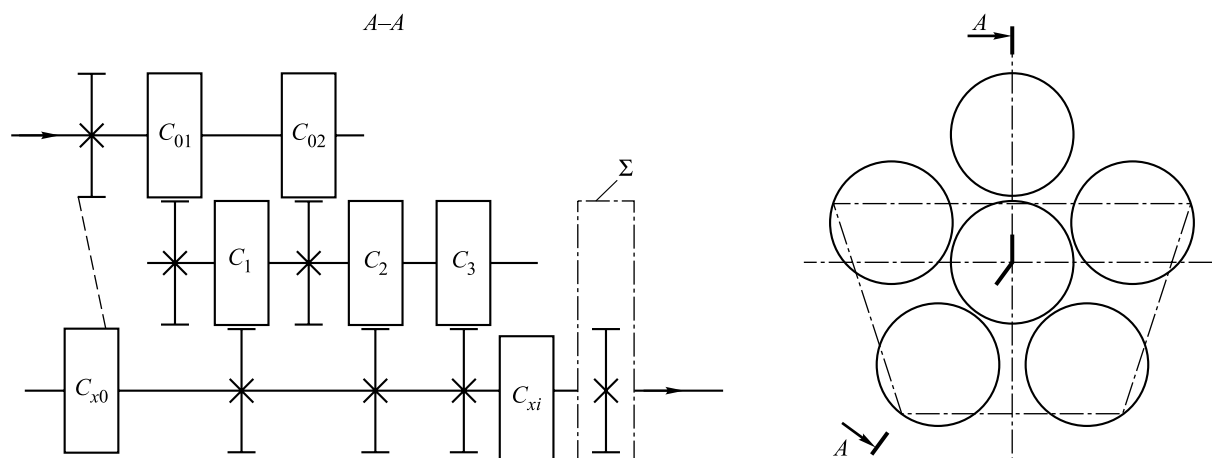


Рис. 3. Упрощенная кинематическая схема двухпоточной АКПП: C_{01} и C_{02} , $C_{1...3}$, C_{xi} и C_{x0} — дисковые муфты соответственно на входном, промежуточном, используемом грузовом валах; Σ — суммирующий редуктор

Fig. 3. Simplified kinematic scheme of a two-stream automatic transmission: C_{01} and C_{02} , $C_{1...3}$, C_{xi} and C_{x0} — disc clutches respectively on the input, intermediate, used cargo shafts; Σ — summing reducer

Обозначим через N_0 число ФЭУ на ведущем валу.

Для кинематических схем семейства выполняются следующие соотношения:

– число режимов работы: $Z = N_0 p$;

– число ФЭУ: $Y = N_0 + p$;

– число валов в АКПП при простейшей конструкции суммирующего редуктора: $N = p + 1$.

Применение АКПП, построенных на основе группы схем по табл. 1, может быть рациональным при относительно небольшом числе режимов работы. Сохраняя изложенные принципы построения схем, предлагаем ввести дополнительный промежуточный вал и увеличить число степеней свободы АКПП до четырех.

На рис. 3 приведена упрощенная кинематическая схема АКПП, реализующей 18 режимов работы. Используется восемь дисковых ФЭУ. При работе АКПП мощность передается с входного вала через муфту C_{01} или C_{02} и связанную с муфтой пару шестерен на промежуточный вал. Коробка имеет четыре параллельных грузовых вала. Используемый на данном режиме работы грузовой вал соединяется с суммирующим редуктором Σ через включенную муфту C_{xi} ($i = 1, n$ — номер грузового вала; в приведенном на рис. 3 примере $n = 4$). Мощность передается на используемый грузовой вал через муфту C_1, C_2 или C_3 и соответствующую пару шестерен. Далее мощность передается на выходной вал через суммирующий редуктор. В простейшем случае выходным валом является один из грузовых валов, а суммирующий редуктор представляет собой блок шестерен с осями, неподвижными в пространстве. Таким образом, АКПП при использовании в таком режиме имеет четыре степени свободы. Параллельных потоков мощности в АКПП нет.

В табл. 2 приведены параметры семейства схем, для которого имеют место следующие зависимости.

Передаточное отношение на выбранном режиме работы

$$\begin{aligned} u &= \omega_0 / \omega_x = \\ &= [u_{01} h_{01} (u_{1x1} h_{1x1} + u_{1x2} h_{1x2} + \dots) + \\ &+ u_{02} h_{02} (u_{2x1} h_{2x1} + u_{2x2} h_{2x2} + \dots)] u_{\Sigma} \cdot \\ &= u_{\Sigma} \sum_{j=1}^m u_{0j} h_{0j} \left(\sum_{k=1}^p (u_{jxk} h_{jxk}) \right). \end{aligned}$$

Здесь u_{0j} — передаточное отношение для одной из $j = 1, m$ пар шестерен, связывающих ведущий вал с промежуточным (в рассматриваемом примере $m = 2$);

h_{0j} — коэффициент, принимающий значение 1, если на данном режиме используется пара шестерен с индексом $0j$, или 0, если пара не используется.

Таблица 2

Семейство АКПП с четырьмя степенями свободы при числе режимов работы $Z \leq 36$
The family of automatic transmission with four degrees of freedom with the number of operating modes $Z \leq 36$

| Вариант | m | p | n | Z | Y | N |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 2 | 2 | 2 | 8 | 6 | 4 |
| 2 | 2 | 2 | 3 | 12 | 7 | 5 |
| 3 | 2 | 2 | 4 | 16 | 8 | 6 |
| 4 | 2 | 2 | 5 | 20 | 9 | 7 |
| 5 | 2 | 3 | 2 | 12 | 7 | 4 |
| 6 | 2 | 3 | 3 | 18 | 8 | 5 |
| 7 | 2 | 3 | 4 | 24 | 9 | 6 |
| 8 | 2 | 3 | 5 | 30 | 10 | 7 |
| 9 | 2 | 4 | 2 | 16 | 8 | 4 |
| 10 | 2 | 4 | 3 | 24 | 9 | 5 |
| 11 | 2 | 4 | 4 | 32 | 10 | 6 |
| 12 | 2 | 4 | 5 | 40 | 11 | 7 |
| 13 | 3 | 3 | 2 | 18 | 8 | 4 |
| 14 | 3 | 3 | 3 | 27 | 9 | 5 |
| 15 | 3 | 3 | 4 | 36 | 10 | 6 |
| 16 | 3 | 3 | 5 | 45 | 11 | 7 |
| 17 | 3 | 4 | 2 | 24 | 9 | 4 |
| 18 | 3 | 4 | 3 | 36 | 10 | 5 |

Число режимов работы: $Z = mpn$.

Число ФЭУ: $Y = m + p + n$.

Число валов в АКПП при простейшей конструкции суммирующего редуктора: $N = n + 2$.

Если семейство схем представить как планарный граф, можно заметить, что наибольшее число режимов работы при минимальном числе ФЭУ и валов даст решение, при котором реализуется «троичное ветвление» в вершинах графа: на ведущем и промежуточном валу располагается по три ФЭУ, число грузовых валов (и, соответственно, число муфт C_{xi}) также равно трем.

В данной работе при выборе схем использованы дополнительные ограничения: достаточное число режимов работы должно быть получено при минимальной длине валов и наименьшем возможном числе ФЭУ. Дополнительное ограничение накладывается также особенностью схемы: передачи заднего хода целесообразно размещать на одном грузовом валу.

Кинематическая схема выбранного варианта показана на рис. 4. Данная схема позволяет реализовать 18 режимов работы. Для рассматриваемого примера шасси трелевочного трактора 3-го тягового класса характерно наличие десяти режимов работы на передачах прямого хода и пяти — на заднем ходу. Для реализации пяти передач заднего хода требуется выделить по крайней мере один грузовой вал. Поэтому выбрана схема с тремя грузовыми валами. Три режима работы АКПП не будут задействованы.

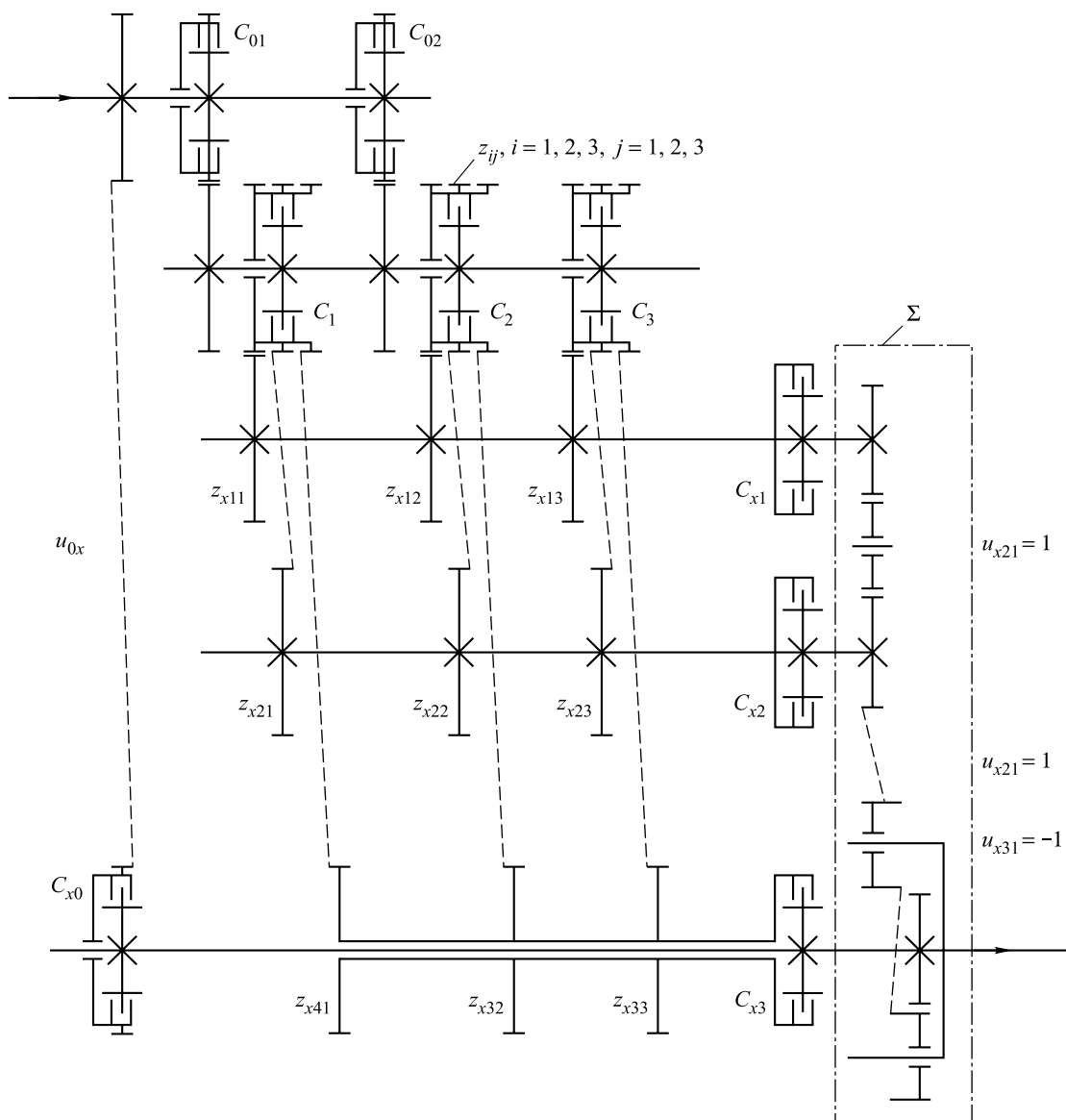


Рис. 4. Кинематическая схема двухпоточной АКПП, развернутая на плоскости: C — фрикционная муфта; z — число зубьев; u — передаточное отношение

Fig. 4. Kinematic scheme of a dual-flow automatic transmission deployed on the plane: C — friction clutch; z — the number of teeth; u — the gear ratio

Поскольку переключение передач в АКПП предполагается автоматизировать, нет смысла сохранять исходную разбивку передач и жертвовать отдельными режимами. Из предложенного набора схем целесообразнее реализовать варианты с 24 режимами работы, используя при разбивке передач шаг геометрической прогрессии, близкий к 1,10–1,12. Такое решение позволит улучшить условия работы двигателя, при этом габариты и масса АКПП изменятся незначительно.

Следует отметить, что современные двигатели с электронным управлением впрыском топлива имеют существенно большую приспособляемость по величине крутящего момента, чем двигатели старых моделей. Методически целесообразно уже рассматривать методы разбивки

передач, учитывающие работу двигателя и многоступенчатой АКПП в комплексе.

При выборе числа зубьев можно ориентироваться или на получение заданной гаммы передаточных отношений (при этом число зубчатых венцов, связанных с ФЭУ промежуточного вала, возрастает), или на минимизацию числа таких шестерен (что упростит конструкцию и даст снижение массы АКПП). Обязательным условием является соблюдение постоянства межосевого расстояния для каждой пары шестерен на промежуточном и соответствующем грузовом валах.

При ориентации на воспроизведение исходной гаммы передаточных отношений удалось получить погрешность не более 5% (корректирование зубчатых колес не предусмотрено) (табл. 3).

Т а б л и ц а 3
Режимы работы АКПП и использование
ФЭУ C_{x2}

Modes of automatic transmission and use of photomultiplier C_{x2}

| Режим | Исходное передаточное отношение | Передаточное отношение в новой АКПП | Погрешность, % | Включаемые ФЭУ | | |
|-------|---------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|-------|----------|
| | | | | C_{01} | C_1 | C_{x1} |
| 1 | 2,95 | 2,90 | 1,75 | C_{01} | C_1 | C_{x1} |
| 2 | 1,87 | 1,92 | -2,40 | C_{01} | C_1 | C_{x1} |
| 3 | 1,19 | 1,21 | -2,23 | C_{01} | C_1 | C_{x1} |
| 4 | 0,74 | 0,75 | -0,80 | C_{01} | C_2 | C_{x2} |
| 5 | 0,47 | 0,49 | -4,73 | C_{01} | C_2 | C_{x2} |
| 6 | 3,44 | 3,56 | -3,25 | C_{01} | C_2 | C_{x1} |
| 7 | 2,18 | 2,21 | -1,01 | C_{01} | C_2 | C_{x1} |
| 8 | 1,39 | 1,43 | -2,80 | C_{01} | C_2 | C_{x1} |
| 9 | 0,87 | 0,91 | -4,52 | C_{02} | C_3 | C_{x2} |
| 10 | 0,55 | 0,57 | -4,34 | C_{02} | C_3 | C_{x2} |
| 11 | 3,08 | 3,06 | 0,53 | C_{02} | C_1 | C_{x3} |
| 12 | 1,95 | 1,91 | 2,10 | C_{02} | C_1 | C_{x3} |
| 13 | 1,24 | 1,25 | -0,59 | C_{02} | C_3 | C_{x3} |
| 14 | 0,78 | 0,77 | 0,10 | C_{02} | C_3 | C_{x3} |
| 15 | 0,49 | 0,49 | -0,97 | C_{02} | C_3 | C_{x3} |

При альтернативном подходе возможно использование всего трех венцов на промежуточном валу, что упрощает конструкцию, снижает массу и габариты АКПП.

Степень автоматизации АКПП может быть различной, однако для обеспечения корректной работы предпочтительнее использовать электронную систему управления. Это обеспечит, в частности, возможность интеграции АКПП в бортовую сеть трактора с помощью технологии CAN, т. е. в перспективе — возможность применения на шасси беспилотного трактора, интегрированного в систему точного земледелия. Допускается и автоматизированное управление переключением передач, когда моменты переключения выбирает водитель.

На базе описываемой схемы можно реализовать двухпоточный трансформирующий механизм. Для этого на грузовом валу, используемом для получения передач заднего хода, устанавливается муфта C_{x0} , связанная с ведущим валом через зубчатую передачу с передаточным отношением u_{0x} . В данной точке происходит разветвление потока мощности.

Муфта C_{x0} работает в режиме управляемого буксования под контролем замкнутой (следящей) системы управления [15–17]. Прототипом предлагается выбрать систему управления механизма поворота гусеничной машины [16] и механизма распределения мощности [18], разработанного для автомобиля.

Суммирование потоков мощности осуществляется в суммирующем редукторе, дополненном планетарным рядом (см. рис. 4).

Для обеспечения управляемого буксования дисков в составе муфты C_{x0} может использоваться широтно-импульсная модуляция управляющего давления в гидравлическом приводе. Такой подход к управлению гидравлическим приводом дискового ФЭУ изучен применительно к гусеничным и колесным машинам [19, 20].

При определении передаточного отношения межколесного механизма распределения мощности автомобиля рассматривается согласование радиусов кинематического и силового поворота [18]. В нашем случае через параллельную ветвь трансмиссии должен передаваться дополнительный момент, равный разности моментов на смежных передачах. Для схемы, представленной на рис. 1, имеем

$$M^* = M_l - M_{l+1} = M_0 (u_l - u_{l+1}) = \\ = M_0 u_{l+1} (u_l / u_{l+1} - 1).$$

Здесь M_l , M_{l+1} , M_0 — моменты на смежных передачах и на входе в АКПП ($M_l > M_{l+1}$);

u_l , u_{l+1} — передаточные отношения на смежных передачах в коробке передач;

$l = \overline{1, L}$ — номер передачи, где L — число передач. При разбивке передач по геометрической прогрессии знаменатель прогрессии может быть принят равным $q = u_l / u_{l+1}$.

Поскольку нецелесообразно иметь L ступеней в редукторной части параллельной ветви, момент выбирается из условия $\max \{M_l^*\}$, $l = \overline{1, L}$. Формально этому соответствует $l = 1$. Тогда передаточное отношение механизмов распределения мощности (МРМ) определяется по зависимости

$$u_{0x} = u_2 (u_1 / u_2 - 1) \geq 1.$$

Для рассматриваемого случая получаем значение, близкое к единице.

При относительной простоте кинематических схем рассмотренное семейство АКПП обладает хорошими перспективами для практического применения, так как позволяет получить достаточное число режимов работы для трактора или дорожно-строительной машины, погрузчика и вписывается в концепцию модульного построения трансмиссии; технологической базой служит серийный прототип.

Использование параллельного потока дает дополнительные преимущества:

– уменьшение числа переключений на поверхности с непостоянным коэффициентом сопротивления движению (например, типичное движение по полю поперек прошлогодних борозд);

– квазибесступенчатое переключение передач без ГОП.

При кинематическом и силовом анализе двухпоточной АКПП целесообразно применять методику, апробированную на механизмах поворота и распределения мощности [21, 22]. Такая методика нехарактерна для тракторостроения. Для изготовления деталей и узлов параллельной ветви желательнее использовать материалы и технологии, разработанные для военных гусеничных машин [11], что позволит повысить надежность и долговечность работы механизма.

Проектировочные и поверочные расчеты других деталей и узлов АКПП (зубчатые колеса, валы, подшипники и т. д.) целесообразно проводить, используя традиционные методики [1, 4, 11].

Выводы

1. Предложена схема трансформирующего механизма, способного заменить серийную коробку передач и при сохранении исходной гаммы передаточных отношений и принципа переключения без разрыва потока мощности обеспечить практически бесступенчатое изменение крутящего момента на выходном валу.

2. Передаточное отношение и нагрузки на детали предлагаемого механизма можно определить из условия необходимости перекрытия разрыва по значению момента между второй и третьей передачами в АКПП. Выявлены ограничения, сужающие возможности по варьированию значений передаточных отношений ступеней.

3. Достаточно широкие возможности по варьированию значений передаточных отношений для предлагаемой схемы коробки передач позволяют обеспечить создание модельного ряда конструктивно сходных изделий с большим процентом унификации деталей или перейти к концепции модельного построения трансформирующего механизма, при которой его адаптация к конкретному шасси осуществляется за счет изменения передаточного числа входного редуктора.

4. При серийном изготовлении узлов трансмиссии возможно использование материалов и технологий, разработанных на 2017 г., для нужд военно-промышленного комплекса России.

Список литературы

[1] Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов: учебник. М.: Машиностроение, 2009. 752 с.
 [2] Самородов В.Б., Бондаренко А.И. Результаты математического моделирования трансмиссии Fendt Varjo колесных тракторов 900 серии // Вестник НТУ «ХПИ». Сер. Автомобиле- и тракторостроение, 2011. № 56. С. 58–95.
 [3] Самородов В.Б., Рогов А.В., Бурлыга М.Б., Самородов Б.В. Критический обзор работ в области тракторных гидрообъемно-механических трансмиссий // Вестник

НТУ «ХПИ». Сер. Автомобиле- и тракторостроение, 2003. № 4. С. 3–19.
 [4] Ксенович И.П., Гуськов В.В., Бочаров Н.Ф., Атаманов Ю.Е., Тарасик В.П., Разумовский М.А. Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет: учебник / под общ. ред. И.П. Ксеновича. М.: Машиностроение, 1991. 544 с.
 [5] Скотников В.А., Машенский А.А., Солонский А.С. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. М.: Агропромиздат, 1986. 383 с.
 [6] Шувалов Е.А., Бойков А.В., Добряков Б.А., Пантюхин М.Г. Теория и расчет трактора «Кировец». Л.: Машиностроение, 1980. 208 с.
 [7] Шувалов Е.А. Повышение работоспособности трансмиссий тракторов. Л.: Машиностроение, 1986. 126 с.
 [8] Основы технологии сельскохозяйственного производства. Земледелие и растениеводство / под ред. В.С. Никляева. М.: Былина, 2000. 555 с.
 [9] Щепашенко Г.Л., Хазова Е.Г., Баркова Л.И. Почвоведение с основами земледелия. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1993. 258 с.
 [10] Куляшов А.П., Колотилин В.Е. Экологичность движителей транспортно-технологических машин. М.: Машиностроение, 1993. 288 с.
 [11] Расчет и конструирование гусеничных машин: учебник / под ред. Н.А. Носова. Л.: Машиностроение, 1972. 559 с.
 [12] Забавников Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. М.: Машиностроение, 1975. 448 с.
 [13] Шеломов В.Б. Теория движения многоцелевых гусеничных и колесных машин. Тяговый расчет криволинейного движения. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 90 с.
 [14] Дидиков Р.А., Добрецов Р.Ю., Гальшев Ю.В. Варианты кинематической схемы двухпоточной трансмиссии перспективного трактора с автоматизированной коробкой передач // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Матер. VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной 70-летию Рубцовского индустриального ин-та, Рубцовск, 24–25 ноября 2016 г. / под ред. О.А. Михайленко, Г.А. Обуховой. Рубцовск: Рубцовский индустриальный ин-т, 2016. С. 113–120.
 [15] Гальшев Ю.В., Добрецов Р.Ю., Поршнев Г.П., Художков С.И. Исследования и разработки ученых СПбГПУ в области оборонной техники (по материалам IX Междунар. выставки вооружения, военной техники и боеприпасов) // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Сер. Наука и образование, 2014. № 1. С. 26–32.
 [16] Гальшев Ю.В., Григорьев А.П., Добрецов Р.Ю., Лозин А.В. Замкнутые системы управления поворотом гусеничных машин (= Closed-loop control system for tracked vehicle steering) // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Сер. Наука и образование, 2014. № 3 (202). С. 201–208.
 [17] Добрецов Р.Ю. Фрикционный механизм поворота двухпоточных трансмиссий гусеничных машин // Изобретатели в инновационном процессе России: Матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 20–21 декабря 2013 г. / под ред. Ю.Г. Попова, А.Г. Семенова. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2014. С. 121–124.
 [18] Дидиков Р.А., Добрецов Р.Ю. К вопросу о выборе кинематических схем шестеренчатых МРМ // Автомобильная промышленность, 2014. № 9. С. 12–14.
 [19] Бойков А.В., Григорьев А.П., Русинов Р.В. К методу оценки частоты импульсного управления поворотом гусеничной машины // Рабочие процессы компрессоров и установок с ДВС: Межвузовский сб. / под ред. Ю.С. Васильева. Л.: ЛПИ, 1987. С. 73–78.
 [20] Дидиков Р.А., Добрецов Р.Ю., Русинов Р.В. О возможности применения гидравлического привода в механизме

- распределения мощности // Вестник ААИ, 2016. № 5 (100). С. 30–32.
- [21] Шеломов В.Б., Добрецов Р.Ю. Мощности двигателя и буксования фрикционного элемента механизма управления поворотом гусеничной машины // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Сер. Наука и образование, 2010. Т. 2. № 2. С. 87–91.
- [22] Дидиков Р.А. Метод определения составляющих баланса мощности механизма распределения мощности в трансмиссии автомобиля // Вестник СибАДИ, 2016. № 4 (50). С. 61–63.

Сведения об авторах

Добрецов Роман Юрьевич — канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры «Инжиниринг силовых установок и транспортных средств» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет имени Петра Великого», dr-idpo@yandex.ru

Григорьев Игорь Владиславович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Природобустройство» ФГБОУ ВО «Якутская государственная сельскохозяйственная академия», silver73@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 17.10.2017.

PSEUDO VARIABLE POWERTRAIN FOR TRACKED FOREST VEHICLES

R. Yu. Dobretsov¹, I. V. Grigor'ev²

¹Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, 29, Politekhnikeskaya, St. Petersburg, 195251, Russia

²Yakutsk State Agricultural Academy, 2, 3rd km, Sergelyakhskoe road, Yakutsk, 677077, Russia

dr-idpo@yandex.ru

A lineup of the kinematic schemes of gearboxes, allowing to obtain a large number of operating modes and to implement the principle of dual stream transmission of the tractor has been studied. A distinctive feature of the schemes is the existence of parallel output shafts. We proposed two groups of schemes, they are with the drive shafts from the truck directly from the drive shaft, and an intermediate shaft which, in turn, is connected to the drive shaft. The first group of schemes has three degrees of freedom, and second group has four degrees of freedom. The synthesis of other such groups of schemes is possible, which is the subject of a further research. The groups allow to obtain a sufficient number of modes to use for traction and transport machines. Such controls as disc friction clutch with hydraulic or electromechanical actuator are used. Powertrain allow for different levels of automation up to operation under the control of an electronic control system that can be integrated in the on-Board network with CAN bus. The article describes the case of substitution with the proposed transformation mechanism, the gearbox and transfer case skid plate tracked tractor 3 traction class. In two-threaded execution unit replaces the hydromechanical transmission using a hydrostatic transmission in parallel to the power flow. The described circuit solutions can be applied to other forestry machines, agricultural and industrial tractors, road-building machinery. The use of tracked and wheeled vehicles with different number of axles is also possible. The article provides examples of kinematic schemes of automatic transmissions for tracked tractors drawbar 3 class and the basic ratios that define the features of the kinematics, power and power balance of the automatic powertrain.

