

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 4 ' 2020 Том 24

Главный редактор

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

Редакционный совет журнала

Артамонов Дмитрий Владимирович, д-р техн. наук, профессор, 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. Королёва, Москва

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

Бурмистрова Ольга Николаевна, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»

Деглиз Ксавье, д-р с.-х. наук, профессор Академик IAWS, академик Французской академии сельского хозяйства, Нанси, Франция

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

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

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

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

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

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

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

Ковачев Атанас, д-р архитектуры, профессор, член-корр. Болгарской АН, профессор Международной Академии

Архитектуры, Лесотехнический университет, Болгария, Варна

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

Козлов Александр Ильич, канд. техн. наук, ученый секретарь

Совета ОАО «НПО ИТ», Королёв

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

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

Котиев Георгий Олегович, д-р техн. наук, профессор, кафедра «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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

Кротт Макс, профессор, специализация «Лесная политика», Георг-Аугуст-Университет, Геттинген, Германия

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

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

Лукина Наталья Васильевна, член-корреспондент РАН, профессор, директор ЦЭПЛ РАН, зам. Председателя Научного совета по лесу РАН, Москва

Малашин Алексей Анатольевич, д-р физ.-мат. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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

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

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

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

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

Пастори Золтан, д-р техн. наук, доцент, директор Инновационного центра Шопронского университета, Венгрия

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

Полуэктов Николай Павлович, д-р техн. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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

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

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

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

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

Тричков Нено Иванов, профессор, доктор, проректор по научной работе Лесотехнического университета, София, Болгария

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

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

Чумаченко Сергей Иванович, д-р биол. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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

Шегельман Илья Романович, д-р техн. наук, профессор, Управление научных исследований, базовая кафедра «Сквозные технологии и экономическая безопасность»,

главный научный сотрудник ПетрГУ, Петрозаводск

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

Щепашенко Дмитрий Геннадьевич, д-р биол. наук, доцент, старший научный сотрудник Международного института прикладного системного анализа (IIASA), Австрия

Ответственный секретарь Расева Елена Александровна

Редактор Л.В. Сивай

Перевод М.А. Карлухиной

Электронная версия Ю.А. Рязжской

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, д. 1
(498) 687-41-33,
les-vest@mgul.ac.ru

Дата выхода в свет 06.07.2020.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 18,75 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information Journal
№ 4 ' 2020 Vol. 24

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

Burmistrova Olga Nikolaevna, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Ukhta State Technical University, Ukhta

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

Chumachenko Sergey Ivanovich, Professor, Dr. Sci. (Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Deglise Xavier, Dr. Sci. (Agric.), Academician of the IAWS, Academician of the French Academy of Agriculture, Nancy, 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. (Agric.), 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

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

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

Kovachev Atanas, Corresponding Member of the Bulgarian Academy of Sciences, Dr. Sci., Professor, University of Forestry, Bulgaria, Sofia

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

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

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

Kotiev George Olegovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

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

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

Krott Maks, Professor of Forest politics specialization, George-August-Universität, 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

Lukina Natalya Vasilyevna, Corresponding Member of the RAS, Director of the Center for Sub-Settlement Research RAS, Deputy Chairperson of the Forest Research Council

Malashin Alexey Anatolyevich, Professor, Dr. Sci. (Physics and Mathematics), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Martynyuk Aleksandr Aleksandrovich, Dr. Sci. (Agric.), 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. (Agric.) 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; Eidgenössische 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

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

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

Poluektov Nikolai Pavlovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Rodin Sergey Anatol'evich, Professor, the Dr. Sci. (Agric.), ARRISMF, Moscow

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

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

Shegelman Ilya Romanovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), PSU, Petrozvodsk

Shchepashchenko Dmitry Gennadievich, Associate Professor, Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria

Shimkovich Dmitriy Grigor'evich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), 000 «Kudesnik», Moscow

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

Teodoronskiy Vladimir Sergeevich, Professor, Dr. Sci. (Agric.), 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 TSNIIMASH, Korolev

Trichkov Neno Ivanov, professor, Dr., Vice-Rector for Research, Forestry University, Sofia, Bulgaria

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

Assistant Editor Raseva Elena Aleksandrovna

Editor L.V. Sivay

Translation by M.A. Karpukhina

Electronic version by Yu.A. Ryazhskaya

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 Institutskaya street, 1
(498) 687-41-33
les-vest@mgul.ac.ru

It is sent for the press 06.07.2020.

Circulation 600 copies

Order №

Volume 18,75 p. p.