Keywords: tracked vehicles, split powertrain, slipping control, disk clutch

Suggested citation: Dobretsov R. Yu., Grigor'ev I. V. *Kvazibesstuppenchatye transmisiyi dlya lesnykh gusenichnykh mashin* [Pseudo variable powertrain for tracked forest vehicles] *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 68–77. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-68-77

References

- [1] Sharipov V.M. *Konstruirovaniye i raschet traktorov* [Design and calculation of tractors]. Moscow: Mashinostroenie [Mechanical Engineering] Publ., 2009, 752 p.
- [2] Samorodov V.B., Bondarenko A.I. *Rezultaty matematicheskogo modelirovaniya transmisiyi Fendt Vario kolesnykh traktorov 900 serii* [Results of mathematical modeling of the Fendt Vario transmission of wheeled tractors of the 900 series]. Bulletin of the National Technical University Kharkov Polytechnic Institute. Iss. Automobile and tractor construction, 2011, no. 56, pp. 58–95.
- [3] Samorodov V.B., Rogov A.V., Burlyga M.B., Samorodov B.V. *Kriticheskiy obzor rabot v oblasti traktornykh gidroob'emno-mekhanicheskikh transmisiy* [A critical review of works in the field of tractor hydrovolume-mechanical transmissions]. Bulletin of the National Technical University Kharkov Polytechnic Institute. Iss. Automobile and tractor construction, 2003, no. 4, pp. 3–19.
- [4] Ksenevich I.P., Gus'kov V.V., Bocharov N.F., Atamanov Yu.E., Tarasik V.P., Razumovskiy M.A. *Traktory. Proektirovaniye, konstruirovaniye i raschet* [Tractors. Design, construction and calculation]. Moscow: Mashinostroenie [Mechanical Engineering] Publ., 1991, 544 p.
- [5] Skotnikov V.A., Mashchenskiy A.A., Solonskiy A.S. *Osnovy teorii i rascheta traktora i avtomobilya* [The fundamentals of the theory and calculation of the tractor and car]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1986, 383 p.
- [6] Shuvalov E.A., Boykov A.V., Dobryakov B.A., Pantyukhin M.G. *Teoriya i raschet traktora «Kirovets»* [Theory and calculation of the tractor «Kirovets»]. Leningrad: Mashinostroenie [Mechanical Engineering] Publ., 1980, 208 p.
- [7] Shuvalov E.A. *Povysheniye rabotosposobnosti transmisiy traktorov* [Increase of working capacity of transmissions of tractors]. Leningrad: Mashinostroenie [Mechanical Engineering] Publ., 1986, 126 pp.

- [8] *Osnovy tekhnologii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva. Zemledelie i rastenievodstvo* [Bases of technology of agricultural production. Agriculture and plant growing]. Moscow: Bylina Publ., 2000, 555 p.
- [9] Shchepashchenko G.L., Khazova E.G., Barkova L.I. *Pochvovedenie s osnovami zemledeliya* [Soil science with the basics of farming]. Moscow: Soil Institute V.V. Dokuchaeva Publ., 1993, 258 p.
- [10] Kulyashov A.P., Kolotilin V.E. *Ekologichnost' dvizhiteley transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Ecological propulsion of transport-technological machines]. Moscow: Mashinostroenie [Mechanical Engineering] Publ., 1993, 288 p.
- [11] *Raschet i konstruirovaniye gusenichnykh mashin* [Calculation and design of caterpillar machines]. Leningrad: Mashinostroenie [Mechanical Engineering] Publ., 1972, 559 p.
- [12] Zabavnikov N.A. *Osnovy teorii transportnykh gusenichnykh mashin* [Fundamentals of the theory of transport caterpillar vehicles]. Moscow: Mashinostroenie [Mechanical Engineering] Publ., 1975, 448 p.
- [13] Shelomov V.B. *Teoriya dvizheniya mnogotselevykh gusenichnykh i kolesnykh mashin. Tyagovyy raschet krivolinyeynogo dvizheniya* [The theory of motion of multi-purpose caterpillar and wheeled vehicles. Traction calculation of curvilinear motion]. SPb.: Publishing house of Polytechnic University Publ., 2013, 90 p.
- [14] Didikov R.A., Dobretsov R.Yu., Galyshev Yu.V. *Varianty kinematoicheskoy skhemy dvukhpotochnoy transmissii perspektivnogo traktora s avtomatizirovannoy korobkoy peredach* [Variants of the kinematic scheme of a double-stream transmission of a prospective tractor with an automated gearbox]. Modern techniques and technologies: problems, condition and prospects: Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation November 24–25, 2016, dedicated to the 70th anniversary of the Rubtsovsk Industrial Institute: Ed. OA Mikhaylenko, G.A. Obukhovoy. Rubtsovsk: Rubtsovsk Industrial Institute Publ., 2016, pp. 113–120.
- [15] Galyshev Yu.V., Dobretsov R.Yu., Porshnev G.P., Khudorozhkov S.I. *Issledovaniya i razrabotki uchenykh SPbGPU v oblasti oboronnoy tekhniki (po materialam IX-y mezhdunarodnoy vystavki vooruzheniya, voennoy tekhniki i boepripasov)* [Research and development of scientists of SPbSPU in the field of defense technology (based on the materials of the 9th international exhibition of weapons, military equipment and ammunition)]. Scientific and technical statements of SPbSPU. Iss. Science and Education, 2014, no. 1, pp. 26–32.
- [16] Galyshev Yu.V., Grigor'ev A.P., Dobretsov R.Yu., Lozin A.V. *Zamknutye sistemy upravleniya povоротom gusenichnykh mashin = Closed-loop control system for tracked vehicle steering* [Closed loop control systems for tracked vehicles = Closed-loop control system for tracked vehicle steering]. Scientific and technical statements of SPbSPU. Iss. Science and Education, 2014, no. 3 (202), pp. 201–208.
- [17] Dobretsov R.Yu. *Friktsionnyy mekhanizm povorota dvukhpotochnykh transmissiy gusenichnykh mashin* [Frictional mechanism of rotation of double-stream transmissions of tracked vehicles]. Inventors in the innovation process in Russia: materials of the All-Russian (with International participation) scientific and practical conference. St. Petersburg, December 20–21, 2013, eds. Popova, A.G. Semenov. Saint-Petersburg: Publishing house of Polytechnic Univ., 2014, pp. 121–124.
- [18] Didikov R.A., Dobretsov R.Yu. *K voprosu o vybere kinematoicheskikh skhem shesterenchatykh MRM* [On the choice of kinematic schemes of gear-type MPM]. Automobile industry, 2014, no. 9, pp. 12–14.
- [19] Boykov A.V., Grigor'ev A.P., Rusinov R.V. *K metodu otsenki chastoty impul'snogo upravleniya povоротom gusenichnoy mashiny* [To the method of estimating the frequency of pulse control of the turn of a caterpillar]. Working processes of compressors and installations with ICE: interuniversity sat. Leningrad: LPI Publ., 1987, pp. 73–78.
- [20] Didikov R.A., Dobretsov R.Yu., Rusinov R.V. *O vozmozhnosti primeneniya gidravlicheskogo privoda v mekhanizme raspredeleniya moshchnosti* [On the possibility of using a hydraulic drive in the power distribution mechanism]. Vestnik AAI, 2016, no. 5 (100), pp. 30–32.
- [21] Shelomov V.B., Dobretsov R.Yu. *Moshchnosti dvigatelya i buksovaniya friktsionnogo elementa mekhanizma upravleniya povоротom gusenichnoy mashiny* [Power of the engine and skidding of the friction element of the mechanism for controlling the rotation of the tracked machine]. Scientific and technical statements of SPbSPU. Iss. Science and Education, 2010, v. 2, no. 2, pp. 87–91.
- [22] Didikov R.A. *Metod opredeleniya sostavlyayushchikh balansa moshchnosti mekhanizma raspredeleniya moshchnosti v transmissii avtomobilya* [Method for determining the components of the power balance of the power distribution mechanism in the vehicle transmission]. Bulletin of SibADI, 2016, no. 4 (50), pp. 61–63.

Authors' information

Dobretsov Roman Yur'evich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, dr-idpo@yandex.ru

Grigor'ev Igor' Vladislavovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of Yakut State Agricultural Academy, silver73@inbox.ru

Received 17.10.2017

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА ПРОДУКТАМИ МИКОЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ

Г.Н. Кононов, А.Н. Веревкин, Ю.В. Сердюкова, В.Д. Зайцев

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

kononov@mgul.ac.ru

Лигнин — второе по распространенности органическое соединение на Земле, являющееся продуктом биосинтеза растений. В современных химических технологиях переработки растительной биомассы лигнин не только не используется как органическое сырье, но и относится к обременительным отходам технологических процессов. Утилизация гидролизного лигнина является важной задачей. Целью данной работы является изучение влияния добавок микологически разрушенной древесины грибами бурой гнили к гидролизному лигнину как сырья для получения активированного угля. Даны количественные характеристики микологически разрушенной древесины ели и гидролизного лигнина. В состав гидролизного лигнина и микологически разрушенной древесины входят соединения, содержащие полярные функциональные группы. Установлено, что основными экстрактивными веществами микологически разрушенной древесины являются соединения фенольной природы. Эти соединения могут выступать в роли сшивающих агентов при пиролизе лигнина. Изучены некоторые закономерности пиролиза композиций на основе гидролизного лигнина и микологически разрушенной древесины. Исследовано влияние количества модификатора на выход нелетучего углерода при пиролизе композиции. Установлено, что содержание нелетучего углерода возрастает в интервале температуры 350...450 °С в среднем на 25 % по сравнению с гидролизным лигнином. Подобраны состав композиции и условия пиролиза: массовая доля микологически разрушенной древесины ели в композиции с гидролизным лигнином составляет 12,5 %, температура пиролиза 450 °С, время пиролиза 2 ч. Уголь-сырец, полученный из модифицированного гидролизного лигнина, спекается и приобретает форму сосуда для пиролиза, а не мелкодисперсного порошка. Это свидетельствует о дополнительном структурировании получаемого продукта.

Ключевые слова: пиролиз, гидролизный лигнин, микологически разрушенная древесина

Ссылка для цитирования: Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д. Модифицирование гидролизного лигнина продуктами микоза древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 78–83. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-78-83

Утилизация гидролизного лигнина является важной задачей. В России за годы функционирования гидролизной промышленности было накоплено от 70 до 90 млн т гидролизного лигнина [1]. Самыми крупными являются отвалы в Иркутской области (около 20 млн т), Красноярском крае (порядка 15 млн т), Свердловской области (15 млн т) и Кировской области (10 млн т). Залежи гидролизного лигнина в г. Зима Иркутской области сравнивают с опухолью на теле Земли, имеющей гигантские размеры: площадью 25,5 га и 23 м в глубину [2]. Однако гидролизный лигнин обладает рядом ценных свойств. Являясь продуктом ароматической природы с высоким содержанием углерода, он дает высокий выход угля при пиролизе с высокой сорбционной способностью. Поэтому одним из перспективных способов утилизации лигнина является получение на его основе различных сорбционных систем, в том числе активированного угля. Однако уголь-сырец, получаемый из гидролизного лигнина, не пригоден для парогазовой активации из-за особенностей своего строения: он представляет собой мелкодисперсный порошок, практически полностью выгорающий при активации.

Цель работы

Целью данной работы является изучение влияния добавок микологически разрушенной грибами бурой гнили древесины (МРД) к гидролизному лигнину (ГЛ) и пиролиз данной смеси для получения угля-сырца с последующей его активацией.

Материалы и методы

На основании проведенных исследований [3, 4] и литературных данных [5–13] можно предположить, что в качестве модификатора лигнина при пиролизе можно использовать микологически разрушенную грибами бурой гнили древесину. Такая древесина обогащена низкомолекулярными фенольными соединениями, способными вступать во взаимодействие с гидролизным лигнином при его пиролизе. Это может приводить к структурированию и спеканию угля-сырца.

Пиролиз смеси гидролизного лигнина с микологически разрушенной древесиной проводили в муфельной печи со скоростью нагрева 10 град./мин до заданной температуры; после этого образец выдерживали при заданной температуре 2 ч, а затем охлаждали. Содержание модификатора и температуру пиролиза варьировали для изучения

характеристик получаемого угля-сырца. В исходном сырье и полученном продукте определяли влажность, зольность, количество экстрактивных веществ, содержание лигнина, нелетучего углерода, кислот и альдегидов [13–17].

Результаты и обсуждение

В табл. 1, 2 представлены количественные характеристики исследуемых образцов. Как видно из полученных данных, и для гидролизного лигнина, и для микологически разрушенной древесины характерно наличие большого количества соединений, содержащих полярные функциональные группы. Поскольку они обладают повышенной растворимостью в разбавленных растворах щелочей, можно заключить, что основными экстрактивными соединениями микологически разрушенной древесины являются соединения

кислотного характера (фенолы и кислоты). Эти соединения могут выступать в роли каталитических и сшивающих агентов в присутствии альдегидов при пиролизе лигнина.

На рис. 1 представлены зависимости выхода угля-сырца от содержания микологически разрушенной древесины в исходной композиции при разной температуре проведения пиролиза. Из представленных данных видно, что с увеличением содержания микологически разрушенной древесины в композиции, подвергаемой пиролизу, выход угля-сырца заметно снижается. Однако 12,5 % микологически разрушенной древесины в композиции выхода угля-сырца не только не снижается по сравнению с гидролизным лигнином, но даже несколько увеличивается.

Т а б л и ц а 1
Количественные характеристики микологически разрушенной древесины ели грибами бурой гнили и гидролизного лигнина
The quantitative characteristics of the mycologically destroyed fir-tree wood with brown decay fungi and the hydrolysis lignine

| Количественные параметры | Гидролизный лигнин | Микологически разрушенная древесина | |
|---------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-------|
| Относительная влажность, % | 5 | 6,9 | |
| Зольность, % | 9,4 | 1,47 | |
| Содержание экстрактивных веществ при обработке, % | | | |
| | холодной водой | 3,84 | 1,723 |
| | горячей водой | 10,39 | 15,8 |
| | этанолом | 12,22 | 9 |
| | бензолом | 8,02 | 3,0 |
| 1%-ным раствором КОН | 5,0 | 49,5 | |
| Содержание лигнина Класона, % | 54,75 | 52,257 | |

Т а б л и ц а 2
Содержание функциональных групп в веществах водных экстрактов микологически разрушенной древесины ели
The content of the functional groups in substances of water extracts from mycologically destroyed fir-tree wood

| Количественная характеристика экстракта | Обработка холодной водой | Обработка горячей водой |
|--------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Массовая доля фенольных и карбоксильных групп, % | 0,009 | 0,1215 |
| Массовая доля карбонильных групп, % | 2,04 | 3,6 |
| pH экстракта | 1,93 | 1,84 |

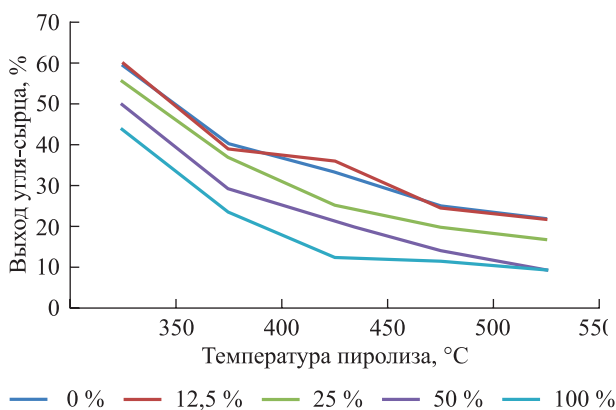


Рис. 1. Зависимость выхода угля-сырца от температуры пиролиза при различном содержании микологически разрушенной древесины в композиции с гидролизным лигнином

Fig. 1. Dependences of a coal-raw yield from pyrolysis temperature at various contents of mycologically destroyed wood in mixture with the hydrolysis lignin

Следует отметить, что уголь-сырец, полученный из модифицированного гидролизного лигнина, структурируется, как и предполагалось ранее, и приобретает форму сосуда, в котором осуществлялся пиролиз (рис. 2, 3).

Исследовано также влияние количества модификатора на массовую долю нелетучего углерода (табл. 3).

Содержание нелетучего углерода в угле-сырце у смеси, полученной из гидролизного лигнина с 12,5 % микологически разрушенной древесины, по сравнению с чистым гидролизным лигнином возрастает при температуре 350...450 °C в среднем на 25 %. Что же касается угля-сырца из микологически разрушенной древесины, то у него не только низкий выход, но уголь и низкое содержание нелетучего углерода (рис. 4). Данный показатель имеет тенденцию к снижению при более высокой температуре, что, по-видимому, связано

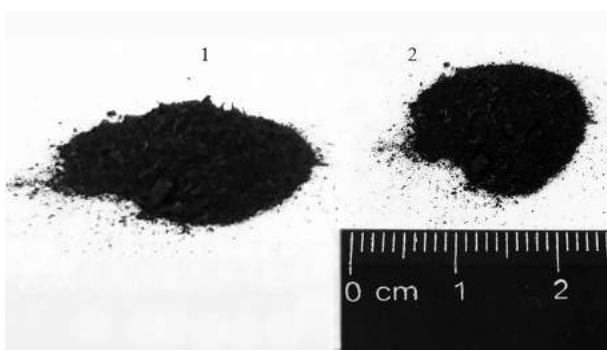


Рис. 2. Уголь-сырец (справа), полученный из гидролизного лигнина (слева)

Fig. 2. The coal-raw (right) received from the hydrolysis lignin (left)

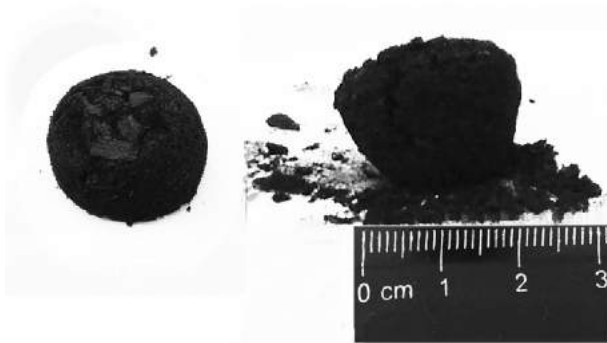


Рис. 3. Уголь-сырец, полученный из гидролизного лигнина, модифицированного 12,5 % микологически разрушенной древесины

Fig. 3. The coal-raw received from the hydrolysis lignin modified with 12,5 % mycologically destroyed wood

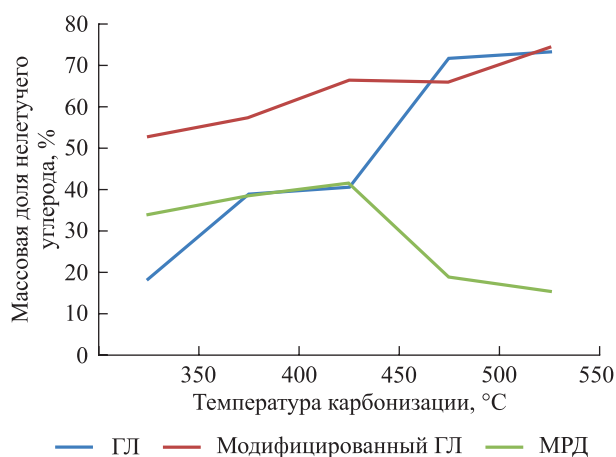


Рис. 4. Зависимость массовой доли нелетучего углерода в угле-сырце от температуры пиролиза различных видов сырья

Fig. 4. Dependence of a mass portion of nonvolatile carbon in coal-raw of temperature of pyrolysis of different types of raw materials

Т а б л и ц а 3

Массовая доля нелетучего углерода, %, в угле-сырце из различных видов сырья
A nonvolatile carbon mass portions (%) in coal-raw from different types of raw materials

| Состав сырья | Температура карбонизации, °C | | | | |
|--------------------------|------------------------------|--------|--------|---------|---------|
| | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 |
| ГЛ | 18,51 | 39 | 40,6 | 71,69 | 73,36 |
| МРД | 33,83 | 38,53 | 41,53 | 18,53 | 15,23 |
| 12,5 % МРД; 87,5 % ГЛ | 52,893 | 45,203 | 66,63 | 66,2 | 74,39 |
| 25 % МРД; 75 % ГЛ | 61,01 | 61,33 | 62,54 | 64,16 | 73,5825 |
| 50 % МРД; 50 % ГЛ | 44,34 | 50,65 | 52,465 | 82,9365 | 54,565 |

с разрушением определенного рода высококонденсированных структур из низкомолекулярных экстрактивных веществ фенольного характера.

Выводы

Из проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Микологически разрушенная древесина грибами бурой гнили, может выполнять функцию модификатора гидролизного лигнина при его пиролизе.

2. Оптимальные условия пиролиза: содержание микологически разрушенной древесины грибами бурой гнили 12,5 масс. % в композиции с гидролизным лигнином, температура пиролиза 450 °C, время пиролиза 2 ч.

3. При оптимальных условиях процесса выход угля-сырца возрастает приблизительно на 3 %, а содержание нелетучего углерода в нем – на 25 % по сравнению с углем, полученным из гидролизного лигнина.

Список литературы

- [1] Rabinovich M.L. Lignin by-products of Soviet hydrolysis industry: resources, characteristics, and utilization as a fuel // Cellulose Chemistry and Technology, 2014, no. 48 (7–8), pp. 613–631.
- [2] Илюшкина Е.С. Проблемы утилизации лигнина в Иркутской области // Актуальные вопросы экономических наук, 2011. № 18. С. 241–247.
- [3] Азаров В.И., Кононов Г.Н., Горячев Н.Л. Изучение компонентного состава микологически разрушенной древесины // Технология и оборудование для переработки древесины: науч. тр. М.: МГУЛ, 2012. Вып. 358. С. 126–131.
- [4] Кононов Г.Н., Мазитов Л.А., Климов В.С. Термолиз лигнинсодержащего сырья // Науч. тр. МГУЛ. М.: МГУЛ, 1994. Вып. 273. С. 61–65.
- [5] Иванкин А.Н., Беляков В.А., Вострикова Н.Л., Куликовский А.В., Лиханова Л.М. Влияние нано-микрокомпонентного состава продуктов распада термолизированной древесины на безопасность обрабатываемой продукции // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013. № 2. С. 67–72.

- [6] Тиньгаева Е.А., Фарберова Е.А. Исследование возможности использования лигнина и целлолигнина для получения гранулированных активных углей // Вестник ПНИПУ, 2016. № 1. С. 47–60.
- [7] Gorbacheva G.A., Ivankin A.N., Sanaev V.G., Ageev A.K., Kiryukhin D.P., Kichigina G.A., Kushch P.P., Badamshina E.R. Surface Modification of Cellulose-Containing Materials with Solutions of Tetrafluoroethylene Telomers // Russian J. Applied Chemistry, 2017, v. 90, no. 8, pp. 1104–1110.
- [8] Леванова В.П. Технология, свойства и применение энтеросорбентов на основе гидролизного лигнина: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: ВНИИ Гидролиза растительных материалов, 1995. 33 с.
- [9] Ivankin A.N., Oliferenko G.L., Kulikovskii A.V., Chernuha I.M., Semenova A.A., Spiridonov K.I., Nasonova V.V. Determination of Unsaturated Fatty Acids with a Migrating Double Bond in Complex Biological Matrices by Gas Chromatography with Flame Ionization and Mass Spectrometry Detection // J. Analytical Chemistry, 2016, v. 71, no. 11, pp. 1131–1137. DOI: 10.1134/S1061934816110046
- [10] Рабинович М.Л., Болобова А.В., Кондращенко В.И. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. Кн. I: Древесина и разрушающие ее грибы. М.: Наука, 2001. 264 с.
- [11] Иванкин А.Н., Веревкин А.Н., Куликовский А.В., Чернуха И.М., Криштафович В.И., Фокин И.И. Изменение состава летучих компонентов в процессе культивирования дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в присутствии активаторов // Хранение и переработка сельхозсырья, 2016. № 8. С. 39–44.
- [12] Рипачек В. Биология дереворазрушающих грибов. М.: Лесная пром-сть, 1967. 276 с.
- [13] Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина (Химия, ультраструктура, реакции). М.: Лесная пром-сть, 1988. 512 с.
- [14] Прошина О.П., Фахретдинов Х.А., Иванкин А.Н., Капустина Е.А. Формирование пропиточных систем с наночастицами для модификации свойств древесины // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2016. № 2. С. 137–144.
- [15] Азаров В.И., Винославский В.А., Кононов Г.Н. Практикум по химии древесины и синтетических полимеров: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2006. 248 с.
- [16] Богданович Н.И., Кутакова Н.А., Селянина С.Б. Лабораторный практикум по технологии биологически активных веществ и углеродных адсорбентов. В 2 ч. Ч. 1: Анализ углей и продуктов пиролиза древесины: учеб. пособие. Архангельск: САФУ, 2013. 84 с.
- [17] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Химия, нанохимия и биогенохимия компонентов клеток, тканей и органов древесных растений. В 2 т. М.: МГУЛ, 2015. Т. 2. 626 с.

Сведения об авторах

Кононов Георгий Николаевич — канд. техн. наук, доцент кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), чл.-корр. РАЕН, ученый секретарь секции химии и химической технологии древесины РХО им. Д.И. Менделеева, kononov@mgul.ac.ru

Веревкин Алексей Николаевич — канд. хим. наук, доцент кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), verevkin@mgul.ac.ru

Сердюкова Юлия Владимировна — старший преподаватель кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-htdip@mgul.ac.ru

Зайцев Владислав Дмитриевич — магистрант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kelertak@bk.ru

Статья поступила в редакцию 21.11.2017.

MODIFICATION OF HYDROLYSIS LIGNIN BY PRODUCTS OF WOOD MYCOLIOSIS

G.N. Kononov, A.N. Verevkin, Yu.V. Serdyukova, V.D. Zaytsev

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia
 verevkin@mgul.ac.ru

Lignin, the second most common organic compound on Earth, is a product of a plants biosynthesis. Lignin is not used as organic raw material in the modern chemical technologies of plant biomass processing, but it is also a burdensome waste of technological processes. Utilization of the hydrolysis lignin is an important task. The purpose of this work is to study the influence of admixture of wood mycologically destroyed by brown decay fungi to the hydrolysis lignin as raw materials to obtain an absorbent carbon. The quantitative characteristics of the mycologically destroyed fir-tree wood and the hydrolysis lignin are given. The composition of the hydrolysis lignin and mycologically destroyed wood includes the substances with polar functional groups. It is established that the basic extractives of the mycologically destroyed wood have a phenolic nature. These compounds can act as crosslinking agents at a lignin pyrolysis. Some pyrolysis regularities of compositions based on the hydrolysis lignin and mycologically destroyed wood is studied. The influence of modifier quantity on a yield of solid carbon at a pyrolysis mixture is investigated. It is established that the solid carbon content increases in a temperature interval of 350...450 °C on average for 25 % in comparison with the hydrolysis lignin. The ratio of mixture and pyrolysis conditions are obtained: the mass fraction of the mycologically destroyed fir-tree wood in mixture with the hydrolysis lignin makes 12,5 %, temperature of a pyrolysis is 450 °C, pyrolysis time-length takes 2 hours. It should be noted that the coal-raw received from the modified hydrolysis lignin bakes and gets a vessel form for pyrolysis, but not fine powder. It demonstrates the additional structuring of the obtained product.

Keywords: pyrolysis, hydrolysis lignin, mycologically destroyed wood

Suggested citation: Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V., Zaytsev V.D. *Modifitsirovanie gidroliznogo lignina produktami mikoliza drevesiny* [Modification of hydrolysis lignin by products of wood mycoliosis]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 78–83. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-78-83

References

- [1] Rabinovich M.L. Lignin by-products of soviet hydrolysis industry: resources, characteristics, and utilization as a fuel. *Cellulose Chem. Technol.*, 2014, no. 48 (7–8), pp. 613–631.
- [2] Ilyushkina E.S. *Problemy utilizatsii lignina v Irkutskoy oblasti [Problems of utilization of a lignine in the Irkutsk region]. Aktual'nye voprosy ekonomicheskikh nauk* [Topical issues of economic sciences], 2011, no. 18, pp. 241–247.
- [3] Azarov V.I., Kononov G.N., Goryachev N.L. *Izuchenie komponentnogo sostava mikologicheski razrushennoy drevesiny* [Studying of component structure mycologically the destroyed wood]. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny* [Technology and the equipment for wood processing: Collected papers]. Moscow: MGUL Publ., 2012, v. 358, pp. 126–131.
- [4] Kononov G.N., Mazitov L.A., Klimov V.S. *Termoliz ligninsoderzhashchego syr'ya* [Thermolysis of the lignin containing raw materials]. *Nauchnye trudy MGUL [Collected papers MSFU]*. Moscow: MGUL Publ., 1994, v. 273, pp. 61–65.
- [5] Ivankin A.N., Belyakov V.A., Vostrikova N.L., Kulikovskiy A.V., Likhanova L.M. *Vliyaniye nano-mikrokomponentnogo sostava produktov raspada termolizirovannoy drevesiny na bezopasnost' obrabatyvaemoy produktsii* [Influence of nano-microcomponent structure of products of disintegration of termolizirovanny wood on safety of the processed production]. *Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy vestnik*, 2013, no. 2, pp. 67–72.
- [6] Tin'gaeva E.A., Farberova E.A. *Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya lignina i tselloignina dlya polucheniya granulirovannykh aktivnykh ugley* [Studying of a possibility of use of a lignine and cellolignin for receiving granulated active coals]. *Vestnik PNIPI [PNRPU Bulletin]*, 2016, no. 1, pp. 47–60.
- [7] Gorbacheva G.A., Ivankin A.N., Sanaev V.G., Ageev A.K., Kiryukhin D.P., Kichigina G.A., Kushch P.P., Badamshina E.R. *Surface Modification of Cellulose-Containing Materials with Solutions of Tetrafluoroethylene Telomers*. *Russian J. Applied Chemistry*, 2017, v. 90, no. 8, pp. 1104–1110.
- [8] Levanova V.P. *Tekhnologiya, svoystva i primeneniye enterosorbentov na osnove gidroliznogo lignina* [Technology, properties and application of enterosorbents on the basis of the hydrolyzing lignine]. *Abstract dis. ... Dr. Sci. (Tech.)*. St. Petersburg: VNI Hydrolysis of plant materials, 1995, 33 p.
- [9] Ivankin A.N., Oliferenko G.L., Kulikovskii A.V., Chernuha I.M., Semenova A.A., Spiridonov K.I., Nasonova V.V. *Determination of Unsaturated Fatty Acids with a Migrating Double Bond in Complex Biological Matrices by Gas Chromatography with Flame Ionization and Mass Spectrometry Detection*. *J. Analytical Chemistry*, 2016, v. 71, no. 11, pp. 1131–1137. DOI: 10.1134/S1061934816110046
- [10] Rabinovich M.L., Bolobova A.V., Kondrashchenko V.I. *Teoreticheskie osnovy biotekhnologii drevesnykh kompozitov. Kn. I: Drevesina i razrushayushchie ee gryby* [Theoretical bases of biotechnology of wood composites. Book I: Wood and the fungi destroying it]. Moscow: Nauka Publ., 2001, 264 p.
- [11] Ivankin A.N., Verevkin A.N., Kulikovskiy A.V., Chernukha I.M., Krishtafovich V.I., Fokin I.I. *Izmeneniye sostava letuchikh komponentov v protsesse kul'tivirovaniya drozhdzhey Saccharomyces cerevisiae v prisutstvii aktivatorov* [Change of volatile components structure in the process of Saccharomyces cerevisiae yeast cultivation in the presence of activators]. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials], 2016, no. 8, pp. 39–44.
- [12] Ripachek V. *Biologiya derevorazrushayushchikh gribov* [Biology of the fungi destroying wood]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' Publ., 1967, 276 p.
- [13] Fengel D., Vegener G. *Drevesina (Khimiya, ul'trastruktura, reaktivnosti)* [Wood (Chemistry, ultra-structure, reactions)]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988, 512 p.
- [14] Proshina O.P., Fakhretidinov Kh.A., Ivankin A.N., Kapustina E.A. *Formirovaniye propitochnykh sistem s nanochastitsami dlya modi-*

- fkatsii svoystv drevesiny* [Formation of treating systems with nanoparticles for wood properties modification]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy vestnik, 2016, no. 2, pp. 137–144.
- [15] Azarov V.I., Vinoslavskiy V.A., Kononov G.N. *Praktikum po khimii drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Workshop on chemistry of wood and synthetic polymers]. Moscow: MGUL Publ., 2006, 248 p.
- [16] Bogdanovich N.I., Kutakova N.A., Selyanina S.B. *Laboratornyy praktikum po tekhnologii biologicheskii aktivnykh veshchestv i uglerodnykh adsorbentov. V 2 ch. Ch. 1: Analiz ugley i produktov piroliza drevesiny* [Laboratory workshop on technology biologically the active materials and carbon adsorbents. In 2 parts. Part. 1: Analysis of coals and pyrolyzed species of wood]. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov Publ., 2013, 84 p.
- [17] Kononov G.N. *Dendrokhiimiya. Khimiya, nanokhimiya i biogeokhimiya komponentov kletok, tkaney i organov drevesnykh rasteniy. V 2 t.* [Chemistry, nanochemistry and biogeochemistry of cell components, fabrics and bodies of wood plants. In 2 v.]. Moscow: MGUL Publ., 2015, v. 2, 626 p.

Authors' information

Kononov Georgiy Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, the Scientific Secretary of Section Chemistry and Engineering Chemistry of Wood Mendeleyev Russian Chemical Society, kononov@mgul.ac.ru

Verevkin Alexey Nikolaevich — Cand. Sci. (Chemical), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), verevkin@mgul.ac.ru

Serdyukova Yulia Vladimirovna — Senior Lecturer of BMSTU (Mytishchi branch), caf-htdip@mgul.ac.ru

Zaytsev Vladislav Dmitrievich — graduate student of BMSTU (Mytishchi branch), kelertak@bk.ru

Received 21.11.2017.

УДК 676.054.6

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-88-93

ИЗУЧЕНИЕ ТОПОГРАФИИ МАТЕРИАЛОВ НА ЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ ОСНОВЕ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

А.А. Кирсанкин, М.Г. Михалева, Г.Г. Политенкова, С.Н. Никольский, С.В. Стовбун

Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, 119991, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4

nikolskij56@mail.ru

Выполнен анализ поверхности мелованных видов бумаги и картона с применением атомно-силовой микроскопии (АСМ). Анализ поверхности целлюлозно-бумажных материалов с использованием АСМ является достаточно универсальным и обеспечивает объективную характеристику шероховатости различных видов целлюлозно-бумажной продукции. В отличие от традиционных «воздушных» методов контроля качества целлюлозно-бумажной продукции, которые стандартизированы как в системе ISO, так и в рамках национальных и отраслевых систем стандартизации (ГОСТ, DIN, SCAN, TAPPI), этот метод дает прямое изображение рельефа поверхности. Обработка полученных изображений поверхности материала с применением программного обеспечения позволяет рассчитать шероховатость по предпочтительному параметру — среднеарифметическому отклонению профиля (R_a) в полном соответствии с требованиями ГОСТ 2789–73 и международной рекомендации по стандартизации ИСО Р 468. Результаты не противоречат данным, полученным стандартными (косвенными) методами. Установлено, что в ряде случаев при одном и том же косвенном показателе шероховатости, указанном производителем, расчет параметра R_a по данным АСМ дает более объективные и точные результаты. Метод прямого анализа поверхности бумаги и картона для полиграфии (материалы с мелованным слоем, суперкаландрированные материалы и пр.), использованный в работе, может в перспективе рассматриваться как метод объективного контроля процессов производства основы для мелования, подготовки пигментов для меловальных составов и изготовления конечной продукции.

Ключевые слова: шероховатость, гладкость, атомно-силовая микроскопия, мелованная бумага, поверхность

Ссылка для цитирования: Кирсанкин А.А., Михалева М.Г., Политенкова Г.Г., Никольский С.Н., Стовбун С.В. Изучение топографии материалов на целлюлозной основе методом атомно-силовой микроскопии // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 88–93. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-88-93

В одной из предыдущих работ [1] авторами было показано, что использование атомно-силовой микроскопии (АСМ) позволяет получить объективную характеристику качества поверхности носителей информации на основе бумаги и картона [1]. Современные технологии производства и переработки целлюлозно-бумажной продукции неразрывно связаны с разработкой и внедрением инновационных методов контроля качества материалов по стадиям процесса и, главное, характеристик конечной продукции. Это в полной мере относится и к носителям информации на бумажной основе. Интенсивное развитие современных методов печати ведет к постоянно-му повышению требований к качеству мелованного слоя бумаги и картона.

Одним из наиболее важных показателей качества бумаги является шероховатость. Она обуславливает способность бумаги передавать печатную информацию без искажений и разрывов. Согласно ГОСТ 30115–95, «шероховатость — это неровность поверхности, которая определяется по расходу воздуха...» [2]. По нашему мнению, данное определение не имеет ничего общего с одним из базовых понятий материаловедения, которое распространяется на шероховатость поверхности изделий независимо от их материала

и способа изготовления (получения поверхности) [3]. Еще раз подчеркнем, что неровность поверхности не может определяться по расходу воздуха.

В соответствии с ГОСТ 2789–73 шероховатость поверхности — это совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности. Шероховатость поверхности определяется по ее профилю, который представляет собой ломаную линию пересечения поверхности плоскостью, перпендикулярной направлению неровностей. Профиль рассматривается на длине базовой линии, в пределах которой выполняются расчеты параметров шероховатости поверхности. Выбранный из номенклатуры ГОСТ 2789–73 параметр шероховатости R_a представляет собой среднеарифметическое отклонение профиля [3, 4].

Цель работы

В настоящей работе проводится изучение топографии поверхности бумаги и картона для полиграфии с применением метода атомно-силовой микроскопии. Техника анализа поверхности целлюлозно-бумажных материалов с использованием АСМ является достаточно универсальной и дает объективную характеристику шероховатости всего спектра целлюлозно-бумажной продукции —

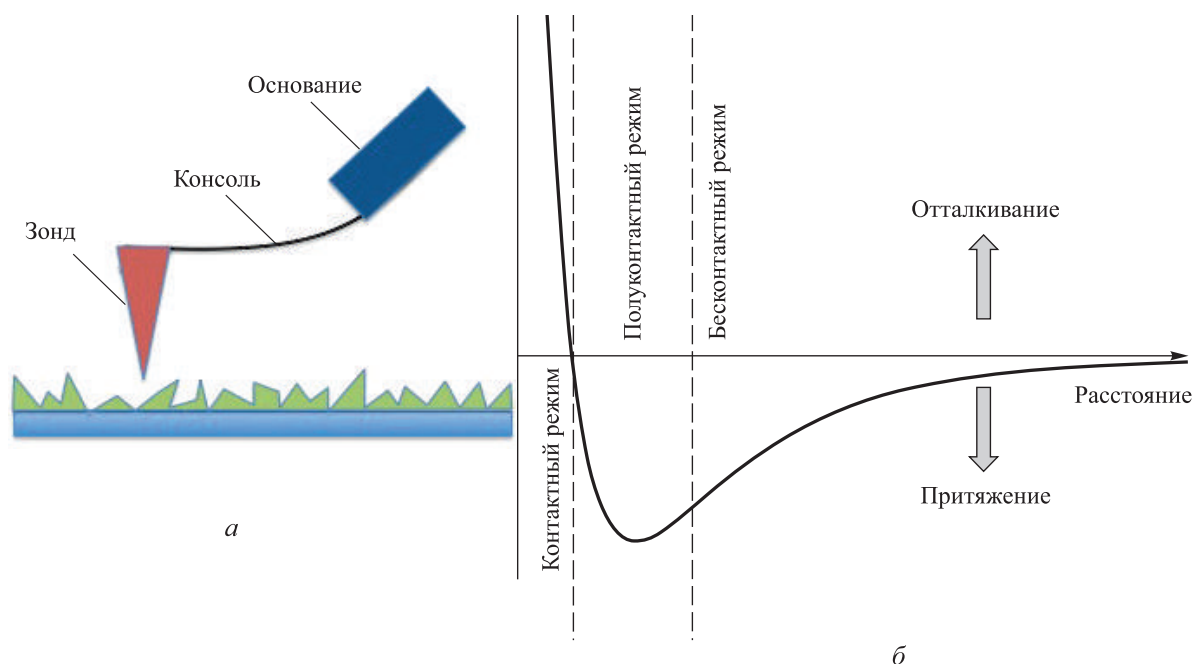


Рис. 1. Схема работы АСМ (а) и график зависимости силы Ван-дер-Ваальса от расстояния между кантилевером и поверхностью образца (б)

Fig. 1. Scheme of АСМ (а) and the graph of the dependence of the Van der Waals force on the distance between the cantilever and the sample surface (б)

от товарной целлюлозы до бумаги и картона с глянцевым мелованным слоем.

Атомно-силовая микроскопия — один из видов сканирующей зондовой микроскопии, используемой для изучения рельефа поверхности с высоким разрешением. Атомно-силовой микроскоп был создан в 1982 г., как модификация сканирующего туннельного микроскопа.

Принцип работы атомно-силового микроскопа заключается в регистрации силового взаимодействия между кантилевером (зондом) и поверхностью образца. При взаимодействии кантилевера с поверхностью на него действует сила, которая приводит к изгибу его консоли (рис. 1, а). Различия в высоте на поверхности исследуемого образца при этом отражаются в изменении силы, действующей на кантилевер и, следовательно, приводят к изменению изгиба его основания. Величина изгиба регистрируется с помощью лазера, направленного на основание кантилевера, и по ней можно судить о рельефе поверхности.

Под силами, действующими между кантилевером и поверхностью, в первую очередь понимают дальнедействующие силы Ван-дер-Ваальса, которые на больших расстояниях являются силами притяжения, а при приближении переходят в силы отталкивания (рис. 1, б).

В зависимости от характера действия силы между зондом и образцом выделяют три режима работы АСМ [5]:

1) контактный;

2) «полуконтактный»;

3) бесконтактный.

Материалы и методы

Применялся полуконтактный режим работы АСМ как наиболее универсальный и позволяющий для большинства исследуемых образцов получать разрешение до 1 нм. В этом режиме в кантилевере возбуждаются колебания и в нижней точке колебаний кантилевер только касается поверхности образца. При таком режиме сканирования образец не повреждается. Данный режим является промежуточным между контактным и бесконтактным.

Все измерения методом атомно-силовой микроскопии выполнены на микроскопе Solver HV (ЗАО NT-MDT, Зеленоград, Россия), работающем в полуконтактном режиме, при комнатной температуре и атмосферном давлении.

Измерения рельефа поверхности образца при АСМ проводили в диапазоне размеров поля зрения от 10 000 до 4 мкм². Использовали стандартные кантилеверы производства ЗАО NT-MDT (Зеленоград, Россия). Собственные частоты кантилеверов 110...180 кГц, радиус закругления зонда 10 нм. На топографических изображениях, полученных в режиме постоянной амплитуды, высота профиля передается цветом: чем выше деталь рельефа, тем она светлее.

Образец бумаги помещали на поверхность стандартной кремниевой пластины, используемой в микроэлектронной промышленности. Да-

Т а б л и ц а 1

Продукция целлюлозно-бумажных предприятий [6]
Products of pulp and paper enterprises [6]

| Изготовитель, страна | Местонахождение производства | Мощность | Виды продукции |
|----------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Группа «Илим», Россия | г. Коряжма г. Братск г. Усть-Илимск | свыше 2500 тыс. т/год | Сульфатная белая хвойная и лиственная целлюлоза; товарная целлюлоза; картон и гофроупаковка; бумага для гофрирования; офсетная бумага для печати; офисная бумага; мелованная бумага «Омела»; продукты лесохимической и биохимической переработок |
| | Ленинградская обл. | 140 млн. м ² | |
| UPM, Финляндия | Финляндия | свыше 2000 тыс. т/год | Мелованная журнальная бумага; немелованная журнальная бумага; этикеточные и упаковочные материалы; бумага для полиграфии |
| | Франция | 380 тыс. т/год | |
| | Великобритания | 490 тыс. т/год | |
| SUN PAPER, Китай | г. Яньчжоу | 300 тыс. т/год | Торговые марки: High Class Copy Paper; Art Paper; Offset Paper; Film Base Paper; Peel Base Paper; PS Lining Paper |
| Storaenso, Финляндия – Швеция | Финляндия | 2500 тыс. т/год | Книжная белая бумага для печати; офисная бумага; конверты и схоластические бумаги; журнальная бумага; мультимелованная бумага; мелованная бумага; суперкаландрированная бумага; газетная бумага; улучшенная газетная бумага; немелованная журнальная бумага; белая целлюлоза; немелованная тонкая бумага |

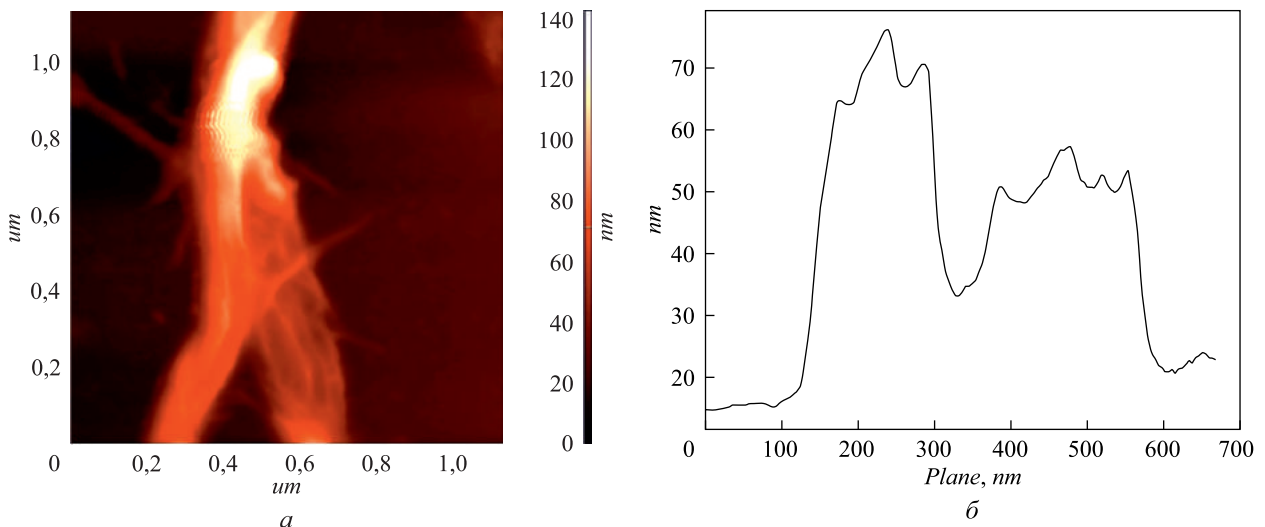


Рис. 2. Поверхность целлюлозного волокна: *a* — топографическое изображение с выделенной линией; *б* — профиль выделенной линии поверхности

Fig. 2. Surface of cellulose fiber: *a* — topographic image with a selected line; *б* — profile of the selected surface line

лее подготовленный образец устанавливали в микроскоп. Кондиционирование образцов бумаги не проводили.

Использовали образцы продукции ряда мировых лидеров целлюлозно-бумажной промышленности (табл. 1). Методом АСМ проанализирована (рис. 2, *б*) топография поверхности следующих видов волокнистых полуфабрикатов и бумаги для полиграфии:

- товарной целлюлозы (папка) из хвойных и лиственных пород древесины, а также однолетних растений (хлопок);
- бумаги газетной, пухлой, типографской;

- бумаги для офисной техники;
- бумаги мелованной (матовой, глянцевой).

В настоящее время для контроля поверхности твердых материалов используют два основных класса прямых методов. К ним относятся бесконтактные (оптические) и контактные методы [7–10].

Бесконтактные методы направлены на элементарную оценку параметров шероховатости. Контактные методы, основанные на сравнении исследуемой поверхности с эталонами [11] позволяют дать комплексную оценку. В табл. 2. приведены характеристики прямых методов анализа поверхности твердых материалов.

Т а б л и ц а 2

Прямые методы анализа поверхности твердых материалов
Direct methods for analyzing the surface of solid materials

| Метод | Описание |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Растровый (оптический) [7] | На исследуемую поверхность кладется стеклянная пластинка с нанесенной на нее растровой сеткой, на которую подаются световые лучи под наклоном. В местах микроскопических неровностей штрихи отраженной растровой сетки накладываются на штрихи реальной сетки, в результате чего возникают муаровые полосы |
| Методы светового и теневого свечения (оптические) [7] | Узкий световой пучок с помощью объектива направляется на исследуемую поверхность под определенным углом. Отражаясь, луч проходит через объектив и формирует изображение щели в окуляре. Абсолютно ровная поверхность будет при отражении давать идеально прямой световой пучок (линию), а шероховатая поверхность — искривленный. |
| Микроинтерференционный (оптический) [7] | Используя интерферометр, получают интерференционную картину поверхности исследуемого объекта с искривлениями полос в местах неровностей. Затем параметры шероховатости измеряют, с помощью микроскопа |
| Визуальный (сравнение по образцам) [8] | Визуальное сопоставление обработанной поверхности с эталоном невооруженным глазом или под микроскопом, а также по ощущениям при тактильном ощупывании |
| Щуповой [9, 10] | Алмазная игла прижимается и перемещается параллельно исследуемой поверхности. В местах возникновения микронеровностей возникают механические колебания измерительной головки иглы. Эти колебания передаются в датчик, преобразующий механическую энергию колебания в электрический сигнал |

В целлюлозно-бумажном производстве наиболее распространенными и повсеместно применяемыми методами количественной оценки качества поверхности бумаги и картона для полиграфии являются косвенные методы, такие как (табл. 3):

- гладкость по Бекку [12];
- шероховатость по Бендтсену [13];
- шероховатость по Шеффилду [14];
- шероховатость по Паркеру (PPS) [15].

Суть данных методов состоит в измерении скорости потока воздуха между поверхностью бумаги и анализатором. Форма и характеристики анализатора зависят от способа определения. Независимо от принципа измерения все методы обладают од-

ним общим свойством — они косвенные и дают усредненную (брутто) характеристику состояния поверхности запечатываемого материала. Следовательно, очень высока вероятность получения идентичных результатов контрольных анализов конечной продукции при различных реальных состояниях поверхности тестируемого материала.

В работе рассматривается использование прямого метода количественного анализа качества покрытия мелованных видов бумаги. Авторы обратились не к традиционным методам микроскопического анализа целлюлозных материалов (оптическая микроскопия, сканирующая электронная микроскопия), а к атомно-силовой

Т а б л и ц а 3

Косвенные методы анализа поверхности твердых материалов
Indirect methods for analyzing the surface of solid materials

| Определяемый параметр (Автор) | Суть метода | Ограничения | Единицы измерения |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Гладкость (Бекк) [12] | Измеряется время, необходимое для прохождения определенного объема воздуха в вакуумную камеру между поверхностями испытуемого образца и стеклянной полированной пластины | Распространяется на бумагу и картон толщиной до 0,6 мм. Не рекомендуется для газетной бумаги, не подходит для грубой бумаги и картона | с |
| Шероховатость (Бендтсен) [13] | Воздух выдувается под постоянным давлением в металлическую трубку, помещенную на бумагу. Измеряется объем воздуха, который утекает под дно металлической трубки, из-за неровностей поверхности бумаги | Неприменим для мягкой бумаги, бумаги с высокой воздухопроницаемостью | мл/мин |
| Шероховатость (Шеффилд) [14] | Измеряется поток воздуха при заданном давлении, который прокачивается через гладкую стеклянную колонку и просачивается между пазом в измерительной головке прибора и поверхностью образца бумаги | То же | Единицы Шеффилда; мл/мин |
| Шероховатость (Паркер) [15] | Воздух под известным давлением проходит сначала через жидкостной импеданс, а затем через измерительную головку в атмосферу. Разность значений давления воздуха при прохождении через импеданс и измерительную головку преобразуется на выходе в значение шероховатости | Подходит для печатных видов бумаги и картона, где поверхность может формировать плотное прилегание к измерительной головке | мкм |

микроскопии. Этот раздел современной микроскопии стал применяться для исследования материалов на целлюлозной основе начиная лишь с 2010 г. [16–19]. Следует отметить, что обработка экспериментальных данных с применением различных аналитических зависимостей имеет лишь косвенную значимость [20].