Price free

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Стороженко В.Г., Чеботарев П.А., Чеботарева В.В., Засадная В.А. Формирование структуры древостоя культур дуба черешчатого за десятилетний период роста после рубок ухода	5
Дерюгин А.А., Глазунов Ю.Б. Об оценке перспективности подроста ели под пологом березняков южной тайги	12
Килюшев А.Ю., Килюшева Н.В., Феклистов П.А. Запас и энергоемкость ивняков в прирусловой пойме реки Северная Двина	19
Здорнов И.А., Нагимов З.Я., Капралов А.В. Фитомасса березовых древостоев придорожных защитных лесных полос Северного Казахстана	26
Ведерников К.Е., Загребин Е.А., Бухарина И.Л. Особенности биохимического состава древесины ели в насаждениях, подверженных усыханию, в хвойно-широколиственной зоне европейской части России	33
Малиновских А.А. Степень развития растительного покрова в разных типах лесорастительных условий на горях в ленточных борах Алтайского края	43
Кабанова С.А., Кабанов А.Н., Кириллов В.Ю., Данченко М.А. Применение удобрений в лесных питомниках Казахстана	52
Осипик В.С., Говоров, А.И., Щаникова К.Е. Методика расчета пригодности леса к вырубке с учетом флоры и фауны	59
Мигунова Е.С. Лесная типология и ботаника. Экологическая оценка факторов природной среды	65

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Леонов Л.А., Леонова В.А. К истории развития парка «Комсомольский» в урочище Артек	82
--	----

ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Васильев И.А., Кольниченко Г.И., Тарлаков Я.В., Сиротов А.В. Возобновляемые источники энергии в автономных системах электроснабжения	91
--	----

ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Мугат Е.К., Дерцени Р.А., Барти М.Е., Думитру-Добре К. Анализ скорости звука в древесине ели на выжженных участках	98
Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М. Динамические механические характеристики композиционных материалов из древесины березы, гидролизованной в присутствии органических кислот	110

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Комаров Е.Г., Тарасенко П.А., Удалов М.Е., Чернобровина О.К. Программное и аппаратное обеспечение универсального лабораторного стенда	118
Комарова М.Н., Ачильдиев В.М., Бедро Н.А., Грузевич Ю.К., Дудко В.Г., Есаков В.А. Датчик углов и микровибраций для мониторинга состояния зданий и оборудования	128
Бузина Т.С., Иванов Я.М., Петрова С.А. Оптимизация взаимодействия участников кластера по получению пищевой дикорастущей продукции в регионе	138

CONTENTS

BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

Storozhenko V.G., Chebotaryov P.A., Chebotaryova V.V., Zasadnaya V.A. European oak stand formation within ten years after thinning	5
Deryugin A.A., Glasunov Yu.B. Prospect assessment of unergrowth spruce under canopy of birch forests in southern taiga	12
Kilyushev A.Yu., Kilyusheva N.V., Feklistov P.A. Stock and power consumption of willow in riparian floodplain of Northern Dvina river	19
Zdornov I.A., Nagimov Z.Ya., Kapralov A.V. Phytomass of birch trees in roadside protective forest strips in Northern Kazakhstan	26
Vedernikov K.E., Zagrebin E.A., Buharina I.L. Assessment of spruce stands in coniferous-broad-leaved zone in european part of Russia	33
Malinovskikh A.A. Plant cover development degree under different types of forest growth conditions on burnt areas in the belt pine forests of the Altai region	43
Kabanova S.A., Kabanov A.N., Kirillov V.Yu., Danchenko M.A. Employment of fertilizers in forest nurseries of Kazakhstan	52
Osipik V.S., Govorov A.I., Shchanikova K.E. Calculating method of forest cutting considering flora and fauna	59
Migunova E.S. Forest typology and botanics. Environment factors assessment	65

LANDSCAPE ARCHITECTURE

Leonov L.A., Leonova V.A. History of Komsomolsky park in Artek natural boundary	82
---	----

FORESTRY MECHANIZATION

Vasil'ev I.A., Kol'nichenko G.I., Tarlakov Y.V., Siroto A.V. Renewable energy sources in independent systems of power supply	91
--	----

WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

Muşat E.C., Derczeni R.A., Barti M.E., Dumitru-Dobre C. Analysis of sound velocity through wood of spruce trees located into a burned area	98
Skuridin Yu.G., Skuridina E.M. Dynamic mechanical characteristics of birch wood composite materials hydrolyzed in presence of organic acids	110

MATH MODELING

Komarov E.G., Tarasenko P.A., Udalov M.E., Chernobrovina O.K. Software and hardware for universal laboratory bench)	118
Komarova M.N., Achildiev V.M., Bedro N.A., Gruzevich Y.K., Dudko V.G., Esakov V.A. Tilt and microvibrations sensor for monitoring buildings condition and equipment	128
Buzina T.S., Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. Optimization of the interaction of cluster members to obtain wild food products in the region	138

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ДРЕВОСТОЯ КУЛЬТУР ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО ЗА ДЕСЯТИЛЕТНИЙ ПЕРИОД РОСТА ПОСЛЕ РУБОК УХОДА

В.Г. Стороженко, П.А. Чеботарев, В.В. Чеботарева, В.А. Засадная

ФГБУН Институт лесоведения РАН (ИЛАН РАН), 143030, Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, ул. Советская, д. 21

lesoved@mail.ru

Представлены материалы изучения структуры дубового древостоя искусственного происхождения, созданного в зоне коренного произрастания дуба на территории Воронежской обл. на примере Теллермановского опытного лесничества Института лесоведения РАН. Проведена сравнительная оценка породного состава древесного полога в два периода учетов с интервалом в 10 лет — в 2010 г. через 2 года после проведения последнего приема рубок ухода (проходная рубка) и в 2019 г. через 10 лет после первого учета. Состояние деревьев дуба через 10 лет после проведения проходной рубки приближается к усыхающим, в то время как деревья сопутствующих пород имеют высокие показатели состояния. При дальнейшем естественном формировании древостоя ожидаются риски интенсификации усыхания деревьев дуба и смены дубовой формации на кленово-ясеневую-липовую формацию с минимальным участием дуба в составе древостоя.