Результаты и обсуждение

Результаты сканирования поверхности мелованных образцов бумаги наглядно демонстрируют преимущества и достоинства метода АСМ для контроля качества целлюлозно-бумажной продукции для полиграфии (рис. 3).

При обработке данных АСМ рассматривали выделенный профиль, проводимый через наивысшую и наинизшую точки исследуемой поверхности. Длина отрезка прямой, на котором оценивается профиль поверхности, превышает длину базовой линии, предусмотренной в соответствующих нормативных документах [3]. Программное обеспечение прибора АСМ позволяет рассчитать параметры шероховатости поверхности в точном соответствии с ГОСТ 2789–73 [3]. Примеры топографического изображения поверхности и результаты анализа профиля представлены на рис. 4 и 5.

Важно отметить, что полученные нами данные удовлетворительно согласуются с показателями шероховатости по методу Паркера. Однако в некоторых случаях при одном и том же косвенном показателе шероховатости, указанном производителем, прямые расчеты параметра Ra по данным АСМ дают разные результаты, что говорит о большей точности метода АСМ. При этом значения Ra , полученные для образцов с

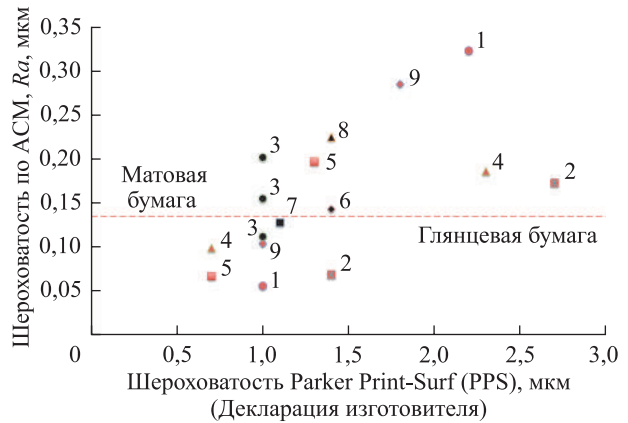


Рис. 3. Сравнение значений шероховатости PPS с данными по шероховатости, полученными методом АСМ: 1 — SunPaper; 2 — ARTPaper; 3 — Storaenso Performa Brilliance; 4 — UPM Finesse; 5 — Media Print (Storaenso); 6 — Master Karton (GC-2); 7 — Lux Star C2S; 8 — Kycocote (GC-2); 9 — Omela

Fig. 3. Comparison of the roughness values of PPS with the roughness data obtained by the AFM method: 1 — SunPaper; 2 — ARTPaper; 3 — Storaenso Performa Brilliance; 4 — UPM Finesse; 5 — Media Print (Storaenso); 6 — Master Karton (GC-2); 7 — Lux Star C2S; 8 — Kycocote (GC-2); 9 — Omela

равными показателями шероховатости по Паркеру, различаются в 3–4 раза.

Верно и обратное положение. В процессе экспериментальной работы установлено, что разным значениям шероховатости поверхности, измеренной по методу Бендтсена, могут соответствовать одинаковые значения параметра Ra , полученным методом АСМ. Данное обстоятельство дополнительно подтверждает отсутствие взаимно-однозначного соответствия между реальной шерохо-

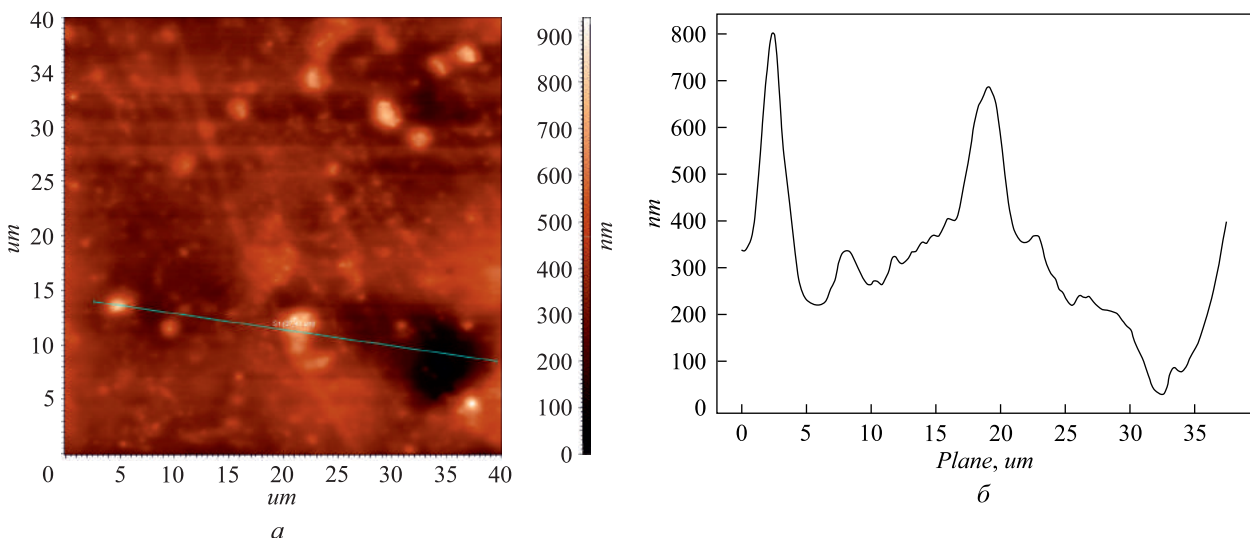


Рис. 4. Поверхность мелованной бумаги «Омела»: a — топографическое АСМ-изображение; b — профиль выделенной линии поверхности, проведенной через наивысшую и наинизшую точки рассматриваемой области

Fig. 4. The surface of coated paper «Omela»: a — topographic AFM image; b — the profile of the selected line of the surface drawn through the highest and lowest points of the region under consideration

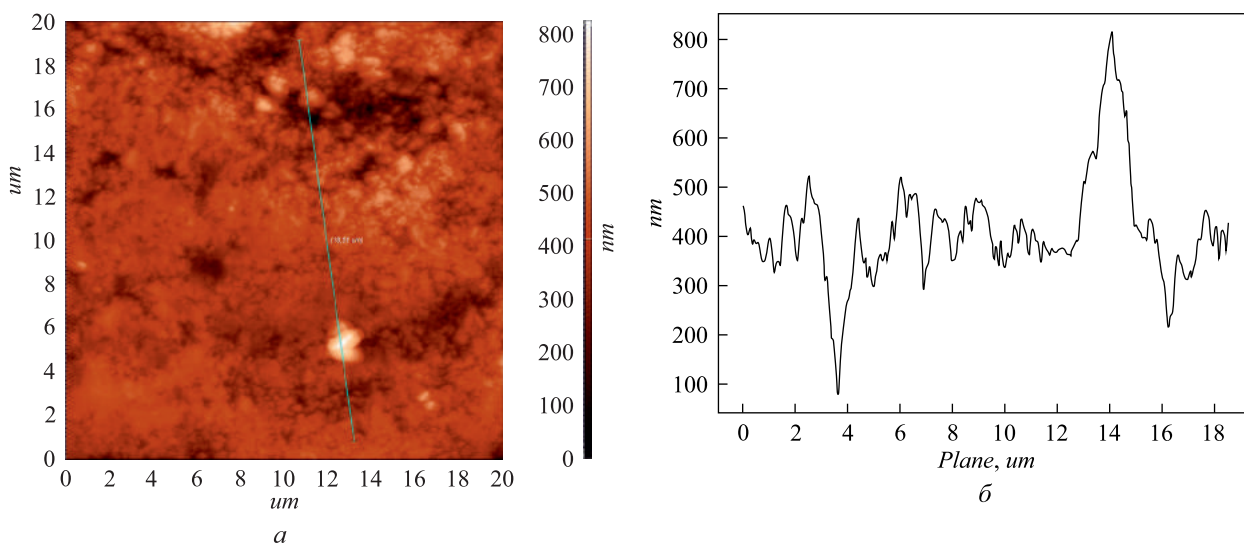


Рис. 5. Поверхность мелованной бумаги Storaenso: *a* — топографическое АСМ-изображение; *b* — профиль выделенной линии поверхности, проведенной через наивысшую и наинизшую точки рассматриваемой области

Fig. 5. The surface of coated paper Storaenso: *a* — topographic AFM image; *b* — the profile of the selected line of the surface drawn through the highest and lowest points of the region under consideration

ватостью поверхности и результатами измерений с использованием косвенных методов анализа.

Полученные данные полностью согласуются с данными по линиатуре растра и оптимальному разрешению для видов бумаги и картона, применяемых в полиграфии [21]. Таким образом, результаты, полученные при применении АСМ, объективно отражают качество бумаги для печати каждого производителя (табл. 4). Отметим, что отнесение конкретных видов бумаги к тому или иному типу материала сделано авторами исключительно на основании данных, соответствующих

параметрам ГОСТ или нормативных документов изготовителя (ТУ, СТП). Так, например, газетная бумага машинной гладкости (пухляя), выпускаемая «Монди Сыктывкарский ЛПК», ни в коей мере не является низкокачественной газетной бумагой.

Главной особенностью метода АСМ для определения качества поверхности материала является его универсальность. Тип поверхности, толщина образца и иные параметры не влияют на объективность получаемых результатов. Метод АСМ дает возможность исследования топографии

Т а б л и ц а 4

Соотношение между параметрами печати и результатами испытаний различных видов бумаги методом АСМ

The correlation between the parameters of printing and the test results of various types of paper by the AFM method

| Данные литературы [19] | | | Результаты испытаний | |
|-----------------------------------------------|----------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Тип материала, на котором производится печать | Линеатура, lpi | Оптимальное разрешение, dpi | Вид бумаги | Диапазон значений <i>Ra</i> , нм |
| Низкокачественная газетная бумага | 80 | До 1200 | Пухляя | 490–890 |
| Газетная бумага | 100 | 1600–2400 | — | 390–600 |
| Газетная и офсетная бумага | 133 | 2200–2540 | Типографская | 480–650 |
| Качественная офсетная, мелованная бумага | 150 | 2540–2800 | «Омела» DNS Premium MediaPrint UPM Finesse SunPaper Svetocopy ARTPaper | 170–760 |
| Мелованная бумага | 175 | 2800–3200 | «Омела» UPM Finesse | 100–105 |
| Высококачественные сорта мелованной бумаги | 200 | 3200–3600 и более | MediaPrint SunPaper ARTPaper | 55–70 |

поверхности практически всех видов целлюлозно-бумажной продукции. При этом снимаются все ограничения косвенных методов анализа, принятых в целлюлозно-бумажном производстве. С единых позиций рассматриваются характеристики как волокнистых полуфабрикатов, так и мелованных бумаги и картона.

Выводы

Метод прямого анализа поверхности мелованных видов бумаги может в перспективе рассматриваться как метод дополнительного технологического контроля процессов поверхностной обработки различных материалов, качества поверхности основы для мелования (бумага, картон) и меловального состава.

Преимущества рассмотренного:

- сравнительно небольшая длительность процедуры анализа. Экспресс-контроль выполняется в течение 20...30 минут. Полный анализ с измерениями и обработкой массива данных — в течение 50...60 минут;
- не требуется кондиционирование образцов;
- приемлемая цена оборудования, выпускаемого российскими предприятиями.

Измеренное значение шероховатости поверхности, полученное с помощью метода АСМ, численно совпадает со значением переводного коэффициента целлюлозного волокна (табл. 5). Следовательно, данный метод фактически опре-

деляет такую характеристику волокна, как грубость [22], а значит, является именно прямым методом контроля качества поверхности твердых материалов.

Наблюдаемые отклонения измеренных значений Ra от переводных коэффициентов волокнистых полуфабрикатов, представленных в ГОСТ 7500–85, ни в коей мере не свидетельствуют о некорректном подходе к анализу грубости различных видов целлюлозы.

Ранее было показано [23–27], что грубость волокон технической целлюлозы определяется следующими факторами:

- 1) природно-климатическими (условия произрастания, порода и возраст древесины);
- 2) технологическими (способ и условия процессов делигнификации растительного сырья, степень провара, схема отбеливания целлюлозы).

Грубость волокон технической целлюлозы (иначе, масса единицы длины) может быть выражена следующим образом:

- в собственных единицах (мкг/м);
- в относительных единицах (ГОСТ 7500–85 [28]);
- количеством волокон в единице массы (именно таким способом в настоящее время и измеряется грубость волокон). Количество волокон технической целлюлозы в единице массы по различным оценкам составляет: хвойные породы (сосна, ель) — до 2–2,5 млн шт./г; береза — 7,5–8,5 млн. шт./г; осина — 10–11 млн шт./г. Однолетние растения — свыше 15 млн шт./г.

Следовательно, при прочих равных условиях именно грубость волокон будет определять шероховатость листа товарной целлюлозы. Таким образом, полученная корреляция между шероховатостью листа товарной целлюлозы и грубостью волокон растительной ткани имеет реальную физическую основу и не является случайным совпадением.

Список литературы

- [1] Кирсанкин А.А., Михалева М.Г., Никольский С.Н., Мусохранова А.В., Стовбун С.В. Прямой метод контроля качества поверхности мелованных видов бумаги // Химия растительного сырья, 2016. № 4. С. 157–161.
- [2] ГОСТ 30115–95 (ИСО 8791-1). Бумага и картон. Определение шероховатости/гладкости (методы с применением пропускания воздуха). Общие требования. М.: Изд. стандартов, 1999. 7 с.
- [3] ГОСТ 2789–73 (Рекомендация ИСО Р 486). Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. М.: Стандартиформ, 2006. 7 с.
- [4] МИ 41–75. Методика выполнения измерений параметров шероховатости поверхности по ГОСТ 2789–7 при помощи приборов профильного метода. М.: Изд-во стандартов, 1975. 18 с.
- [5] Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Техносфера, 2005. 144 с.

Т а б л и ц а 5

Соотношение между шероховатостью целлюлозы и переводным коэффициентом
The ratio between the roughness of the cellulose and the conversion factor

| Образец | Масса целлюлозы площадью 1 м ² , г | Белизна по ISO, % | Переводной коэффициент [28] | Шероховатость по методу АСМ Ra , нм |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Лиственная целлюлоза ЛС-1 (Архангельский ЦБК), Россия | 700 | 87 | 0,6 | 0,588 |
| Хвойная целлюлоза ХБ-2 | 650 | 86 | 0,9 | 0,975 |
| Хлопковая целлюлоза (ООО «Целлюлозный мир», г. Александров), Россия | 130...140 | 85 | 1 | 1,231 |
| Эвкалиптовая целлюлоза (Франция) | 850 | 88 | 0,6 | 0,767 |
| Полубеленая целлюлоза ПБ-1 (Сясьский ЦБК), Россия | 500 | 70 | 0,9 | 0,708 |

- [6] Сайт Birkner. URL: <https://www.paper-world.com/>
- [7] ISO 8503. Ч. 3: Метод калибровки компараторов профиля поверхности ИСО и определение профиля поверхности с применением микроскопа. М.: Изд-во стандартов, 2012. 18 с. URL: <http://www.standards.ru/document/4684662.aspx>
- [8] ISO 8503. Ч. 2: Метод классификации профиля стальной поверхности, очищенной обдувкой абразивом, с применением компараторов. Минск: Госстандарт, 2006. 11 с.
- [9] ГОСТ 19300–86. Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы-профилометры контактные. Типы и основные параметры. М.: Изд-во стандартов, 1986. 11 с.
- [10] ГОСТ Р 8.651–2009 ГСИ. Приборы контактные (шуповые) для измерений шероховатости поверхности. Методика калибровки. М.: Стандартинформ, 2009. 12 с.
- [11] Пашкевич М.Ф., Жолобов А.А., Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Пашкевич В.М. Исследования и изобретательство в машиностроении / под общ. ред. М.Ф. Пашкевича. Минск: Адукацыя і выхаванне, 2005. 287 с.
- [12] ГОСТ 12795–89 (ИСО 5627). Бумага и картон. Метод определения гладкости по Бекку. М.: Изд-во стандартов, 1989. 7 с.
- [13] ГОСТ 30022.2–93 (ISO 8791-2:2013). Бумага и картон. Метод определения шероховатости (метод с применением пропускания воздуха). Метод Бендтсена. Минск: Изд-во стандартов, 1999. 7 с.
- [14] ISO 8791–3:2005. Бумага и картон. Определение шероховатости/гладкости (методы определения воздухопроницаемости). Ч. 3: Метод Шеффилда. URL: <http://www.standards.ru/document/3634775.aspx>
- [15] DIN ISO 8791–4:2008-05. Paper and board – Determination of roughness/smoothness (air leak methods). Part 4. Print-surf method (ISO 8791–4:2007). Бумага и картон. Определение шероховатости/гладкости (методы определения воздухопроницаемости). Ч. 4: Метод испытания печатной поверхности. 26 с. URL: <http://www.standards.ru/document/4185956.aspx>
- [16] Вячеславова О.Ф., Бавыкин О.Б. Современные методы оценки качества поверхности деталей машин: учеб. пособие. М.: МАМИ, 2010. 74 с.
- [17] Жуков М.В. Контроль структуры различных видов бумаги методом атомно-силовой микроскопии // Науч.-техн. вестник информационных технологий, механики и оптики, 2014. № 1. С. 44–49.
- [18] Jandira Maria de O.B. Brandão, Natwrie S. M. Almeida, Pedro V.M. Dixini, Clertes H.A. Baier, Heloísa P. Dias, João F.P. Bassane, Hildegardo S. França, Samantha R.C. Silva, Gloria M.F.V. Aquije, Wanderson Romão. Documentoscopy by atomic force microscopy (AFM) coupled with Raman microspectroscopy: applications in banknote and driver license analyses // Analytical Methods, 2016, v. 8, no. 4, pp. 771–784.
- [19] Антоненко С.В. Создание композиционной графитовой бумаги с нанотрубками и изучение ее свойств с помощью СЗМ и ПЭМ // Научная сессия МИФИ, 2010. Т. 3. С. 34.
- [20] Кобенко В.Ю., Ихлазов С.З., Голунов А.В. Определение качества поверхности бумаги методом фрактального анализа // Омский науч. вестник, 2011. № 3 (103). С. 330–334.
- [21] Стефанов С., Тихонов В. Цвет ready-made, или Теория и практика цвета. М.: РепроЦЕНТР, 2005. 320 с.
- [22] Кларк Дж. Технология целлюлозы / пер. с англ. А.В. Оболенской, Г.А. Пазухиной. М.: Лесная пром-сть, 1983. 456 с.
- [23] Никольский С.Н., Гугнин М.Ю., Майлова А.А., Шалимова Т.В. Определение выхода сульфатной целлюлозы при варке в котлах непрерывного и периодического действия // Бумажная пром-сть, 1990. № 8. С. 10–11.
- [24] Никольский С.Н. Определение переводных коэффициентов полуфабрикатов щелочных и кислородно-щелочных способов варки // Бумажная пром-сть, 1989. № 6. С. 9–10.
- [25] Никольский С.Н., Гугнин М.Ю., Майлова А.А. Влияние выхода щелочных целлюлоз на переводной коэффициент // Химия древесины, 1987. № 5. С. 115–116.
- [26] Никольский С.Н., Гугнин М.Ю. Оценка линейной плотности волокон технической целлюлозы // Химия древесины, 1988. № 3. С. 38–40.
- [27] Никольский С.Н., Жалина В.А., Кокконен И.В., Ольшевская Н.Е. Определение переводных коэффициентов целлюлоз окислительных способов варки // Сб. тр. ЛТА «Технология бумаги и картона». Л.: ЛТА, 1989. С. 10–13.
- [28] ГОСТ 7500–85. Бумага и картон. Методы определения состава по волокну. М.: Изд-во стандартов, 1987. 50 с.

Сведения об авторах

Кирсанкин Андрей Александрович — канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник Института химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, aakirsankin@chph.ras.ru

Михалева Мария Геннадьевна — канд. физ.-мат. наук, инженер-исследователь Института химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, wawe@bk.ru

Политенкова Галина Григорьевна — научный сотрудник Института химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, g_politenkova@mail.ru

Никольский Сергей Николаевич — канд. хим. наук, старший научный сотрудник Института химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, nikolskij56@mail.ru

Стовбун Сергей Витальевич — д-р физ.-мат. наук, заведующий лабораторией Института химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, s.stovbun@chph.ras.ru

Статья поступила в редакцию 25.10.2017.

STUDYING THE TOPOGRAPHY OF MATERIALS ON CELLULOSE BASIS USING ATOMIC FORCE MICROSCOPY

A.A. Kirsankin, M.G. Mikhaleva, G.G. Politenkova, S.N. Nikolskiy, S.V. Stovbun

Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, Kosygina st., 4, Moscow, 119991

nikolskij56@mail.ru

The paper analyzes the surface of coated papers and cardboard types using atomic force microscopy (AFM). It is shown that the analysis of the surface of pulp and paper materials using AFM is quite versatile and provides an objective description of the roughness of various types of pulp and paper products. Unlike traditional «air» methods of quality control of pulp and paper products, which are standardized both in the ISO system and in the framework of national and industry standardization systems (GOST, DIN, SCAN, TAPPI), this method gives a direct image of the surface relief. The processing of the obtained images of the surface of the material with the use of software makes it possible to calculate the roughness according to the preferred parameter—the medium-non-arithmetic deviation of the profile (Ra) in full compliance with the requirements of GOST 2789-73 and the international recommendation on the standardization of ISO R 468. The results of this study do not contradict the data received standard (indirect) methods. It was found that in a number of cases with an equal indirect roughness index specified by the manufacturer, the calculation of the Ra parameter from the AFM data gives, in our opinion, more objective and accurate results. The method of direct analysis of the surface of paper and paperboard for polygraphy (materials with coated layer, supercalendered materials, etc.) used in the work can in the future be viewed as a method of objective control of the production processes of the basis for coating, preparation of pigments for coating compositions and the production of final products.

Keywords: roughness, smoothness, atomic force microscopy, coated paper, surface

Suggested citation: Kirsankin A.A., Mikhaleva M.G., Politenkova G.G., Nikolskiy S.N., Stovbun S.V. *Izuchenie topografii materialov na tsellyuloznoy osnove metodom atomno-silovoy mikroskopii* [Studying the topography of materials on cellulose basis using atomic force microscopy]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 88–93. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-88-93

References

- [1] Kirsankin A.A., Mikhaleva M.G., Nikol'skiy S.N., Musokhranova A.V., Stovbun S.V. *Pryamoy metod kontrolya kachestva poverkhnosti melovannykh vidov bumagi* [Direct methods of quality control of the surface of coated paper types]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2016, no. 4, pp. 157–161.
- [2] *GOST 30115–95 (ISO 8791–1). Bumaga i karton. Opredelenie sherokhovatosti/gladkosti (metody s primeneniem propuskaniya vozdukh)* [GOST 30115–95 (ISO 8791–1) Paper and paperboard. Determination of roughness / smoothness (methods with the use of air transmission). General requirements]. Moscow: Publishing House of Standards, 1999, 7 p.
- [3] *GOST 2789–73 (Rekomendatsiya ISO R 486). Sherokhovatost' poverkhnosti. Parametry i kharakteristiki* [GOST 2789–73 (Recommendation ISO R 486) Surface roughness. Parameters and characteristics]. Moscow: Standartinform, 2006, 7 p.
- [4] *MI 41–75. Metodika vypolneniya izmereniy parametrov sherokhovatosti poverkhnosti po GOST 2789–7 pri pomoshchi priborov profil'nogo metoda* [MI 41–75 Method for measuring the parameters of surface roughness in accordance with GOST 2789–7 using devices of the profile method]. Moscow: Publishing House of Standards, 1975, 18 p.
- [5] Mironov V.L. *Osnovy skaniruyushchey zondovoy mikroskopii* [Scanning probes of microscopy]. Moscow: Tekhnosfera [Technosphere], 2005, 144 p.
- [6] Birkner. Available at: <https://www.pper-world.com/>
- [7] *ISO 8503. Ch. 3: Metod kalibrovki komparatorov profilya poverkhnosti ISO i opredelenie profilya poverkhnosti s primeneniem mikroskopa* [ISO 8503. Part 3: Method for calibrating the ISO surface profile comparators and determining the surface profile using a microscope], 2012. Available at: <http://www.standards.ru/document/4684662.asp>
- [8] *ISO 8503. Ch. 2: Metod klassifikatsii profilya stal'noy poverkhnosti, ochishchennoy obduvkoy abrazivom, s primeneniem komparatorov* [ISO 8503. Part 2: Method for classifying the steel surface profile, cleaned by abrasive blasting, using comparators]. Minsk: Gosstandart, 2006, 11 p.
- [9] *GOST 19300–86. Sredstva izmereniy sherokhovatosti poverkhnosti profil'nym metodom. Profilografy-profilometry kontaktnye. Tipy i osnovnye parametry* [GOST 19300–86 Means for measuring the surface roughness by the profile method. Profile profilographs are not contactable. Types and basic parameters]. Moscow: Publishing House of Standards, 1986, 11 p.
- [10] *GOST R 8.651–2009 GSI. Pribory kontaktnye (shchupovye) dlya izmereniy sherokhovatosti poverkhnosti. Metodika kalibrovki* [GOST R 8.651–2009 of the ICG. Devices contact (feeler) for measuring surface roughness. Method of calibration]. Moscow: Standartinform, 2009.
- [11] Pashkevich M.F., Zholobov A.A., Mrochek Zh.A., Kozhuro L.M., Pashkevich V.M. *Issledovaniya i izobretatel'stvo v mashinostroeni. Pod obshch. red. M.F. Pashkevicha* [Research and invention in engineering]. Minsk: Adukatsiya i Vykhanava, 2005, 287 p.
- [12] *GOST 12795–89 (ISO 5627). Bumaga i karton. Metod opredeleniya gladkosti po Bekku* [GOST 12795–89 (ISO 5627). Paper and paperboard. Method for determining the smoothness of Beck]. Moscow: Publishing House of Standards, 1989, 7 p.
- [13] *GOST 30022.2–93 (ISO 8791–2:2013). Bumaga i karton. Metod opredeleniya sherokhovatosti (metod s primeneniem propuskaniya vozdukh)*. Metod Bendtsena [GOST 30022.2–93 (ISO 8791–2: 2013) Paper and paperboard. Method for determining the roughness (method with the use of air transmission). Bendzen's method]. Minsk: Publishing House of Standards, 1999, 7 p.
- [14] *ISO 8791–3:2005. Bumaga i karton. Opredelenie sherokhovatosti/gladkosti (metody opredeleniya vozdukhopronitsaemosti). Chast' 3: Metod Sheffilda* [ISO 8791–3: 2005. Paper and paperboard. Determination of roughness / smoothness (methods for

- determining air permeability). Part 3: Sheffield's method]. Available at: <https://www.standards.ru/document/3634775.asp>
- [15] DIN ISO 8791-4: 2008-05. Paper and board — Determination of roughness / smoothness (air leach method). Part 4: Print-surf method (ISO 8791-4: 2007). Available at: <http://www.standards.ru/document/4185956.asp>
- [16] Vyacheslavova O.F., Bavykin O.B. *Sovremennye metody otsenki kachestva poverkhnosti detaley mashin* [Modern methods of assessing the surface quality of machine parts]. Moscow: MAMI, 2010, 74 p.
- [17] Zhukov M.V. *Kontrol' struktury razlichnykh vidov bumagi metodom atomno-silovoy mikroskopii* [Control of the structure of various types of paper by the atomic-strength microscopy method]. Scientific and Technical J. Information Technologies, Mechanics and Optics, 2014, no. 1, pp. 44–49.
- [18] Jandira Maria de O.B. Brando, Natriee S.M. Almeida, Pedro V.M. Dichini, Sleres H.A. Bayer, Neolis P.Diaz, Jogo F.P. Bassane, Nildeguardo S. França, Samantha R.S. Silva, Gloria M.F.W. Awuije, Wenderson R. Documentoscopy by atomic force microscopy (AFM) coupled with Raman microspectroscopy: applications in banknote and driver license analyses. *Analytical Methods*, 2016, v. 8, no. 4, pp. 771–784.
- [19] Antonenko S.V. *Sozdanie kompozitsionnoy grafitovoy bumagi s nanotrubkami i izuchenie ee svoystv s pomoshch'yu SZM i PEM* [Creation of composition graphite paper with nanotubes and study of its properties with the help of SPM and TEM]. Nauchnaya srssiya MIFI [Scientific session of MEPhI], 2010, v. 3, p. 34.
- [20] Kobenko V.Yu., Ikhilazov S.Z., Golunov A.V. *Opreделение kachestva poverkhnosti bumagi metodom fraktal'nogo analiza* [Determination of the paper surface quality by the method of fractal analysis]. Omsk Scientific Bulletin, 2011, no. 3 (103), pp. 330–334.
- [21] Stefanov S., Tikhonov V. *Tsvet ready-made, ili Teoriya i praktika tsveta* [The color of the Rada-Mada or Theory and practice of color]. Moscow: Reprintsentr, 2005, 320 p.
- [22] Clark J. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Cellulose technology]. Translated from English by A.V. Obolenskoe, G.A. Pazukhinoi. Moscow: Lesnaya prom-st', 1983, 456 p.
- [23] Nikol'skiy S.N., Gugnin M.Yu., Maylova A.A., Shalimova T.V. *Opreделение vykhoda sul'fatnoy tsellyulozy pri varke v kotlakh nepreryvnogo i periodicheskogo deystviya* [Determination of the yield of sulfate pulp during cooking in continuous and periodic boilers]. *Bumazhnaya prom-st'* [Paper Industry], 1990, no. 8, pp. 10–11.
- [24] Nikol'skiy S.N. *Opreделение perevodnykh koefitsientov polufabrikatov shchelochnykh i kislorodno-shchelochnykh sposobov varki* [Determination of the transfer coefficients of semi-finished products of alkaline and oxygen-alkaline methods of cooking]. *Bumazhnaya prom-st'* [Paper Industry], 1989, no. 6, pp. 9–10.
- [25] Nikol'skiy S.N., Gugnin M.Yu., Maylova A.A. *Vliyaniye vykhoda shchelochnykh tsellyuloz na perevodnoy koefitsient* [Influence of the yield of alkaline celluloses on the translated coefficient] *Khimiya drevesiny* [Chemistry of Wood], 1987, no. 5, pp. 115–116.
- [26] Nikol'skiy S.N., Gugnin M.Yu. *Otsenka lineynoy plotnosti volokon tekhnicheskoy tsellyulozy* [Estimating the Linear density of technical cellulose fibers]. *Khimiya drevesiny* [Timber Chemistry], 1988, no. 3, pp. 38–40.
- [27] Nikol'skiy S.N., Zhalina V.A., Kokkonen I.V., Ol'shevskaya N.E. *Opreделение perevodnykh koefitsientov tsellyuloz oksislitel'nykh sposobov varki* [Determination of conversion factors of celluloses of oxidative cooking methods]. Collected works of LTA «Paper and cardboard technology». Leningrad: LTA, 1989, pp. 10–13.
- [28] *GOST 7500-85. Bumaga i karton. Metody opredeleniya sostava po voloknu* [GOST 7500-85. Paper and paperboard. Methods for determining the composition of the fiber]. Moscow: Publishing House of Standards, 1987, 50 p.

Author's information

Kirsankin Andrey Aleksandrovich — Cand. Sci. (Phys. and Math.), Researcher of the Semenov Institute of Chemical Physics RAS, aakirsankin@chph.ras.ru

Mikhaleva Mariya Gennad'evna — Cand. Sci. (Phys. and Math.), Research Engineer of the Semenov Institute of Chemical Physics RAS, wawe@bk.ru

Politenkova Galina Grigor'evna — Researcher of the Semenov Institute of Chemical Physics RAS, g_politenkova@mail.ru

Nicol'skiy Sergey Nikolaevich — Cand. Sci. (Chemica), Senior Researcher of the Semenov Institute of Chemical Physics RAS, nikolskij56@mail.ru

Stovbun Sergey Vital'evich — Dr. Sci. (Phys. and Math.), Head of Laboratory of Semenov Institute of Chemical Physics RAS, s.stovbun@chph.ras.ru

Received 25.10.2017.

УДК 674.047

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-94-99

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ

М.Г. Ермоченков, А.Г. Евстигнеев

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
ermochenkov@mgul.ac.ru

Термическая обработка древесины широко используется для улучшения ее свойств. Одним из видов такой обработки является термическое модифицирование. Термически модифицированная древесина может использоваться в качестве конструкционных и отделочных материалов. Это предполагает наличие информации о ее прочностных свойствах и их зависимости от степени модифицирования. Термическая обработка приводит к деструкции древесины, что сопровождается изменением ее структуры и свойств, в том числе и прочностных. Исследована длительная прочность древесных образцов при сжатии и ее изменение при термическом модифицировании. Материал при термообработке деструктурирует, что является сложным многостадийным физико-химическим процессом. Скорость его протекания определяется кинетическими параметрами термической деструкции, температурой, темпом нагрева и временем теплового воздействия. Приведены результаты экспериментальных исследований длительной прочности древесины при сжатии. Получены соответствующие кинетические параметры. Для определения зависимости кинетики механического разрушения от степени термической деструкции проведена термообработка образцов. Режимы теплового воздействия выбирались таким образом, чтобы термическое разложение древесины происходило с последовательным завершением отдельных стадий. Определена длительная прочность образцов после термообработки, рассчитаны соответствующие кинетические параметры. Предложена математическая модель зависимости длительной прочности древесных образцов при сжатии, учитывающая завершенность отдельных стадий термической деструкции. Она позволяет определять время разрушения образцов древесины сосны в зависимости от нагрузки, а также от интенсивности и времени термического модифицирования. Определены соответствующие коэффициенты, входящие в модель.

Ключевые слова: модифицированная древесина, свойства древесины, длительная прочность, термическая деструкция, кинетические параметры

Ссылка для цитирования: Ермоченков М.Г., Евстигнеев А.Г. Изменение прочностных свойств древесины при термическом модифицировании // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 94–99.
DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-94-99

Сейчас все более широкое применение находит термически модифицированная древесина (ТМД). Это связано с ее преимуществами по сравнению с немодифицированной древесиной. ТМД может использоваться в качестве конструкционных и отделочных материалов, что предполагает наличие информации о ее прочностных свойствах.

Цель работы

Цель работы — исследование длительной прочности древесных образцов при сжатии и ее изменение при термическом модифицировании, а также построение математической модели зависимости длительной прочности древесных образцов при сжатии с учетом завершенности отдельных стадий термической деструкции, что позволит определять время разрушения образцов древесины сосны в зависимости от нагрузки, интенсивности и времени термического модифицирования.

Методы и объекты исследования

В настоящее время сложились два основных подхода к описанию прочности материалов, ис-

пытывающих механические нагрузки. При первом деформация и разрушение твердых тел при механических воздействиях описываются методами математической механики. При втором разрушение материалов или объектов из этих материалов рассматривается как кинетический процесс, связанный с их атомарно-молекулярным строением. Объектом изучения становится термофлуктуационный процесс, развивающийся вследствие теплового движения атомов [1–3]. Разрушение твердого тела при механическом нагружении рассматривается как протекающий во времени последовательный разрыв межатомных связей. Долговечность твердого тела под нагрузкой является мерой средней скорости процесса разрушения, связанного с накоплением критического количества повреждений в материале. С.Н. Журковым была предложена формула, связывающая долговечность, напряжение и абсолютную температуру [3]. Для простых напряженных состояний, характеризуемых лишь одной компонентой σ , эта формула имеет вид

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{U_0 - \gamma\sigma}{RT}\right), \quad (1)$$

где τ — долговечность, с;

τ_0 — константа, равная периоду тепловых колебаний атомов в твердых телах около положения равновесия, $\tau_0 = 10^{-12} \dots 10^{-13}$ с;

U_0 — энергетическая константа материала, совпадающая по значению с энергией распада межатомных связей (энергия активации), Дж/моль;

γ — структурно-чувствительный коэффициент, (Дж·м²)/(моль·Н);

σ — напряжение, Па;

R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

T — абсолютная температура, К.

Приводя выражение (1) к линейному виду и записывая его для i -й точки, получаем систему уравнений

$$\ln\left(\frac{\tau_i}{\tau_0}\right)RT = U_0 - \gamma\sigma_i. \quad (2)$$

Термическая деструкция древесины при модифицировании вызывает изменение состава материала, его пористости и структуры и, как следствие, физических, химических и физико-механических свойств [4–8]. Термодеструкция древесины является многостадийным процессом [9, 10]. Протекание каждой стадии сопровождается разрушением определенной группы физико-химических связей. Это вызывает изменение характеристик материала. Таким образом, для учета влияния степени превращения на длительную прочность ТМД необходимо исследовать влияние каждой стадии на физико-механические свойства.

Результаты и обсуждение

После проведения термогравиметрических исследований термической деструкции материала определяются кинетические параметры, энергия активации E , частотный фактор A и относительная масса стадии ω [9, 11, 12]. В этом случае функция, устанавливающая связь времени до разрушения с нагрузкой и температурой, может быть представлена как алгебраическая сумма функций, учитывающих вклад каждой стадии в изменение свойств материала:

$$F(\tau_p, \sigma, T) = \sum_{i=0}^n f_i(\tau_p, \sigma, T), \quad (3)$$

Исходя из уравнения (3) формулу (1) можно записать в виде

$$\tau = \tau_0 \left(\exp\left(\frac{U_{0,0} - \gamma_0\sigma}{RT}\right) + \exp\left(\frac{U_{0,1} - \gamma_1\sigma}{RT}\right) f(\omega_1) + \dots + \exp\left(\frac{U_{0,n} - \gamma_n\sigma}{RT}\right) f(\omega_n) \right), \quad (4)$$

где $f(\omega)$ — функция завершенности стадии;

n — количество стадий термической деструкции.

Значения функций $f(\omega)$ должны изменяться от 0, если стадия не началась, до 1, если стадия закончилась:

$$f(\omega_i) = \frac{\omega_{i,\text{нач}} - \omega_i}{\omega_{i,\text{нач}}}, \quad (5)$$

где ω_i — текущая относительная масса i -й стадии;

$\omega_{i,\text{нач}}$ — начальная относительная масса i -й стадии.

Значения текущих масс стадий могут быть определены исходя из кинетических параметров термической деструкции исследуемого материала и его поля температур [8–10]:

$$\omega_n(T, \tau) = \omega_{0,n} \exp\left[-A_n \int_{\tau_k}^0 \exp\left(-\frac{E_n}{RT}\right) d\tau\right], \quad (6)$$

где $\omega_{0,n}$, A_n , E_n — кинетические параметры отдельных стадий термической деструкции.

Первый член в правой части уравнения (4) описывает долговечность материала до начала термической деструкции, второй член — изменение долговечности при завершении первой стадии, третий член — изменение долговечности при завершении второй стадии и т. д.

Значения структурно-чувствительных коэффициентов γ_i и энергетических констант $U_{0,i}$ для исходного материала и для каждой стадии термической деструкции определяются экспериментально с применением метода неопределенного разложения.

Данный подход позволяет описывать длительную прочность материалов, подвергающихся термической деструкции, независимо от температуры, закона ее изменения и времени нагрева.

Выполнены экспериментальные исследования долговременной прочности на сжатие поперек волокон образцов из древесины сосны. Влажность образцов $W = 10\%$, размеры: $10 \times 10 \times 10$ мм. Эксперименты проводились при постоянной температуре $T = 18 \dots 22$ °С при различных напряжениях.

На рис. 1 приведены типичные кривые изменения высоты образцов при постоянной механической и тепловой нагрузке $\sigma = 5 \cdot 10^6$ н/м² = const и $T = 293$ К = const. Угол наклона годовых колец у всех образцов составляет 45°. Из графиков видно, что разброс величин сжатия достигает 25%. Однако характер изменения высоты во всех экспериментах одинаков. Сначала образцы сжимались до определенного значения, и величина первоначального сжатия у образцов различная. Скорость дальнейшего сжатия у всех образцов одинакова.

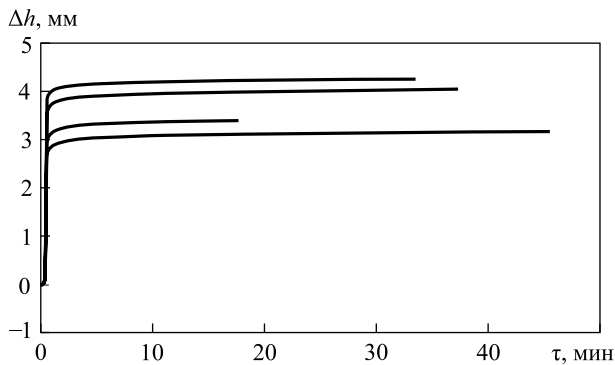


Рис. 1. Изменение высоты образцов при сжатии
Fig. 1. Change in the height of the specimens during compression

Это может быть связано с вариациями плотности образцов.

На рис. 2 приведены результаты исследования длительной прочности при сжатии образцов древесины сосны. Образцы для исследования выпиливали из одной заготовки с углом наклона годовых колец $\alpha \approx 45^\circ$. Вариации значений плотности

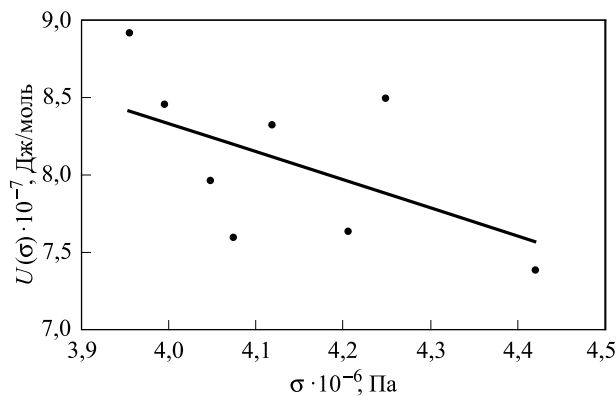


Рис. 2. Зависимость энергии $U(\sigma)$ активации процесса механического разрушения образцов древесины от приведенной нагрузки
Fig. 2. The dependence of the energy $U(\sigma)$ on the activation of the process of mechanical destruction of wood samples from the applied load

составляют до 12 %. Точки — экспериментальные данные, линия — расчетные данные.

Исследования показали, что образцы с меньшей плотностью имеют большее первоначальное сжатие. Для проверки зависимости приведем механическую нагрузку к плотности:

$$k_i = \frac{\rho_i}{\rho_{\max}}, \quad \bar{\sigma}_i = \frac{\sigma_i}{k_i}.$$

Здесь ρ_i и ρ_{\max} — плотность i -го образца и максимальная плотность образца соответственно; $\bar{\sigma}$ — приведенная нагрузка.

На рис. 3 приведены графики зависимости $U(\sigma)$ от приведенной механической нагрузки. Сравнение графиков на рис. 2 и 3 показывает, что

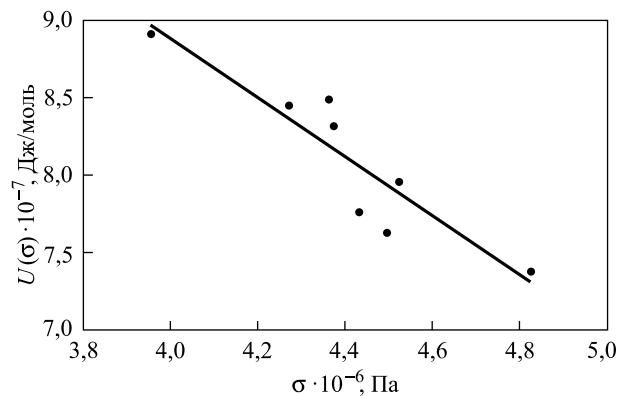


Рис. 3. Силовые зависимости $U(\sigma)$ энергии активации от приведенной нагрузки
Fig. 3. The force dependences $U(\sigma)$ of the activation energy on the reduced load

во втором случае дисперсия результатов значительно меньше. Среднеквадратичное отклонение экспериментальных значений $U(\sigma)$ от расчетной зависимости составляет $S = 3,9 \cdot 10^6$. При приведении нагрузки среднеквадратичное отклонение $U(\bar{\sigma})$ от расчета составляет $S = 2,1 \cdot 10^6$. Разброс экспериментальных значений уменьшился в два раза. Это означает, что кинетика механической деструкции зависит от начальной плотности образцов.

Проведены экспериментальные исследования длительной прочности при сжатии образцов, выпиленных из разных заготовок со средней плотностью $\rho = 580 \text{ кг/м}^3$. По результатам экспериментальных исследований при решении системы уравнений (2) методом наименьших квадратов определены средние кинетические параметры механодеструкции. Проведена статистическая обработка экспериментальных данных, полученные достоверные интервалы указанных параметров:

$$\tau_0 = 10^{-12} \text{ с},$$

$$U_0 = 1,522 \cdot 10^8 \pm 2,33 \cdot 10^7 \text{ Дж/моль},$$

$$\gamma = 12,9 \pm 6,103 \text{ (Дж} \cdot \text{м}^2\text{)/(моль} \cdot \text{Н)}.$$

Для определения изменения параметров длительной прочности при термической деструкции выполнены исследования кинетики разрушения образцов с непределным термическим разложением, проведен нагрев образцов с выходом половины первой стадии. Результаты исследования образцов, прошедших термообработку, приведены на рис. 4.

На рис. 5 приведены результаты механического разрушения при сжатии образцов после отжига первой и половины второй стадии.

Усредненные кинетические параметры механического разрушения образцов даны в табл. 1.

На рис. 6 даны для сравнения графики силовых зависимостей $U(\sigma)$ от приведенной на-

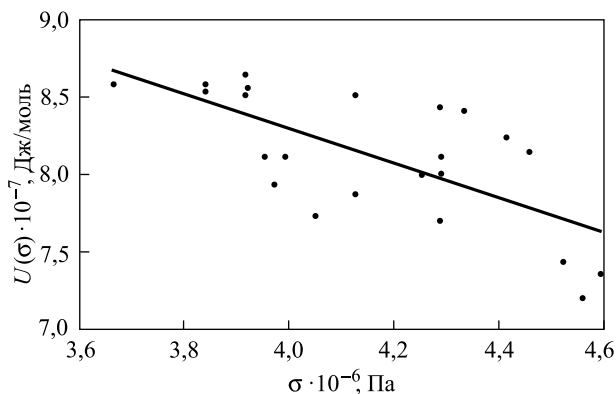


Рис. 4. Силовые зависимости энергии $U(\sigma)$ активации процесса механического разрушения образцов древесины после термообработки и выхода половины первой стадии от приведенной нагрузки

Fig. 4. The force dependences $U(\sigma)$ of the activation energy of the process of mechanical destruction of wood samples after heat treatment and the exit of the half of the first stage from the reduced load

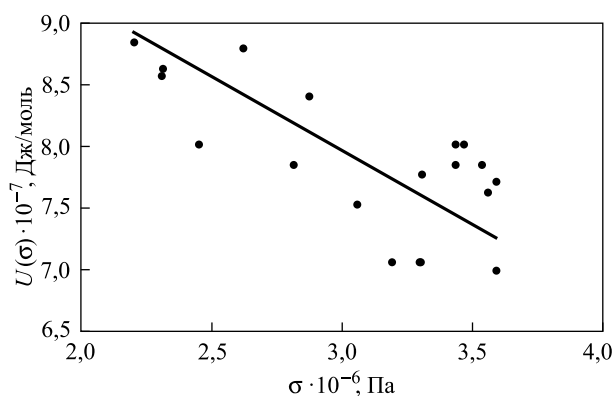


Рис. 5. Силовые зависимости энергии $U(\sigma)$ активации процесса механического разрушения образцов древесины после термообработки и выхода первой и половины второй стадии от приведенной нагрузки

Fig. 5. Force dependences $U(\sigma)$ of activation energy of the process of mechanical destruction of wood samples after heat treatment and the output of the first and half of the second stage from the given load

грузки для немодифицированной и модифицированной при разных режимах древесины. По результатам экспериментальных исследований (см. табл. 1) получена в явном виде формула (4). Для двух стадий термической деструкции уравнение имеет вид

$$\tau = \tau_0 \left(\exp\left(\frac{U_{0,0} - \gamma_0 \sigma}{RT}\right) - \exp\left(\frac{U_{0,1} - \gamma_1 \sigma}{RT}\right) f(\omega_1) - \exp\left(\frac{U_{0,2} - \gamma_2 \sigma}{RT}\right) f(\omega_2) \right). \quad (7)$$

Кинетические параметры определяли следующим образом:

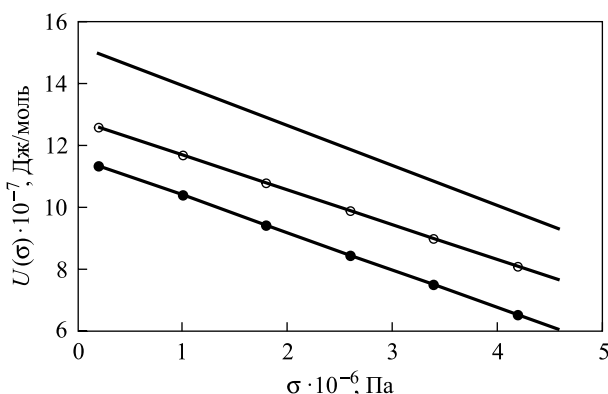


Рис. 6. Силовые зависимости энергии $U(\sigma)$ активации процесса механического разрушения образцов древесины: — не модифицированная древесина; —○— отжиг половины первой стадии; —●— отжиг первой стадии и половины второй

Рис. 6. Force dependences of energy $U(\sigma)$ for the activation of the process of mechanical destruction of wood samples: — unmodified wood; —○— annealing of half of the first stage; —●— annealing of the first stage and half of the second stage

Т а б л и ц а 1
Результаты расчетов кинетических параметров механической деструкции образцов сосны

Results of calculations of kinetic parameters of mechanical destruction of pine samples

| Образец | $\tau_{0, c}$ | $U_0, Дж/моль$ | $\gamma, (Дж \cdot м^2) / (моль \cdot Н)$ |
|---------------------------------------|---------------|--------------------|-------------------------------------------|
| Не модифицированная древесина | 10^{-12} | $1,522 \cdot 10^8$ | 12,9 |
| Отжиг половины первой стадии | 10^{-12} | $1,28 \cdot 10^8$ | 11,22 |
| Отжиг первой и половины второй стадии | 10^{-12} | $1,157 \cdot 10^8$ | 12,02 |

1) рассчитывали параметры $U_{0,0}$ и γ_0 из экспериментов с немодифицированной древесиной (в этом случае второй и третий члены в уравнении (6) равны 0);

2) отжигали древесину с выходом первой стадии, образцы испытывали на сжатие, по результатам определяли $U_{0,1}$ и γ_1 ;

3) материал отжигали с выходом первой и второй стадий, после испытаний рассчитывали кинетические параметры $U_{0,2}$ и γ_2 .

Получены доверительные интервалы кинетических параметров каждой стадии механодеструкции.

Функция $f(\omega)$ определяется из соотношения (5). Значения кинетических параметров τ, U, γ приведены в табл. 2.

Исследования потери прочности при сжатии образцов, подвергшихся модифицированию с выходом третьей и последующих стадий, не проводилось.

Т а б л и ц а 2
Результаты расчетов кинетических параметров механодеструкции для уравнения (6)
The results of calculating the kinetic parameters of mechanodestruction for equation (6)

| Стадия | $\omega_{\text{нач}}$ | t_0 , с | U_0 , Дж/моль | γ , (Дж·м ²)/ (моль·Н) |
|--------|-----------------------|------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 0 | – | 10^{-12} | $1,52200 \cdot 10^8 \pm 2,33 \cdot 10^7$ | $12,9 \pm 6,103$ |
| 1 | 0,023 | 10^{-12} | $1,521996 \cdot 10^8 \pm 1,458 \cdot 10^7$ | $12,901112 \pm 3,649$ |
| 2 | 0,077 | 10^{-12} | $1,333737 \cdot 10^8 \pm 1,086 \cdot 10^7$ | $12,065262 \pm 3,675$ |

Выводы

Зная время и интенсивность термического воздействия, можно определить текущие значения относительных масс первой и второй стадий термодеструкции (см. формулу (6)) и время до разрушения при сжатии образцов (см. формулу (7)).

Выполненная проверка адекватности предложенной модели длительной прочности материалов с различной степенью термической деструкции показывает удовлетворительное совпадение результатов экспериментальных и расчетных данных. Для полимерных композиционных материалов погрешность расчета по модели составляет до 15 %, для древесины — до 25 %. Это связано с неоднородностью древесины и наличием локальных особенностей строения.

Список литературы

[1] Регель В.Р., Слущер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука, 1974. 560 с.

Сведения об авторах

Ермоченков Михаил Геннадьевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), ermochenkov@mgul.ac.ru

Евстигнеев Алексей Георгиевич — заведующий лабораторией МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), evstigneev@mgul.ac.ru

- [2] Журков С.Н., Санфирова Т.П. Температурно-временная зависимость прочности чистых металлов // Доклады АН СССР, 1955. Т. 101. № 2. 237 с.
- [3] Журков С.Н., Томашевский Э.Е. Исследование прочности твердых тел. Ч. II: Зависимость долговечности от напряжения // Журнал технической физики, 1955. № 25 (1). 66 с.
- [4] Ермоченков М.Г. Прогнозирование свойств термически модифицированной древесины // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2010. № 4 (73). С. 111–115.
- [5] Slopiecka K., Bartocci P., Fantozzi F. Thermogravimetric analysis and kinetic study of poplar wood pyrolysis // 3rd Int. Conf. on Applied Energy (ICAЕ), Perugia, Italy, 2011 // Applied Energy, 2012, v. 97, pp. 491–497.
- [6] Srinivas K., Pandey K.K. Effect of Heat Treatment on Color Changes, Dimensional Stability, and Mechanical Properties of Wood // Journal of Wood Chemistry and Technology, 2012, v. 32, iss. 4, pp. 304–316.
- [7] Rautkari L., Honkanen J., Hill C.A.S., Ridley-Ellis D., Hughes M. Mechanical and physical properties of thermally modified Scots pine wood in high pressure reactor under saturated steam at 120, 150 and 180 A degrees C // European J. of Wood and Wood Products, 2014, v. 72, iss. 1, pp. 33–41.
- [8] Wetzig M., Sieverts T., Bergemann H. Mechanical and physical properties of wood, heat-treated with the vacuum press dewatering method // Bauphysik, 2012, v. 34, iss. 1, pp. 1–10.
- [9] Ермоченков М.Г. Кинетика термической деструкции древесины в среде инертных газов // Технология и оборудование для переработки древесины: сб. науч. тр. М.: МГУЛ, 2014. Вып. 370. С. 113–118.
- [10] Hongbo Yu, Fang Liu, Ming Ke, Xiaoyu Zhang. Thermogravimetric analysis and kinetic study of bamboo waste treated by Echinodontium taxodii using a modified three-parallel-reactions model // Bioresource Technology, 2015, v. 185, pp. 324–330.
- [11] Кладов М.Ю., Ермоченков М.Г. Исследование кинетических параметров механодеструкции композиционных материалов // Научн. тр. МГУЛ. М.: МГУЛ, 2005. Вып. 331. С. 193–202.
- [12] Шведов Б.А. Энерго- и массообмен в материалах тепловой защиты многоразовых ракетно-космических систем: дис. ... д-ра техн. наук. М.: МЛТИ, 1990. 542 с.

Статья поступила в редакцию 08.06.2017.

CHANGE OF WOOD PROPERTIES IN THERMAL MODIFICATION

M.G. Ermochenkov, A.G. Evstigneev

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

ermochenkov@mgul.ac.ru

Thermal treatment of wood is widely used to improve its properties. One such kind of treatment is thermal modification. Thermally modified wood can be used as structural and finishing materials. This implies the availability of information on its strength properties and their dependence on the degree of modification. Thermal treatment leads to the destruction of wood, which is accompanied by a change in its structure and properties, including strength. In the article, the long-term strength of wood samples under compression and its change during thermal modification was investigated. Material during heat treatment destroys, which is a complex multi-stage physico-chemical process. The rate of its flow is determined by the kinetic parameters of thermal destruction, temperature, heating rate and thermal action time. The article presents the results of experimental studies of the long-term strength of wood under compression. The corresponding kinetic parameters are obtained. To determine the dependence of the kinetics of mechanical failure on the degree of thermal destruction, heat treatment of the samples was carried out. The modes of heat exposure were selected in such a way that the thermal decomposition of the wood occurred with the consecutive completion of the individual stages. The determination of the long-term strength of the samples after heat treatment was carried out, the corresponding kinetic parameters were calculated. A mathematical model is proposed for the dependence of the long-term strength of wood samples under compression, taking into account the completeness of the individual stages of thermal destruction. It allows determine the time of destruction of pine wood samples depending on the load, as well as on the intensity and time of thermal modification. The corresponding coefficients in the model are determined.

Keywords: modified wood, wood properties, long-term strength, thermal degradation, kinetic parameters

Suggested citation: Ermochenkov M.G., Evstigneev A.G. *Izmenenie prochnostnykh svoystv drevesiny pri termicheskom modifitsirovani* [Change of wood properties in thermal modification]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 94–99. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-94-99

References

- [1] Regel' V.R., Slutsker A.I., Tomashevskiy E.E. *Kineticheskaya priroda prochnosti tverdykh tel* [The kinetic nature of the strength of solids]. Moscow: Nauka, 1974, 560 p.
- [2] Zhurkov S.N., Sanfirova T.P. *Temperaturno-vremennaya zavisimost' prochnosti chistyykh metallov* [Temperature-Time Dependence of the Strength of Pure Metals] *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 1955, v. 101, no. 2, 237 p.
- [3] Zhurkov S.N., Tomashevskiy E.E. *Issledovanie prochnosti tverdykh tel. II. Zavisimost' dolgovechnosti ot napryazheniya* [Investigation of the strength of solids. II. Dependence of the durability on the voltage]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*, 1955, no. 25 (1), 66 p.
- [4] Ermochenkov M.G. *Prognozirovaniye svoystv termicheski modifitsirovannoy drevesiny* [Forecasting the properties of thermally modified wood]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2010, no. 4 (73), pp. 111–115.
- [5] Slopiecka K., Bartocci P., Fantozzi F. Thermogravimetric analysis and kinetic study of poplar wood pyrolysis. 3rd Int. Conf. on Applied Energy (ICAPE), Perugia, Italy, 2011. *Applied Energy*, 2012, v. 97, pp. 491–497.
- [6] Srinivas K., Pandey K.K. Effect of Heat Treatment on Color Changes, Dimensional Stability, and Mechanical Properties of Wood. *Journal of wood chemistry and technology*, 2012, v. 32, iss. 4, pp. 304–316.
- [7] Rautkari L., Honkanen J., Hill C.A.S., Ridley-Ellis D., Hughes M. Mechanical and physical properties of thermally modified Scots pine wood in high pressure reactor under saturated steam at 120, 150 and 180 A degrees C. *European journal of wood and wood products*, 2014, v. 72, iss. 1, pp. 33–41
- [8] Wetzig M., Sieverts T., Bergemann H. Mechanical and physical properties of wood, heat-treated with the vacuum press dewatering method. *Bauphysik*, 2012, v. 34, iss. 1, pp. 1–10.
- [9] Ermochenkov M.G. *Kinetika termicheskoy destrukttsii drevesiny v srede inertnykh gazov* [Kinetics of thermal destruction of wood in an inert gas environment]. *Technology and equipment for wood processing: scientific works MGUL*. Moscow: MGUL, 2014, v. 370, pp. 113–118.
- [10] Hongbo Yu, Fang Liu, Ming Ke, Xiaoyu Zhang. Thermogravimetric analysis and kinetic study of bamboo waste treated by *Echinodontium taxodii* using a modified three-parallel-reactions model. *Bioresource Technology*, 2015, v. 185, pp. 324–330.
- [11] Kladov M.Yu., Ermochenkov. M.G. *Issledovanie kineticheskikh parametrov mekhanodestrukttsii kompozitsionnykh materialov* [Investigation of the kinetic parameters of mechanodestruction of composite materials] *Scientific works MGUL*. Moscow: MGUL, 2005, iss. 331, pp. 193–202.
- [12] Shvedov B.A. *Energo- i massoobmen v materialakh teplovooy zashchity mnogorazovykh raketno-kosmicheskikh sistem: dis. ... d-ra tekhn. nauk.* [Energy and mass transfer in the materials of thermal protection of reusable rocket and space systems: diss. ... Dr. Sci. (Tech.)]. Moscow: MLTI, 1990. 542 p.

Authors' information

Ermochenkov Mikhail Gennad'evich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), ermochenkov@mgul.ac.ru

Evstigneev Aleksey Georgievich — Head. of Laboratory of the BMSTU (Mytishchi branch), evstigneev@mgul.ac.ru

Received 08.06.2017.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРИЗОВАННОГО АРБОЛИТА, СОДЕРЖАЩЕГО ВСПУЧЕННЫЙ ПОЛИСТИРОЛЬНЫЙ ГРАВИЙ

А.М. Адамия, Н.В. Гренц, А.В. Соболев

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
adamiya@mgul.ac.ru

Проведены исследования физических свойств теплоизоляционно-конструкционного поризованного древесно-цементного материала — арболита, содержащего вспученный полистирольный гравий. Для получения из крупнопористой структуры арболита слитной структуры инертный органический наполнитель (древесная дробленка) был частично заменен вспученным полистирольным гравием, размеры которого соответствуют крупности пор. При выборе состава арболитовой смеси использованы результаты исследования влияния вспученного полистирольного гравия на структуру и прочность поризованного арболита марки М25 (В2). Рассмотрены: определение водопоглощения и коэффициент размягчения; стойкость при переменном водонасыщении и высушивании; морозостойкость. В табличном виде представлены результаты исследования всех вышеперечисленных физических свойств. Установлено, что через 48 ч водопоглощение опытного образца в среднем составляет 43,9 % по массе, что в 1,55; 1,7 и 1,8 раза ниже водопоглощения соответственно арболита, поризованного пеной, арболита, поризованного воздухововлекающей добавкой (СДО) и вибропркатного арболита аналогичных марок. Коэффициент размягчения у образца в сухом состоянии составляет 0,60, что на 20 % выше, чем у поризованного арболита в древесной дробленке. Коэффициент стойкости при поперечном водонасыщении и высушивании у образца в среднем в 1,6 раза выше, чем у арболита, поризованного пеной. Морозостойкость образца составляет 75 циклов.

Ключевые слова: поризованный, арболит, вспученный полистирол, дробленка, свойства

Ссылка для цитирования: Адамия А.М., Гренц Н.В., Соболев А.В. Физические свойства поризованного арболита, содержащего вспученный полистирольный гравий // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 100–104. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-100-104

Интенсивное развитие капитального строительства выдвигает в число актуальных задачу по применению местных строительных материалов, сделанных из отходов производства.

Одно из направлений дальнейшего развития производства эффективных конструкций на основе утилизации древесных отходов — применение конструкций и изделий из арболита, имеющего прочную сырьевую базу в виде отходов лесозаготовок и деревообработки. Этот материал является наиболее конкурентоспособным по физико-механическим и экономическим показателям, а также по совокупности затрат топливных ресурсов.

Важный фактор, определяющий характеристики арболита, — его структура, которая зависит от соотношения компонентов смеси [1, 2]. Так как у древесной дробленки большая межзерновая пустотность и высокоразвитая удельная поверхность, арболит из дробленки имеет крупнопористую структуру несмотря на большой расход цемента [3].

Цель работы

Цель настоящей работы — улучшение эксплуатационных характеристик поризованного арболита путем модифицирования его структуры и изучение физических свойств полученного материала. Для получения слитной структуры арболита древесную дробленку в составе смеси

частично заменили легким, менее водопоглощающим, материалом — вспученным полистирольным гравием марки ПСБ-25.

Материалы и методы

Для изготовления поризованного арболита в качестве инертного наполнителя использовали древесную дробленку и вспученный полистирольный гравий, в качестве вяжущего — портландцемент марки 400. Применяли также химические добавки: смолу древесную омыленную, хлорид кальция, жидкое стекло. Для приготовления растворов химических добавок и бетонной смеси употребляли воду.

Физические свойства поризованного арболита при частичной замене древесного наполнителя вспученным полистирольным гравием (ПАП) исследованы на образцах марки М25 (В2). В предварительных экспериментах были установлены: объем и крупность вспученного полистирольного гравия; объем и размеры древесной дробленки; расходы цемента, химических добавок и воды для изготовления 1 м³ поризованного арболита [4].

Состав бетона рассчитывали по объемной массе свежееуложенной смеси. При подборе состава бетонной смеси применяли математическое планирование — метод оценки влияния расхода цемента и объема вспученного полистирола на прочность арболита.

При подборе компонентов арболита руководствовались тем, что теплоизоляционно-конструкционный легкий бетон для наружных стеновых панелей должен отвечать определенным требованиям: иметь минимальную плотность при заданной марке по прочности, минимальную отпускную влажность, низкий коэффициент теплопроводности, высокую морозостойкость, а также соответствовать ряду других нормируемых показателей.

Результаты и обсуждение

Проведены исследования следующих физических свойств поризованного теплоизоляционно-конструкционного арболита (ПАП).

1. *Водопоглощение и коэффициент размягчения.* Как известно, арболит имеет высокое водопоглощение. По данным [5, 6], весовое водопоглощение арболита за 24 ч пребывания образцов в воде составляет 46...49 %. Согласно [6], водопоглощение арболита на дробленке — 30...80 % по массе. Коэффициент размягчения цементного арболита, по данным [7, 8], при максимальном водопоглощении может снижаться до 0,5. В среднем же этот показатель для вибропркатного арболита равен 0,67 [9].

Для определения водопоглощения и коэффициента размягчения ПАП были изготовлены образцы — кубы размером 10×10×10 см, твердевшие в нормальных условиях в течение 28 сут. Образцы погружали в воду и взвешивали через разные промежутки времени (от 0,5 до 48 ч). После определения водопоглощения образцы

прошли испытания по прочности на сжатие. Результаты испытаний приведены в табл. 1 и 2.

Анализируя результаты этих исследований, можно отметить, что водопоглощение у ПАП составило в среднем по массе 43,9 %, что в 1,55; 1,7 и 1,82 раза ниже, чем у арболита, поризованного пеной, арболита, поризованного воздухововлекающей добавкой (СДО) и вибропркатного арболита аналогичных по прочности марок М25 (В2). Коэффициент размягчения у ПАП достаточно высок и в среднем составляет 0,82, что на 26,5 % выше, чем у арболита, поризованного пеной, на 8,0 % — арболита, поризованного воздухововлекающей добавкой и на 20,8 % выше, чем у вибропркатного арболита.

2. *Стойкость при попеременном водонасыщении и высушивании.* Стойкость цементного арболита при попеременном водонасыщении, и высушивании, по данным НИИЖБ [7, 10], невысокая. Через 5 циклов прочность его снижается на 30...35 %, через 10 циклов — на 35...50 %. По мнению авторов [10, 11], снижение прочности арболита при высушивании происходит вследствие усушки древесного заполнителя и нарушения его сцепления по контакту с растворной частью. Существенное влияние на снижение прочности арболита при циклическом воздействии водонасыщения и высушивания оказывают различия во влажностной деформации разных компонентов арболита. Водонасыщение приводит к набуханию древесного заполнителя, что усугубляет деструктивные процессы.

Т а б л и ц а 1

Водопоглощение ПАП, % по массе, через разные промежутки времени
Water absorption of expanded polystyrene gravel, % by mass, at different time intervals

| № образца | Промежуток времени, ч | | | | | | |
|------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,5 | 1 | 2 | 4 | 6 | 24 | 48 |
| 1 | 28,1 | 31,1 | 33,5 | 35,4 | 37,6 | 41,9 | 46,2 |
| 2 | 27,0 | 30,0 | 31,4 | 33,2 | 34,5 | 37,7 | 41,5 |
| 3 | 27,7 | 30,8 | 32,6 | 34,1 | 36,1 | 39,9 | 44,0 |
| Среднее значение | | | | | | | 43,9 |

Т а б л и ц а 2

Коэффициент размягчения ПАП
Softening factor in pored expanded polystyrene gravel

| № образца | Средняя плотность в сухом состоянии, кг/м ³ | Прочность образцов при сжатии, МПа | | | Коэффициент размягчения | |
|------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| | | в сухом состоянии (R_c) | с естественной влажностью (R_c) | в водонасыщенном состоянии ($R_{вн}$) | $\frac{R_{вн}}{R_c}$ | $\frac{R_{вн}}{R_c}$ |
| 1 | 610 | 2,03 | 2,68 | 1,66 | 0,82 | 0,62 |
| 2 | 595 | 1,85 | 2,54 | 1,49 | 0,81 | 0,59 |
| 3 | 605 | 1,96 | 2,70 | 1,62 | 0,83 | 0,60 |
| Среднее значение | | | | | 0,82 | 0,60 |

Т а б л и ц а 3

Изменения стойкости ПАП при попеременном водонасыщении и высушивании
Changes in the stability of expanded polystyrene gravel with alternate water saturation and drying

| № образца | 5 циклов | | | 10 циклов | | |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| | Прочность образцов при сжатии, МПа | | Отношение ($R_{п}/R$) | Прочность образцов при сжатии, МПа | | Отношение ($R_{п}/R$) |
| | Контрольные (R) | Подвергавшиеся испытаниям ($R_{п}$) | | Контрольные (R) | Подвергавшиеся испытаниям ($R_{п}$) | |
| 1 | 2,60 | 2,21 | 0,85 | 2,69 | 1,98 | 0,74 |
| 2 | 2,55 | 2,04 | 0,80 | 2,60 | 1,82 | 0,70 |
| 3 | 2,64 | 2,27 | 0,86 | 2,70 | 2,05 | 0,76 |

Результаты испытаний ПАП на морозостойкость
Test results of frost resistance in pored expanded polystyrene gravel

| Прочность контрольных образцов, МПа | Количество морозосмен | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------|--------------------|
| | 25 | | 35 | | 50 | | 75 | |
| | Прочность при сжатии, МПа (над чертой), % (под чертой) | Потеря по массе, % | Прочность при сжатии, МПа (над чертой), % (под чертой) | Потеря по массе, % | Прочность при сжатии, МПа (над чертой), % (под чертой) | Потеря по массе, % | Прочность при сжатии, МПа (над чертой), % (под чертой) | Потеря по массе, % |
| 2,56 | $\frac{2,54}{99}$ | 0,5 | $\frac{2,46}{96}$ | 1,0 | $\frac{2,34}{91}$ | 1,7 | $\frac{2,19}{86}$ | 2,5 |
| 2,69 | $\frac{2,69}{100}$ | 0 | $\frac{2,61}{97}$ | 0,5 | $\frac{2,48}{94}$ | 1,2 | $\frac{2,42}{90}$ | 2,1 |
| 2,51 | $\frac{2,45}{98}$ | 0,8 | $\frac{2,35}{94}$ | 1,5 | $\frac{2,26}{90}$ | 2,3 | $\frac{2,16}{86}$ | 3,0 |
| 2,46 | $\frac{2,40}{98}$ | 0,9 | $\frac{2,29}{93}$ | 1,4 | $\frac{2,19}{89}$ | 2,1 | $\frac{2,08}{85}$ | 2,9 |
| 2,60 | $\frac{2,60}{100}$ | 0 | $\frac{2,53}{97}$ | 0,8 | $\frac{2,44}{94}$ | 1,5 | $\frac{2,30}{88}$ | 2,4 |

Результаты испытания стойкости ПАП при попеременном водонасыщении и высушивании приведены в табл. 3.

Как видно из полученных данных, в процессе попеременного увлажнения и высушивания происходит снижение прочности. Через 5 циклов прочность ПАП снижается в среднем на 16 % от исходной прочности, через 10 циклов — на 27 %. Снижение прочности в результате действия влажностных деформаций у ПАП значительно ниже, чем у арболита, поризованного пеной. Коэффициент стойкости при попеременном водонасыщении и высушивании через 10 циклов у ПАП выше, чем у арболита, поризованного пеной, в среднем в 1,6 раза. Полученный эффект повышения коэффициента стойкости можно объяснить меньшей усадкой и меньшим набуханием ПАП.

3. *Морозостойкость.* Исследовали 5 образцов размером 10×10×10 см по ГОСТ 10060–2012. Контрольная прочность на сжатие составляет 2,46...2,69 МПа. Результаты исследований морозостойкости ПАП приведены в табл. 4.

Анализируя данные табл. 4, можно отметить, что образцы из ПАП выдержали 75 циклов попеременного замораживания и оттаивания. При этом среднее значение коэффициента морозостойкости составило 0,78. Для сравнения: морозостойкость цементного арболита составляет 25–35 циклов [5], а поризованный цементный арболит выдерживает 50–75 циклов [12]. Повышенная морозостойкость ПАП обусловлена прежде всего его пониженным водопоглощением. Не менее важным фактором повышения морозостойкости ПАП является наличие в структуре легко деформируемого материала (пенополистирольного гравия), который снимает напряжения, возникающие при замерзании воды.

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Водопоглощение поризованного арболита при частичной замене древесной дробленки вспученным полистирольным гравием составило в среднем 43,9 %, что в 1,83 раза ниже, чем водопоглощение арболита на древесной дробленке.

2. Коэффициент размягчения у ПАП более чем на 20 % выше по сравнению с таким же показателем у арболита на древесной дробленке.

3. Коэффициент стойкости через 10 циклов попеременного водонасыщения и высушивания у ПАП в 1,6 раза выше, чем у арболита, поризованного пеной.

4. Морозостойкость ПАП составляет 75 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Список литературы

- [1] Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 343 с.
- [2] Рыбьев И.А., Клименко М.И. Исследование общих закономерностей в структуре и свойствах арболита // Строительство и архитектура, 1972. № 2. С. 77–82.
- [3] Алимов Л.А. Исследование влияния структурных характеристик на основные физико-механические свойства бетонов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1970. 60 с.
- [4] Савин В.И., Адамия А.М., Широкова О.А. Влияние вспученного полистирола на свойства поризованной арболитовой смеси и арболита // Науч. тр. МЛТИ, 1989. Вып. 216. С. 79–86.
- [5] Щербаков А.С., Хорошун И.П., Подчуфаров В.С. Арболит. Повышение качества и долговечности. М.: Лесная пром-сть, 1979. 160 с.
- [6] Щербаков А.С., Путляев И.Е., Адамия А.М. Снижение водопотребности арболита на основе отходов древе-

- сины // Композиционные строительные материалы и использование отходов промышленности: Тез. докл. к зональной конф., г. Пенза, 10–11 октября 1988 г., Пензенский дом науч.-техн. пропаганды. Пенза: ПДНТП, 1988. С. 77–78.
- [7] Арболит / под. ред. Г.А. Бужевича. М.: Изд-во литературы по строительству, 1968. 244 с.
- [8] Наназашвили И.Х. Арболит — эффективный строительный материал. М.: Стройиздат, 1984. 120 с.
- [9] Беленький Ю.С., Кудрявцев А.А. Свойства вибропрокатного арболита // Бетон и железобетон, 1975. № 3. С. 21–22.
- [10] Абраменков Н.И. Поризованный цементный арболит на древесных заполнителях: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: НИИЖБ, 1980. С. 18.
- [11] Гуревич А.А. Теоретические и экспериментальные исследования факторов, влияющих на прочность арболита на древесной дробленке: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МЛТИ, 1980. 25 с.
- [12] Савин В.И., Абраменков Н.И. Поризованный арболит // Науч. тр. МЛТИ, 1982. Вып. 121. С. 11–16.

Сведения об авторах

Адамия Анзор Михайлович — канд. техн. наук, доцент кафедры промышленного транспорта и строительства лесотехнического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), adamiya@mgul.ac.ru

Гренц Наталья Васильевна — старший преподаватель кафедры экологии и промышленной безопасности космического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), grents@mgul.ac.ru

Соболев Алексей Викторович — канд. техн. наук, доцент кафедры экологии и промышленной безопасности космического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), asobolev@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 15.11.2017.

PHYSICAL PROPERTIES OF PORED WOOD CONCRETE CONTAINING EXPANDED POLYSTYRENE GRAVEL

A.M. Adamiya, N.V. Grents, A.V. Sobolev

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

adamiya@mgul.ac.ru

The article deals with the examination of the physical properties of the heat-insulating-structural porous wood-cement material, i.e. wood concrete containing expanded polystyrene gravel. To obtain a coarse-pored structure of the wood concrete of solid structure, the inert organic filler (hogged chips) was partially replaced by expanded polystyrene gravel having the size of the pores. The results of the examination of the influence of expanded polystyrene gravel on the structure and strength of porous wood concrete of grade M25 (B2) were used when choosing the composition of the wood concrete mixture. The article examines the following physical properties of the porous wood concrete such as water absorption, maceration coefficient; resistance to alternating water absorption and drying; frost resistance. The results of the study of all the above physical properties are presented in the table. It was found that after 48 hours the water absorption by weight percent is 43,9 % on average, which is 1,55; 1,7 and 1,8 times less than the water absorption of wood concrete with porous foam, air-entraining admixture (CDO) and vibration rolled wood concrete of similar grades. The coefficient of maceration in a dry state averages 0,82 and in water-saturated state it makes up 0,60, which is 20 % higher than in the pored wood concrete containing hogged chips. The coefficient of resistance for transverse water absorption and drying is 1,6 times higher on average than in wood concrete with porous foam. Frost resistance is 75 cycles.

Keywords: pored, wood concrete, expanded polystyrene, hogged chips, properties

Suggested citation: Adamiya A.M., Grents N.V., Sobolev A.V. *Fizicheskie svoystva porizovannogo arbolita, sodержashchego vspuchenny polistirol'nyy graviy* [Physical properties of pored wood concrete containing expanded polystyrene gravel]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 100–104. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-100-104

References

- [1] Sheykin A.E., Chekhovskiy Yu.V., Brusser M.I. *Struktura i svoystva tsementnykh betonov* [Structure and properties of cement concretes]. Moscow: Stroizdat Publ., 1979, 343 p.
- [2] Ryb'ev I.A., Klimenko M.I. *Issledovanie obshchikh zakonornostey v strukture i svoystvakh arbolita* [Investigation of general regularities in the structure and properties of arbolite]. *Construction and architecture*, 1972, no. 2, pp. 77–82.
- [3] Alimov A.A. *Issledovanie vliyaniya strukturnykh kharakteristik na osnovnye fiziko-mekhanicheskie svoystva betonov* [Investigation of the influence of structural characteristics on the basic physical and mechanical properties of concrete]. Author's abstract diss. ... Cand. Sci (Tech.). Moscow, 1970, 60 p.
- [4] Savin V.I., Adamiya A.M., Shirokova O.A. *Vliyanie vspuchennogo polistirola na svoystva porizovannoy arbolitovoy smesi i arbolita* [Influence of expanded polystyrene on the properties of a porous arbolite mixture and arbolite]. *Scientific Proceedings MSFU*, 1989, iss. 216, pp. 79–86.
- [5] Shcherbakov A.S., Khoroshun I.P., Podchufarov V.S. *Arbolit. Povyshenie kachestva i dolgovechnosti* [Arbolite. Improved quality and durability]. Moscow: Forest Industry, 1979, 160 p.
- [6] Shcherbakov A.S., Putlyaev I.E., Adamiya A.M. *Snizhenie vodopotrebnosti arbolita na osnove otkhodov drevesiny* [Reduction of the water demand of arbolite based on wood waste]. *Composite building materials and use of industrial wastes: Abstracts Proc. to the Zonal Conf.*, Penza, 10–11 October 1988, Penza House of Scientific and Technical Propaganda. Penza: PDNTP Publ., 1988, 244 p.
- [7] *Arbolit* [Arbolite]. Ed. G.A. Buzhevich. Moscow: Literature on Construction Publ., 1968, 244 p.
- [8] Nanazashvili I.Kh. *Arbolit — effektivnyy stroitel'nyy material* [Arbolite is an effective building material]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1984, 244 p.
- [9] Belenkiy Yu.S., Kudryavtsev A.A. *Svoystva vibroprokatnogo arbolita* [Properties of vibration rolled arbolite]. *Concrete and reinforced concrete*, 1975, no. 3, pp. 21–22.
- [10] Abramnikov N.I. *Porizovanny tsementnyy arbolit na drevesnykh zapolnitelyakh* [Pored cement arbolite on wood aggregates]. Author's abstract. diss. ... Cand. Sci (Tech.). Moscow: NIIZhB, 1980, 22 p.
- [11] Gurevich A.A. *Teoreticheskoe i eksperimental'noe issledovanie faktorov, vliyayushchikh na prochnost' arbolita na drevesnoy droblenke* [Theoretical and experimental study of factors affecting the transparency of arbolite on wood crushed stone]. Author's abstract. diss. ... Cand. Sci (Tech.). Moscow: MLTI, 1980, 25 p.
- [12] Savin V.I., Abramnikov N.I. *Porizovanny arbolit* [Pored arbolite]. *Scientific Proceedings MSFU*, 1982, iss. 121, pp. 11–16.

Authors' information

Adamiya Anzor Mikhaylovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of Department of Industrial Transport and Construction of BMSTU (Mytishchi branch), adamiya@mgul.ac.ru

Grents Natal'ya Vasil'evna — Senior Teacher of the Department of Ecology and Industrial Safety of BMSTU (Mytishchi branch), grents@mgul.ac.ru

Sobolev Alexey Viktorovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of Department of Ecology and Industrial Safety of BMSTU (Mytishchi branch), asobolev@mgul.ac.ru

Received 15.11.2017.

ХИМИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА БАКАЛАВРИАТА ДЛЯ ЛЕСНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ. МИРОВОЙ ОПЫТ В СОПОСТАВЛЕНИИ УНИВЕРСИТЕТОВ США И РОССИИ

Ю.В. Сердюкова¹, С.М. Тарасов¹, О.П. Прошина¹, Г.Л. Олиференко¹,
В.А. Беляков¹, Г.Н. Фадеев², А.Н. Иванкин¹

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мы-тищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5

aivankin@inbox.ru

В статье рассмотрена проблема практического высокоинтеллектуального обучения сложным естественно-уачным дисциплинам (на примере химии) студентов, обучающихся в ведущих российских технических университетах нехимического профиля в сравнении с американскими университетами. Обсуждено влияние активных методов обучения и сделан вывод о целесообразности использования учебных деловых игр в качестве инструмента интенсификации учебного процесса в преподавании дисциплин специализации при подготовке бакалавров в МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), по существующему в Российской Федерации направлению подготовки студентов 18.03.01 «Химическая технология». Показано, что правильно разработанная игровая технология, примененная на старших курсах во время аудиторных занятий или в период прохождения студентами производственной практики, позволяет комплексно охватить ряд дисциплин в их взаимосвязи, поставить студента в обстановку условной действительности, требующую от него умения применить полученные знания и навыки. Проводимые в период преддипломной практики имитационные деловые игры способствуют не только формированию умений и навыков, которые потребуются выпускникам в практической работе, но и успешному прохождению итоговой государственной аттестации. Такие обучающие технологии носят межпредметный характер. Проведено сравнение особенностей изучения общей химии — базовой учебной дисциплины для большинства лесных специальностей — в отечественных и зарубежных условиях. Отмечена исключительная важность использования химического практикума как эффективно развивающего студентов обучающего инструмента для повышения результативности итоговой сдачи экзаменов по химии. Как в зарубежных университетах, так и в МГТУ им. Н.Э. Баумана, студенты после практического выполнения экспериментов сдавали экзамены по химии на 23...76 % результативнее, что, по мнению авторов, является следствием успешного прохождения химического лабораторного практикума. Проведенное сопоставление эффективности лабораторно-практических и организационно-коммуникативных аспектов химического образования в ведущих зарубежных и российских университетах показывает, что техническое образование в области химии в промышленно развитых странах находится практически на одном и том же уровне.

Ключевые слова: химия, бакалавриат, МГТУ им. Н.Э. Баумана, университеты США

Ссылка для цитирования: Сердюкова Ю.В., Тарасов С.М., Прошина О.П., Олиференко Г.Л., Беляков В.А., Фадеев Г.Н., Иванкин А.Н. Химическая подготовка бакалавриата для лесных специальностей. Мировой опыт в сопоставлении университетов США и России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018, Т. 22, № 1. С. 105–111. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-105-111

Успех образовательного процесса во многом зависит от применяемых методов обучения, т. е. способов совместной деятельности преподавателей и студентов, направленных на достижение ими образовательных целей. Это особенно важно при обучении сложным естественно-научным дисциплинам, таким как экспериментальная химия и химическая технология, с использованием интенсивных обучающих технологий [1].

Для преподавания сложных дисциплин применяются активные методики обучения (АМО). Активные методы обучения — это такие методы, при которых деятельность обучаемого носит продуктивный, творческий, поисковый характер. АМО обладают рядом достоинств. Во-первых, активизируют мышление студентов самой технологией учебного процесса. Во-вторых, активность, приобретенная студентами с помощью АМО,

длительна и устойчива. В-третьих, они стимулируют самостоятельное принятие студентами творческих по своему содержанию, мотивационно оправданных действий и решений. В-четвертых, в любом АМО процесс обучения построен на коллективной основе и по определенному алгоритму. В-пятых, АМО повышают эффективность обучения не за счет увеличения объема информации, а благодаря глубине и скорости ее усвоения.

Принцип активности обучающегося в процессе обучения подразумевает такое качество деятельности, которое характеризуется высоким уровнем мотивации, осознанной потребностью в усвоении знаний и умений, результативностью. Такого рода активность сама по себе возникает не часто, она является следствием целенаправленных педагогических действий и организации педагогической среды, т. е. применяемых педагогических технологий [2].

Любая технология обладает средствами, активизирующими и интенсифицирующими деятельность обучающихся, в некоторых же технологиях эти средства составляют главную идею и основу эффективности результатов. К таким технологиям можно отнести игровые технологии, в том числе деловые игры, оказывающие целенаправленное воздействие на каждого студента, его личностные установки, а так же оптимизирующие совместную деятельность в группе.

Учебная деловая игра — это специально организованное мероприятие, интегрирующее профессиональную деятельность, направленную на формирование и отработку профессиональных умений и навыков.

Учебная деловая игра активизирует учебный процесс и по сравнению с традиционной формой проведения практических занятий, имеет некоторые преимущества. Она обуславливает не только заинтересованность каждого из ее участников в более глубоком знании изучаемой проблемы, но и предоставляет им возможность формировать и повышать профессиональное мастерство. В то же время деловая игра способствует выявлению таких качеств личности, как дисциплинированность, ответственность, чувство долга, умение взаимодействовать с коллективом, обеспечивает большую эмоциональную включенность обучающихся в образовательный процесс.

Традиционно деловые игры применяют в экономических и управленческих дисциплинах. Однако наш опыт позволяет сделать вывод, о целесообразности использования учебных деловых игр в качестве инструмента интенсификации учебного процесса в преподавании дисциплин специализации при подготовке бакалавров в МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) по направлению 18.03.01 «Химическая технология» [3].

Правильно разработанная игровая технология, примененная на старших курсах во время аудиторных занятий или в период прохождения студентами производственной практики, позволяет комплексно охватить ряд дисциплин в их взаимосвязи, поставить студента в обстановку условной действительности, требующую от него умения применить полученные знания и навыки.

Например, проводимые в период преддипломной практики имитационные деловые игры, способствуют не только формированию умений и навыков, которые потребуются выпускникам в дальнейшей работе, но и успешному прохождению итоговой государственной аттестации. Такие обучающие технологии носят межпредметный характер, поэтому в их разработке принимают участие преподаватели нескольких учебных дисциплин, определяя учебные задачи по каждому предмету. На кафедре химии МГТУ

им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) они применяются при обучении студентов специальным дисциплинам: «Производство целлюлозных композиционных материалов», «Свойства волокнистых полуфабрикатов, бумаги и картона», «Общая химическая технология», «Оборудование предприятий» и др.

Например, во время проведения практического занятия на Караваевской бумажной фабрике, имитирующего производственное совещание, с целью выявления причин несоответствия показателей качества продукции нормам и определения способа устранения недостатков, от студентов требовалось не только знание учебных дисциплин, т. е. подтверждение полученных профессиональных умений, но и способность анализировать конкретные практические ситуации и принимать решения. Поставленные задачи предусматривали понимание всего производственного цикла: контроля качества сырья, технологических режимов подготовки массы, параметров работы бумагоделательной машины и т. д.

Однако все вышеупомянутые и другие специальные дисциплины химического блока учебных дисциплин, в том числе и большинство учебных дисциплин лесных специальностей, базируются на программе изначальной подготовки по общей химии.

Важнейшей стороной подготовки студентов по химическим технологиям является использование практической лабораторной работы в обучении. Так, проведенные в 40 ведущих университетах США исследования показали, что 60 % из них, реализуют учебные программы, в которых предполагается обучение в лабораториях. Химический практикум является обязательной частью учебной программы [4].

В России Федеральными государственными образовательными стандартами обучение общей химии предусматривает обязательное использование химического лабораторного практикума как неотъемлемого компонента при формировании компетенций химической направленности [5, 6].

Лаборатории могут помочь студентам развивать научное мышление, научные способности, интеллектуальные способности и концептуальное понимание. Интерес учащихся к конкретным видам деятельности, таким как экспериментирование, структурирование природных растительных материалов и работа с реальным исследовательским оборудованием (например, с микроскопом — для контингента лесных специальностей) достаточно высокий. Результаты обучения значительно выше, если учащиеся имеют практический лабораторный опыт [7, 8].

Однако, хотя лаборатории рассматриваются как фундаментальная часть научного курса и счи-

таются важными и необходимыми, иногда трудно обосновать включение в учебную программу лабораторного курса из-за его высокой стоимости, обусловленной затратами времени, финансовых средств и необходимостью иметь вспомогательный персонал лаборантов [9].

Поэтому следует определить, являются ли высокие лабораторные затраты необходимым компонентом научного образования. Большинство колледжей и университетов в США, которым требуется лаборатория (70 %) могут обеспечить студентам полную проверку результатов химических экспериментов или конкретных измерений физико-химических параметров с необходимой инструментальной точностью [10, 11].

Аналогичная система проверки знаний и полученных экспериментальных навыков действует в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Она предусматривает модульную защиту изучаемого курса в четыре этапа, последним из которых является экзамен или приравненный к нему зачет [12–14].

Лабораторные проверки полезны, когда необходимо минимизировать ресурсы, включая время, учебные площади, оборудование и персонал [15]. Они содержат четко сформулированные процедуры, которые студентам нетрудно выполнять. И это, как правило, хорошо спроектированный для большого количества студентов одновременный эксперимент. К сожалению, эксперимент, который является ключевым, основным компонентом традиционной системы естественно-научного образования, стал одной из трудноразрешимых проблем в современном химическом образовании в России. Бедность экспериментальной базы заставляет преподавателей отдавать предпочтение описательному преподаванию этих предметов и сокращению практических работ. В связи с этим,

в образовательных учреждениях Российской Федерации отмечается тенденция «экономии» на затратах при изучении химии, несмотря на то, что лабораторная практика улучшает экспериментаторские навыки студентов и дает им фактическую информацию [12, 16].

Понимание преимуществ лабораторий для проверки уровня преподавания общей химии важно для тех, кто использует эти лаборатории. В американских университетах, как и в МГТУ им. Н.Э. Баумана — ведущем инженерно-техническом университете России — общие химические лаборатории используются для реального экспериментирования. Учащиеся при этом должны писать отдельные лабораторные отчеты, в которых они обобщают результаты экспериментов.

Цель лабораторных отчетов: увеличить время, затрачиваемое студентами на размышления об изучаемых в лаборатории темах, чтобы дать новое концептуальное понимание лабораторно-технического содержания дисциплины и научить студентов не только выполнять эксперименты, но и проводить соответствующую обработку результатов, представлять полученные данные в виде графического материала и в дальнейшем писать научные статьи.

Цель работы

Цель данной работы заключалась в сопоставлении уровня химической подготовки в ведущих университетах США и России.

Обсуждение результатов

В табл. 1 представлен перечень основных лабораторных работ, которые применяются при обучении студентов в российских и американских университетах. По этим выборкам проводилась оценка эффективности экспериментов.

Т а б л и ц а 1

Перечень тем лабораторных работ, по которым оценивалось влияние лабораторной практики на текущие и окончательные результаты экзаменов

The list of laboratory work on which the influence of laboratory practice on the current and final results of examinations was assessed

| Эксперимент | Тематика лабораторных работ, обычно применяемых в лабораторном практикуме | Включена ли работа в исследование | |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| | | Department of Chemistry, Drexel University, Philadelphia, USA [1] | кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана, Россия |
| 1 | Спектроскопия | Нет | Да |
| 2 | Электропроводность растворов | Да | » |
| 3 | Стехиометрические расчеты реакций | Нет | » |
| 4 | Понижение температуры замерзания | » | » |
| 5 | Получение эфира | » | Нет |
| 6 | Кинетика химической реакции | Да | Да |
| 7 | pH раствора | » | » |
| 8 | Электрохимия | » | » |
| 9 | Химические вещества в лесу [17–19] | Нет | » |

Т а б л и ц а 2

Эффективность разных видов обучения (чисто теоретического и лабораторно-практического) студентов в плане подготовки к экзамену (% правильных ответов)
The effectiveness of different types of training (purely theoretical and laboratory-practical) for students in terms of preparing for the exam (% of correct answers)

| Университет; количество студентов | Обучение без прохождения лабораторного практикума | | | Обучение, включающее лабораторный практикум | | |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------|
| | Положительные ответы в классе при сдаче семестровых модулей и контрольных работ | Положительные ответы на экзамене | Превышение результатов итогового контроля над текущим | Положительные ответы в классе при сдаче семестровых модулей и контрольных работ | Положительные ответы на экзамене | Превышение результатов итогового контроля над текущим |
| Drexel University, США [1]; 45 чел. | 50,0 | 73,0 | 23,0 | 13,0 | 89,9 | 76,9 |
| МГТУ (Мытищинский филиал); 66 чел. (3 учебные группы) | 18,0 | 65,0 | 47,0* | 25,0 | 95,0 | 70,0 |

* Студенты проходили курс химии, посещая только лекции и «практические» семинары.

В табл. 2 представлены данные о влиянии наличия лабораторных практикумов на эффективность обучения студентов химии. По этим данным видно, что более интеллектуальное обучение, каковым является химический лабораторный практикум, приводит к увеличению количества положительных ответов. Сравнение представленных в табл. 2 данных по оценке студентов американского и российского университетов является приблизительным, поскольку в первом случае ответы оценивали по принципу «да» — «нет», а во втором случае суммировали положительные ответы, оцененные с отметками «3 (удовлетворительно)», «4 (хорошо)» и «5 (отлично)».

Во всех случаях студенты университетов показывали гораздо более высокий уровень знаний после прохождения химического экспериментального практикума. Большое количество положительных ответов на экзамене связано с более тщательной подготовкой к экзаменационным испытаниям по сравнению с прохождением текущего контроля в семестре.

При исследовании по группам, проведенном за 32-летний период в американских университетах [1], а также за 25-летний период в Московском государственном университете леса (ныне МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищинский филиал), было установлено, что в итоговых тестах у студентов, обучающихся в лабораториях, результаты примерно на 10 пунктов выше, чем у их сверстников без прохождения практикумов [20].

Ошибки студентов в основном связаны с тем, что исход проверки часто предопределен. Поэтому учащиеся пытаются воспроизвести ожидаемый результат. Это означает, что студенты, которые защищают результаты проделанной в лаборатории проверки, проводят больше времени, определяя, согласуется ли итог с прогнозируе-

мым результатом. При этом они тратят меньше времени на обдумывание или интерпретацию полученных данных.

Недостатком является также и то, что студенты выполняют проверку экспериментов механически, часто больше сосредотачиваются на математических навыках, которые требуются для выполнения соответствующих вычислений, чем на концептуальном понимании связанного с ними раздела химии.

Нередко студенты не понимают цели эксперимента, поскольку все внимание уделяется процедуре и нет времени и сил на размышления об эксперименте. Необходимо также отметить, что студенты часто не вовлечены в обсуждение и анализ сегодняшней науки в лабораторных курсах, которые задействованы при проверке экспериментов.

Верификация экспериментов предпочтительнее, когда лабораторное время ограничено, т. е. студенты затрачивают большие усилия на получение «правильных» данных. На выполнение лабораторных работ, основанных на получении заранее не известной информации, требуется гораздо больше времени (до четырех раз). Однако наличие дополнительного лабораторного времени, связанного с исследованиями, как правило, не приводит к росту понимания существа вопроса, поскольку нет существенного различия по результатам студенческих экзаменов между теми, кто выполнял сокращенный лабораторный практикум и теми кто выполнял исследовательский практикум. Но в обоих случаях студенты лучше сдавали итоговые экзамены по сравнению с обучавшимися без лабораторного практикума.

Заключение

Таким образом, прослеживается однозначная взаимосвязь психолого-коммуникационных

аспектов естественно-научного образования, проявляемая в ходе реализации АМО путем применения учебных деловых игр в качестве инструмента интенсификации учебного процесса с фундаментальной практической подготовкой, приобретаемой в лаборатории.

Многолетний опыт выпускающей кафедры химии в Мытищинском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана, показывает, что студенты групп химиков, прошедшие практическое обучение в лабораториях и привлекаемые к имитационным деловым играм на производстве, гораздо легче решают возникающие производственные задачи, связанные с нарушениями реального технологического процесса и недостатками цехового технологического оборудования, чем студенты групп лесных специальностей, которые проходили соответствующую подготовку на «практических занятиях» без лабораторного практикума.

Можно утверждать, что применение АМО, в том числе игровых технологий, при подготовке бакалавров по направлению «Химическая технология» активизирует творческую, познавательную деятельность студентов, способствует превращению усвоенных знаний в убеждения и выработке активной жизненной позиции.

Проведенное краткое сопоставление эффективности некоторых аспектов химического образования в американском и российском университетах показывает, что техническое образование в области химии в ведущих промышленно развитых странах находится практически на одном уровне.

В историческом соревновании и соперничестве государств выиграют те, кто готов вкладывать и реально вкладывает большие ресурсы в экспериментальное практическое обучение.

Список литературы

- [1] Xian J., King D.B. The effectiveness of general chemistry lab experiments on student ex-am performance // *J. of Laboratory Chemical Education*, 2017, v. 5, no. 5, pp. 95–107. DOI: 10.5923/j.ljce.20170505.01
- [2] Tobin K., Tippins D.J., Gallard A.J., Research on Instructional Strategies for Teaching Science. In: *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, ed. D.L. New York.: Macmillan, 1994, pp. 45–93.
- [3] Сайт кафедры химии (база данных сведений о химической подготовке). М., 2017.
URL: <http://www.gpntb.ru/win/search/help/el-cat.html>
- [4] Matz R.L., Rothman E.D., Krajcik J.S., Banaszak-Holl M.M. Concurrent enrollment in lecture and laboratory enhances student performance and retention // *J. Research in Science Teaching*, 2012, no. 49, pp. 659–682.
- [5] Евдокимов Ю.М., Иванкин А.Н. Химия в лесу — всему начало // *Энциклопедия инженера-химика*, 2009. № 3. С. 52–55.
- [6] Kononov G.N. Department of chemical technology of wood and polymers in the chemical-technological education MLTI-MSFU 1961–2015 // *Forest complex today, view of young researchers: forest industry and engineering, landscape architecture, woodworking technology, management and economics: Proc. Int. Scientific and Practical Conference (St. Louis, Missouri, January 16th, 2017)*. V. 1. St. Louis, Missouri, USA: Science and Innovation Center Publishing House, 2017, pp. 180–188.
- [7] Holstermann N., Grube D., Bögeholz S. Hands-on activities and their influence on students' interest // *Research in Science Education*, 2010, v. 40, no. 5, pp. 743–757.
- [8] Carnduff J.N.R. Enhancing undergraduate chemistry laboratories, pre-laboratory and post-laboratory exercises. Examples and advice. London: Royal Society of Chemistry, 2003, 32 p.
- [9] Von Aufschnaiter C., von Aufschnaiter S. University students activities, thinking and learning during laboratory work // *European J. Physics.*, 2007, no. 28, pp. 51–60. DOI:10.1088/0143-0807/28/3/S05
- [10] Bopegedera A.M.R.P. Putting the laboratory at the center of teaching chemistry // *J. Chemical Education*, 2011, v. 88, no. 4, pp. 443–448.
- [11] Kiste A.L., Scott G.E., Bubenberger J., Markmann M., Moore J. An examination of student outcomes in studio chemistry // *Chemistry Education Research and Practice*, 2017, no. 18, pp. 233–249. DOI: 10.1039/C6RP00202A
- [12] Фадеев Г.Н., Голубев А.М., Дикова О.Д., Маргарян Т.Д. Химия в техническом университете в условиях болонского соглашения // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*. 2014. № 5. С. 117–127.
- [13] Двучичанская Н.Н., Фадеев Г.Н. Реализация концепции непрерывного химического образования на основе системного аксиологического подхода // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*. 2005. № 3. С. 118–127.
- [14] Гастев С.А., Фадеев Г.Н., Волков А.А. Роботизированная программа проведения лабораторных работ по химии / Новые информационные технологии в образовании: Матер. IX Междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 1–4 марта 2011 г. Екатеринбург: РГППУ, 2011. С. 144–147.
- [15] Lagowski J.J. Entry level science courses: the weak link // *J. Chemistry Education*. 1990, v. 67, no. 3, pp. 185–190. DOI: 10.1021/ed067p185
- [16] Hofstein A., Lunetta V.N. Education: foundations for the twenty-first century // *Review of Education Research*, 1982, v. 52, no. 2, pp. 201–217.
- [17] Олиференко Г.Л., Иванкин А.Н. Лабораторные работы по общей химии: учеб.-методич. пособие для студентов всех техн. спец. М.: МГУЛ, 2016. 24 с.
- [18] Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д. Общая и неорганическая химия. Практикум: учеб. пособие для студентов направления 35.03.01 «Лесное дело». М. МГУЛ, 2008. 156 с.
- [19] Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д., Жилин Ю.Н., Мельников Ю.Н., Крылов В.М. Учебно-методический комплекс «Химия». Электрон. учеб. пособие на CD. М.: ЦДО МГУЛ, 2005 // Отраслевой фонд алгоритмов и программ, № 4233 от 12.01.05; Информ.-библи. фонд алгоритмов и программ РФ, № гос. рег. 50200500085 от 26.01.05.
- [20] Бахтигулова Л.Б. Психолого-педагогическая мастерская как инновационная форма обучения // *Вестник МГУЛ — Лесной вестник*, 2013. № 5. С. 169–172.

Сведения об авторах

Сердюкова Юлия Владимировна — старший преподаватель кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), mlti3216@gmail.com

Тарасов Сергей Михайлович — канд. техн. наук, доцент кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), smtarasoff@mail.ru

Прошина Ольга Петровна — канд. хим. наук, доцент кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), proshina@mgul.ac.ru

Олиференко Галина Львовна — канд. хим. наук, доцент кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), oliferenko2@inbox.ru

Беляков Владимир Алексеевич — канд. техн. наук, доцент кафедры метрологии и взаимозаменяемости МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), belya-kov@mgul.ac.ru

Фадеев Герман Николаевич — д-р пед. наук, профессор кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана, gerfad@mail.ru

Иванкин Андрей Николаевич — академик МАН ВШ, д-р хим. наук, профессор кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), aivankin@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 14.09.2017.

CHEMISTRY PREPARATION TO GET BACHELOR'S DEGREE IN FORESTRY. WORLD EXPERIENCE IN COMPARISON OF UNIVERSITIES OF THE USA AND RUSSIA

Yu.V. Serdyukova¹, S.M. Tarasov¹, O.P. Proshina¹, G.L. Oliferenko¹, V.A. Belyakov¹, G.N. Fadeev², A.N. Ivankin¹

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishi, Moscow reg., Russia

²BMSTU, 2 st. Baumanskaya, 5, 105005, Moscow, Russia

aivankin@inbox.ru

The article discusses the problem of practical high-intellectual training in complex natural science disciplines, exemplified by the chemistry of students studying in the leading Russian technical universities of a non-chemical profile in comparison with American universities. The influence of active teaching methods was discussed and the conclusion was made about the advisability of using educational business games as a tool for intensifying the educational process in teaching specialization disciplines in the preparation of bachelors at the Bauman Moscow State Technical University, according to the direction of students' training in the Russian Federation 18.03.01 «Chemical technology». It is shown that properly developed gaming technology, applied at senior courses during classroom activities or during the students' practical training, allows to cover a number of disciplines in their interrelations, put the student in an atmosphere of conditional reality, requiring to apply the acquired knowledge and skills. Simulated business games conducted in the course of prediploma practice are not only aimed at developing the skills and skills that graduates will need in their practical work, but also contribute to the successful passing of the final state certification. Such training technologies are interdisciplinary. The features of the study of general chemistry, the basic educational discipline for the majority of forestry specialties, in domestic and foreign conditions are compared. The exceptional importance of using a chemical workshop as an effectively developing student of a teaching tool was noted to increase the effectiveness of the final delivery of a chemistry discipline. As in foreign universities, and in the BMSTU, students passed chemistry with positive results after a practical performance of experiments by 23...76 % more effective, which, according to the authors, is a result of a chemical laboratory practical work. The comparison of the effectiveness of laboratory, practical and organizational and communicative aspects of chemical education in leading foreign and Russian universities shows that technical education in the field of chemistry in the leading industrialized countries is practically at the same level.

Keywords: chemistry, bachelors, Bauman Moscow State Technical University, US universities

Suggested citation: Serdyukova Yu.V., Tarasov S.M., Proshina O.P., Oliferenko G.L., Belyakov V.A., Fadeev G.N., Ivankin A.N. *Khimicheskaya podgotovka bakalavriata dlya lesnykh spetsial'nostey. Mirovoy opyt v sopostavlenii universitetov SShA I Rossii* [Chemistry preparation to get bachelor's degree in forestry. World experience in comparison of universities of the USA and Russia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 105–111. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-105-111

References

- [1] Xian J., King D.B. The effectiveness of general chemistry lab experiments on student ex-am performance. *J. of Laboratory Chemical Education*, 2017, v. 5, no. 5, pp. 95–107. DOI: 10.5923/j.ljce.20170505.01
- [2] Tobin K., Tippins D.J., Gallard A.J. Research on Instructional Strategies for Teaching Science. In: *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, ed. D.L. Gabel. New York.: Macmillan, 1994, pp. 45–93.
- [3] *The site of the chemical department BMSTU* [Electronic resource]. URL: <http://www.gpntb.ru/win/search/help/el-cat.html>

- [4] Matz R.L., Rothman E.D., Krajcik J.S., Banaszak-Holl M.M. Concurrent enrollment in lecture and laboratory enhances student performance and retention. *J. of Research in Science Teaching*, 2012, no. 49, pp. 659–682.
- [5] Evdokimov Yu.M., Ivankin A.N. *Himiya v lesu – vseму nachalo* [Chemistry in the forest is everything start]. Encyclopedia of Chemical Engineer, 2009. no. 3, pp. 52–55.
- [6] Kononov G.N. Department of chemical technology of wood and polymers in the chemical-technological education MLTI-MSFU 1961–2015. Forest complex today, view of young researchers: forest industry and engineering, landscape architecture, woodworking technology, management and economics: Proc. Int. Scientific and Practical Conference (St. Louis, Missouri, January 16th, 2017). V. 1. St. Louis, Missouri, USA: Science and Innovation Center Publishing House, 2017, pp. 180–188.
- [7] Holstermann N., Grube D., Bögeholz S. Hands-on activities and their influence on students' interest. *Research in Science Education*, 2010, v. 40, no. 5, pp. 743–757.
- [8] Carnduff J.N.R. Enhancing undergraduate chemistry laboratories, pre-laboratory and post-laboratory exercises. Examples and advice. London: Royal Society of Chemistry, 2003, 32 p.
- [9] Von Aufschnaiter C., von Aufschnaiter S. University students activities, thinking and learning during laboratory work // *European J. Physics*. 2007, no. 28, pp. 51–60. DOI:10.1088/0143-0807/28/3/S05
- [10] Bopegdera A.M.R.P. Putting the laboratory at the center of teaching chemistry. *J. Chemical Education*, 2011, v. 88, no. 4, pp. 443–448.
- [11] Kiste A.L., Scott G.E., Bukenberger J., Markmann M., Moore J. An examination of student outcomes in studio chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 2017, no. 18, pp. 233–249. DOI: 10.1039/C6RP00202A
- [12] Fadeev G.N., Golubev A.M., Dikova O.D., Margarian T.D. *Himiya v tekhnicheskoy universitete v usloviyah bolonskogo protsessa* [Chemistry in a technical university in the conditions of the Bologna agreement]. Bulletin of N.E. Bauman MSTU. Ser. Natural sciences. 2014, no. 5, pp. 117–127.
- [13] Dvulichanskaya N.N., Fadeev G.N. *Realizatsiya koncepcii nepreryivnogo khimicheskogo obrazovaniya na osnove sistemnogo aksiologicheskogo podkhoda* [Implementation of the concept of continuous chemical education based on the system axiological approach]. Bulletin of N.E. Bauman MSTU. Ser. Natural sciences, 2005, no. 3, pp. 118–127.
- [14] Gastev S.A., Fadeev G.N., Volkov A.A. *Robotizirovannaya programma proverki labora-torniykh rabot po khimii* [Robotic program for conducting laboratory work in chemistry]. In: New Information Technologies in Education. Materials IX Int. Sci. Pract. Conf. Ekaterinburg, March 1–4, 2011, pp. 144–147.
- [15] Lagowski J.J. Entry level science courses: the weak link. *J. Chemistry Education*, 1990, v. 67, no. 3, pp. 185–190. DOI: 10.1021/ed067p185
- [16] Hofstein A., Lunetta V.N. Education: foundations for the twenty-first century. *Review of Educational Research*, 1982, v. 52, no. 2, pp. 201–217.
- [17] Oliferenko G.L., Ivankin A.N. *Laboratornyye raboty po obchei khimii* [Laboratory works on general chemistry: textbooks]. Moscow. MSFU Publ. 2016, 24 p.
- [18] Ivankin A.N., Neklyudov A.D. *Obshchaya neorganicheskaya khimiya* [General and inorganic chemistry. Textbook. Manual for students of the direction 35.03.01 «Forestry»]. Moscow: MSFU Publ, 2008. 156 p.
- [19] Ivankin A.N., Neklyudov A.D., Zhilin Yu.N., Melnikov Yu.N., Kriylov V.M. *Uchebno-metodicheskiy kompleks himii* [Educational-methodical complex «Chemistry». Electronic training manual on CD. Moscow: MSFU Publ, 2005. Branch Fund of algorithms and programs. No. 4233 of 12.01.05. Information library fund of algorithms and programs of the Russian Federation. No. 50200500085 of 26.01.05.
- [20] Bakhtigulova L.B. *Psikhologo-pedagogicheskaya masterskaya kak innovatsionnaya forma obucheniya* [Psychological-pedagogical workshop as an innovative form of training]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy vestnik, 2016, no. 5. pp. 169–172.

Authors' information

Serdyukova Yuliya Vladimirovna — Senior Lecturer of the Department of Chemistry, BMSTU (Mytishchi branch), mlti3216@gmail.com

Tarasov Sergey Mikhailovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Chemistry, BMSTU (Mytishchi branch), smtarasoff@mail.ru

Proshina Olga Petrovna — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor of the Department of Chemistry, BMSTU (Mytishchi branch), proshina@mgul.ac.ru

Oliferenko Galina L'vovna — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor of the Department of Chemistry, BMSTU (Mytishchi branch), oliferenko2@inbox.ru

Belyakov Vladimir Alekseevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Metrology and Interchangeability of the BMSTU (Mytishchi branch), belyakov@mgul.ac.ru

Fadeev German Nikolaevich — Dr. Sci. (Pedagogy), Professor of Department of Chemistry of BMSTU, gerfad@mail.ru

Ivankin Andrey Nikolaevich — Dr. Sci. (Chem.) Academician of the International Academy of Sciences of Higher School, Professor of the Department of Chemistry of BMSTU (Mytishchi branch), aivankin@mgul.ac.ru

Received 14.09.2017.

К ВОПРОСУ О РАВНОМЕРНО РАВНОСХОДЯЩИХСЯ РЯДАХ ФУРЬЕ

Н.В. Шипов

МГТУ им. Н.Э.Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

nvshi@mail.ru

Согласно теореме Штейнгауза о равномерно равносходящихся рядах Фурье, разность частичных сумм $S_n(\lambda f) - \lambda(x) S_n(f)$ равномерно стремится к нулю при $n \rightarrow \infty$ для любой суммируемой функции $f(x)$ и функции $\lambda(x)$, удовлетворяющей условию Липшица первого порядка. В настоящей работе доказано, что эта теорема остается справедливой, если функция $f(x)$ принадлежит пространству L_p ($1 \leq p < \infty$), а функция $\lambda(x)$ удовлетворяет условию Липшица порядка α ($1/p < \alpha \leq 1$). Полученные результаты могут быть использованы при изучении условий сходимости рядов Фурье в фиксированной точке, а также при изучении условий равномерной или абсолютной сходимости этих рядов. Обобщенный вариант теоремы Штейнгауза расширяет класс функций $\lambda(x)$, удовлетворяющих условию Липшица порядка α , на которые можно умножать частичную сумму $S_n(f)$ ряда Фурье функции $f(x)$ для изучения множества точек сходимости или расходимости (равномерной сходимости или расходимости) частичных сумм $S_n(\lambda f)$ функции $\lambda(x) f(x)$ при $n \rightarrow \infty$. То же справедливо и применительно к функции $|f(x)|$ при изучении множества точек абсолютной сходимости или абсолютной расходимости ряда Фурье, а также равномерной и абсолютной сходимости ряда Фурье.

Ключевые слова: теорема Штейнгауза, равномерно равносходящиеся ряды Фурье, интегральный модуль непрерывности порядка p

Ссылка для цитирования: Шипов Н.В. К вопросу о равномерно равносходящихся рядах Фурье // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 112–115. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-112-115

Ряды Фурье и интеграл Фурье находят разное применение как в математическом анализе [1–5], так и в многочисленных задачах математической физики и их приложениях, включая обобщенные функции [6–8]. Пусть для суммируемой (интегрируемой по Лебегу) периодической функции $f(x)$ установлены условия поточечной сходимости (равномерной или абсолютной сходимости, расходимости) ряда Фурье $\sigma(f)$, вычислены скорости убывания коэффициентов ряда Фурье и связанные с ними оценки интегральных модулей непрерывности [9, 10]. Аналогичные проблемы и задачи, связанные с условиями поточечной сходимости (равномерной или абсолютной сходимости, расходимости) ряда Фурье мы имеем после умножения функции $f(x)$ на периодическую функцию $\lambda(x)$ в зависимости от свойств периодической функции $\lambda(x)$.

Цель работы

При решении указанных задач оказывается полезной теорема Штейнгауза, в которой утверждается, что если $\lambda(x)$ есть периодическая функция с периодом 2π , удовлетворяющая условию Липшица порядка 1, то ряд Фурье $\sigma(\lambda f)$ и ряд $\lambda(x)\sigma(f)$ являются на отрезке $[-\pi, \pi]$ равномерно равносходящимися [1]. Таким образом, разность частичных сумм $S_n(\lambda f) - \lambda(x)S_n(f)$ равномерно стремится к нулю при $n \rightarrow \infty$, т. е. ряды $\sigma(\lambda f)$ и $\lambda(x)\sigma(f)$ сходятся или расходятся на одинаковых множествах точек x . Поскольку множество точек сходимости (абсолютной сходимости или расходимости применительно к функции $|f(x)|$) ряда

$\lambda(x) \sigma(|f|)$ установить значительно проще (как и другие свойства этого ряда), то, согласно теореме Штейнгауза, это множество точек сходимости (абсолютной сходимости или расходимости применительно к функции $|f(x)|$) переносится и на ряд Фурье $\sigma(\lambda|f|)$.

Методы решения

Сформулируем вариант обобщения теоремы Штейнгауза, ослабляя ограничения на функцию $\lambda(x)$ и одновременно усиливая требования к функции $f(x)$.

Теорема 1.

Если периодическая функция $f(x)$ принадлежит пространству L_p ($1 \leq p < \infty$), а периодическая функция $\lambda(x)$ удовлетворяет условию Липшица порядка α ($1/p < \alpha \leq 1$), $|\lambda(x+t) - \lambda(x)| < Mt^\alpha$, где константа M не зависит от x , то ряды $\sigma(\lambda f)$ и $\lambda(x)\sigma(f)$ являются на отрезке $[-\pi, \pi]$ равномерно равносходящимися.

Поскольку функция $f(x+t)$ суммируема по аргументу t , а функция $\lambda(x+t)$ непрерывна, то функция $f(x+t)\lambda(x+t)$ суммируема. Поэтому аналогично [1, 3, 5, 6] для разности частичных сумм имеем

$$S_n(\lambda f) - \lambda(x)S_n(f) = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x+t)g_x(t) \sin \pi t dt + 0, \quad (1)$$

где

$$g_x(t) = (\lambda(x+t) - \lambda(x))/t, \quad (2)$$

$$|g_x(t)| < Mt^{\alpha-1}. \quad (3)$$

Чтобы убедиться в том, что правая часть формулы (1) равномерно стремится к нулю, достаточно установить, что стоящий в правой части формулы (1) интеграл по переменной t равномерно стремится к нулю. С учетом периодичности функции под знаком интеграла в формуле (1) аналогично [1–3, 5, 6] имеем

$$\begin{aligned} & \left| \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x+t)g_x(t)\sin \pi t \, dt \right| \leq \\ & \leq \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |f(x+t+\pi/n)g_x(t+\pi/n) - f(x+t)g_x(t)| \, dt \leq \quad (4) \\ & \leq \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |f(x+t+\pi/n) - f(x+t)| |g_x(t+\pi/n)| \, dt + \\ & + \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |f(x+t)| |g_x(t+\pi/n) - g_x(t)| \, dt. \end{aligned}$$

Первый интеграл в формуле (4) оценивается с помощью неравенства Гельдера и с учетом периодичности функций не превосходит следующей величины:

$$\begin{aligned} & \int_{-\pi}^{\pi} |f(x+t+\pi/n) - f(x+t)| |g_x(t+\pi/n)| \, dt \leq \\ & \leq \left(\int_{-\pi}^{\pi} |f(t+\pi/n) - f(t)|^p \, dt \right)^{1/p} \left(\int_{-\pi}^{\pi} |g_x(t)|^q \, dt \right)^{1/q} \leq \\ & \leq \omega_p(\pi/n, f) M \left(\int_{-\pi}^{\pi} |t|^{(\alpha-1)q} \, dt \right)^{1/q} = \\ & = 2\omega_p(\pi/n, f) M \pi^{\alpha-1+1/q} / (\alpha q - q + 1)^{1/q}, \end{aligned}$$

где $\omega_p(\delta, f)$ — интегральный модуль непрерывности порядка p функции $f(x)$ [1, 2, 8, 10], стремящийся к нулю при $\delta \rightarrow 0$ (т. е. при $n \rightarrow \infty$), а условие $\alpha q - q + 1 > 0$, т. е. $\alpha > 1 - 1/q = 1/p$, выражает требование конечности второго интеграла (несобственного) в неравенстве Гельдера.

Для оценки второго интеграла в формуле (4) используем тот факт, что пространство измеримых и ограниченных функций плотно в пространстве L_p [4]. Поэтому мы можем разложить функцию $f(x)$, принадлежащую на интервале $(-\pi, \pi)$ пространству $L_p(-\pi, \pi)$, на сумму двух функций: $f_1(x)$ и $f_2(x)$, первая из которых измерима и ограничена, $|f_1(x)| \leq K$, а вторая функция ($f_2(x)$) принадлежит пространству $L_p(-\pi, \pi)$ и для нее на указанном интервале $(-\pi, \pi)$ выполняется равенство

$$\left(\int_{-\pi}^{\pi} |f_2(x)|^p \, dx \right)^{1/p} < \varepsilon.$$

Далее продолжим функции $f_1(x)$ и $f_2(x)$ периодически с периодом 2π , сохраняя для них те же обозначения. Тогда второй интеграл в формуле (4) с учетом неравенства Гельдера и при последующем применении неравенства Минковского не превосходит суммы пяти слагаемых:

$$\begin{aligned} & \int_{-\pi}^{\pi} |f(x+t)| |g_x(t+\pi/n) - g_x(t)| \, dt \leq \\ & \leq \left(\int_{-\pi}^{\pi} |f_2(x+t)|^p \, dt \right)^{1/p} \left(\int_{-\pi}^{\pi} |g_x(t+\pi/n) - g_x(t)|^q \, dt \right)^{1/q} + \\ & + K \int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} |g_x(t)| \, dt + K \int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} |g_x(t+\pi/n)| \, dt + \\ & + K \int_{-\pi}^{-\varepsilon} |g_x(t+\pi/n) - g_x(t)| \, dt + K \int_{\varepsilon}^{\pi} |g_x(t+\pi/n) - g_x(t)| \, dt. \end{aligned} \quad (5)$$

Для первого слагаемого в формуле (5), используя установленное выше ограничение на функцию $f_2(x)$, а также учитывая периодичность функции $g_x(t)$, при использовании неравенства Минковского аналогично вышеизложенному получаем не зависящую от x оценку

$$4M\varepsilon\pi^{\alpha-1+1/q} / (\alpha q - q + 1)^{1/q}.$$

Второе слагаемое в формуле (5) с учетом неравенства (3) не превосходит величины $2MK\varepsilon^{\alpha/\alpha}$. Третье слагаемое в формуле (5) сводится к интегрированию $|g_x(t)|$ по интервалу $(-\varepsilon + \pi/n, \varepsilon + \pi/n)$. Поэтому при $\pi/n < \varepsilon/2$ оно не превосходит величины $2MK(2\varepsilon)^{\alpha/\alpha}$.

Для оценки четвертого слагаемого в формуле (5) используем равномерную непрерывность функции $g_x(t)$ на замкнутом множестве $-\pi \leq x \leq \pi$, $-\pi \leq t \leq -\varepsilon/2$. Для любого $\eta > 0$ существует такое не зависящее от x целое число $N(\varepsilon, \eta)$, что при $n > N(\varepsilon, \eta)$ справедливо неравенство

$$|g_x(t+\pi/n) - g_x(t)| < \eta. \quad (6)$$

Интегрирование по переменной t по отрезку $-\pi \leq t \leq -\varepsilon$ не будет выводить аргумент $t + \pi/n$ при достаточно больших n из отрезка $[-\pi, -\varepsilon/2]$, где выполняется неравенство (6). Выберем n из условия

$$\pi/n < \varepsilon/2. \quad (7)$$

Тогда выполняется неравенство

$$t + \pi/n \leq -\varepsilon + \pi/n < -\varepsilon/2.$$

Проинтегрировав неравенство (6) по отрезку $-\pi \leq t \leq -\varepsilon$, приходим к выводу, что четвертое слагаемое в формуле (5) не превосходит $\pi K \eta$ при

$n > N(\varepsilon, \eta)$ с одновременным выполнением ограничения (7) на n .

Аналогичным образом при оценке пятого слагаемого в формуле (5) используем равномерную непрерывность функции $g_x(t)$ на замкнутом множестве $-\pi \leq x \leq \pi$, $\varepsilon \leq t \leq \pi + \varepsilon/2$, так как пятое слагаемое в (5) также не превосходит величины $\pi K\eta$.

Результаты и обсуждение

Итак, поскольку ε и η являются произвольными как угодно малыми положительными числами, существует такое не зависящее от x число N , наибольшее из всех, указывавшихся при вычислении оценок интегралов в формуле (4), что при $n > N$ оба интеграла в (4) оказываются ограниченными сверху положительными величинами, пропорциональными ε или η либо стремящимися к нулю при $\varepsilon \rightarrow 0$ и к тому же не зависящими от x . Таким образом, оцениваемый интеграл в формуле (1):

$$\frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x+t)g_x(t)\sin \pi t dt,$$

а вместе с ним и разность частичных сумм $S_n(\lambda f) - \lambda(x)S_n(f)$ равномерно стремится к нулю при $n \rightarrow \infty$, т. е. ряды $\sigma(\lambda f)$ и $\lambda(x)\sigma(f)$ сходятся или расходятся на одинаковых множествах точек x . Завершено доказательство данного варианта обобщения теоремы Штейнгауза о равномерно сходящихся рядах Фурье при $\alpha > 1/p$ и $p > 1$.

Выводы

Полученный результат расширяет класс функций $\lambda(x)$, удовлетворяющих условию Липшица порядка α , на которые можно умножать частичную

сумму $S_n(f)$ ряда Фурье функции $f(x)$ для изучения множества точек сходимости или расходимости (равномерной сходимости или расходимости) частичных сумм $S_n(\lambda f)$ функции $\lambda(x)f(x)$ при $n \rightarrow \infty$. То же справедливо и применительно к функции $|f(x)|$ при изучении множества точек абсолютной сходимости или абсолютной расходимости ряда Фурье, а также равномерной и абсолютной сходимости ряда Фурье.

Список литературы

- [1] Bary N.K. Treatise on Trigonometric Series. V. 1. New York: Pergamon Press Publ., 1964. 480 p.
- [2] Edwards R.E. Fourier Series. A Modern Introduction. New York: Heidelberg Publ.; Berlin: Springer-Verlag Publ., 1979. 256 p.
- [3] Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. М.: Физматлит, 2006. 542 с.
- [4] Натансон И.П. Теория функций действительной переменной. М.: Гостехиздат, 1957. 552 с.
- [5] Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. В 3 т. Т. 3. М.: Наука, 1970. 656 с.
- [6] Никольский С.М. Курс математического анализа. В 2 т. Т. 2. М.: Наука, 1973. 391 с.
- [7] Владимиров В.С. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1971. 512 с.
- [8] Шипов Н.В. О свойствах функционала $P(1/x)$ в пространстве обобщенных функций медленного роста // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2010. Т. 75. Вып. 6. С. 183–185.
- [9] Гейт В.Э. О структурных и конструктивных свойствах функции и ее сопряженной в L // Изв. вузов. Сер. Математика, 1972. № 7. С. 19–30.
- [10] Теляковский С.А. Оценки снизу интегрального модуля непрерывности функции через ее коэффициенты Фурье // Матем. заметки, 1992. № 5. С. 107–112.

Сведения об авторах

Шипов Николай Викторович — канд. физ.-мат. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), nvshi@mail.ru, caf-math@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 06.11.2017.

ABOUT EVENLY EQUICONVERGED FOURIER SERIES

N.V. Shipov

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

nvshi@mail.ru

Steinhaus theorem about evenly equiconverged Fourier series argues that the difference between the partial sums $S_n(\lambda f) - \lambda(x) S_n(f)$ evenly tends to zero when $n \rightarrow \infty$ for any summable function $f(x)$ and the function $\lambda(x)$ which satisfies the Lipchitz conditions of first order. In the present work it is proved that this theorem remains fair, if the function $f(x)$ belongs to the LP($1 \leq p < \infty$), and the function $\lambda(x)$ satisfies the Lipchitz condition of order α ($1/p < \alpha \leq 1$). The results obtained can be used when examining the conditions of convergence of Fourier series in a fixed location, as well as in examining the conditions of uniform or absolute convergence of these series. A generalized version of the theorem of Steinhaus extends functions of $\lambda(x)$ satisfying the Lipchitz condition of order α , which can multiply the partial sum of $S_n(f)$ Fourier series of function $f(x)$ to explore the many points of convergence or divergence (evenly convergence or divergence) partial sums $S_n(\lambda f)$ of function $\lambda(x)f(x)$ when $n \rightarrow \infty$. The same is true with respect to functions $|f(x)|$ when studying a set of points of absolute convergence or absolute divergence of Fourier series, as well as uniform and absolute convergence of Fourier series.

Keywords: Steinhaus theorem, evenly equiconverged Fourier series, the integral modulus of continuity of order p

Suggested citation: Shipov N.V. *K voprosu o ravnomerno ravnoskhodyashchikhsya ryadakh Fur'e* [About evenly equiconverged Fourier series]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 112–115.

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-112-115

References

- [1] Bary N.K. *Treatise on Trigonometric Series*. V. 1. New York: Pergamon Press Publ., 1964, 480 p.
- [2] Edwards R.E. *Fourier Series. A Modern Introduction*. New York: Heidelberg Publ.; Berlin: Springer-Verlag Publ., 1979, 256 p.
- [3] Kolmogorov A.N., Fomin S.V. *Elementy teorii funktsiy i funktsional'nogo analiza* [Elements of the theory of functions and functional analysis]. Moscow: Nauka Publ., 2004, 542 p.
- [4] Natanson I.P. *Teoriya funktsiy deystvitel'noy peremennoy* [Theory of functions of the valid variable]. Moscow: Gostekhizdat Publ., 1957, 552 p.
- [5] Fikhtengol'ts G.M. *Kurs differentsial'nogo i integral'nogo ischisleniya*. V 3 t. T. 3. [Course of differential and integral calculus. In 3 v. V. 3. Moscow: Nauka Publ., 1970, 656 p.
- [6] Nikol'skiy S.M. *Kurs matematicheskogo analiza*. V 2 t. T. 2. [Course of the mathematical analysis. In 2 v. V. 2. Moscow: Nauka Publ., 1973, 391 p.
- [7] Vladimirov V.S. *Uraveniya matematicheskoy fiziki* [The equations of mathematical physics]. Moscow: Nauka Publ., 1971, 318 p.
- [8] Shipov N.V. *O svoystvakh funktsionala $P(1/x)$ v prostranstve obobshchennykh funktsiy medlennogo rosta* [About properties of functionality of $P(1/x)$ in space of the generalized functions of slow growth]. *Moscow State Forest University Bulletin — Lesnoy vestnik*, 2010, v. 75, no. 6, pp. 183–185.
- [9] Geyt V.E. *O strukturnykh i konstruktivnykh svoystvakh funktsii i ee sopryazhennoy v L* [On the structural and constructional features of the function and its conjugate in L]. *Proceedings of High Schools. Ser. Mathematics*, 1972, no. 7, pp. 19–30.
- [10] Telyakovskiy S.A. *Otsenki snizu integral'nogo modulya nepreryvnosti funktsii cherez ee koeffitsienty Fur'e* [Evaluate at the bottom of the integral continuity module of functions through its Fourier coefficients]. *Matematicheskie zametki* [Mathematical notes], 1992, no. 5, pp. 107–112.

Author's information

Shipov Nikolay Viktorovich — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), nvshi@mail.ru, caf-math@mgul.ac.ru

Received 06.11.2017.