Ключевые слова: культуры дуба, рубки ухода, состояние деревьев, динамика отпада деревьев

Ссылка для цитирования: Стороженко В.Г., Чеботарев П.А., Чеботарева В.В., Засадная В.А. Формирование структуры древостоя культур дуба черешчатого за десятилетний период роста после рубок ухода // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 5–11. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-5-11

Ведение лесного хозяйства на повышение продуктивности и экологической оптимальности дубовых древостоев лесостепи, где дуб черешчатый испокон веков являлся основной коренной лесообразующей породой, относится к важнейшим задачам лесопромышленных организаций лесодефицитных регионов страны. Парадигма рационального ведения хозяйства в дубовых лесах была актуальна еще в весьма далекой исторической ретроспективе. Можно привести пример из нашей отечественной истории XVIII в., когда император Петр I, понимая огромное значение дубовых лесов для Государства Российского, своим указом собственноручно обязывал «... в которых местах готовится дуб на корабельные дела, там по вырублении старого, следует запускать молодым лесом и того молодого лесу ни на какие указные нужды рубить не давать, а беречь потомкам пока в годность не придет» [1]. Понятен интерес, который проявляет научное сообщество в наше время к разработке приемов формирования наиболее производительных высокополнотных высокобонитетных дубовых древостоев. Этому направлению посвящены исследования многих научных центров и ученых как в России, так и за рубежом. Известны предложенные Г.А. Корнаковским узколесосечные чересполосные рубки, который обосновал приемы ведения хозяйства после них, что обеспечило возобновление дуба. В связи с этим такие рубки получили название «рубка Корнаковского» [2], работы К.Б. Лосицкого по восстановлению дубрав и рубкам ухода в них [3],

обстоятельный труд Н.П. Калиниченко [4], исследования ученых Воронежской лесотехнической академии — Бугаева и др. [5], В.В. Царалунги [6], Харченко [7], комплексные исследования дубрав Теллермановского леса сотрудников Института лесоведения РАН под руководством А.А. Молчанова [8]. Проблемам ведения хозяйства в дубравах значительное внимание уделено в европейских странах и США [9–12]. Современные исследования научных и инженерных сотрудников Института лесоведения РАН также посвящены проблемам деградации, трансформации и воспроизводства дубовых древостоев в лесостепной зоне как стратегически важных для страны лесных формаций.

Динамика формирования структуры древостоя культур дуба черешчатого после проведения последних рубок ухода (проходных рубок) в период их естественного роста представляет интерес с различных позиций:

– во-первых, с общих позиций изучения формирования породной структуры древесного полога культур после проведения рубок ухода и присутствия дуба в составе древостоя как целевой эдификаторной породы выращивания и сопутствующих дубу пород как по числу деревьев, так и по объемным показателям;

– во-вторых, с позиции изменения количества и объемов текущего древесного отпада различных категорий и накопления свежего валежа за десятилетний период после осуществления последнего вида плановых рубок ухода;

– в-третьих, с позиций изменения состояния как отдельных пород, так и древостоя в целом за тот же период.

Результатом формирования породной структуры искусственных дубовых древостоев, как и культур других пород, методом ухода по традиционным технологиям (четыре вида рубок ухода), проводимым до возраста 60 лет, предполагается достижение максимально возможного преобладания главной эдификаторной породы в составе древостоя [13]. Понятно, что в дубовых культурах процесс дифференциации древесного полога не прекращается и после 60 лет, т. е. после первого приема проходных рубок. Для ответа на все вынесенные выше на обсуждение позиции были проведены исследования состава, динамики отпада и состояния дубовых культур в возрасте 72 лет с проведенными в них полночленными рубками ухода в два периода учета с интервалом 10 лет — в 2010 и в 2019 гг.

Цель работы

Цель работы — изучение особенностей формирования структуры древесного полога, динамики состояния основных лесообразующих пород и перспективы развития дубового древостоя искусственного происхождения в период естественного роста после последних рубок ухода при производстве традиционных методов ухода за дубовыми культурами.

Объекты и методы исследований

В качестве объекта изучения приняты дубовые культуры, заложенные в кв. 6 выд. 11 в 1947 г. Размер ПП составил 0,2 га. Результаты обработки измерений переведены в расчете на 1 га. В культурах в послевоенные годы проведены полночленные рубки ухода (четыре вида — рубки осветления, прочистки, прореживания и проходные) [13]. В древостое ПП проведен учет деревьев всех пород в два периода: в 2010 г. через два года после первого приема проходной рубки и в 2019 г. через 10 лет после первого учета. На площади выдела культур в течение этого периода рубок не проводилось и древостой формировался естественным путем. Учет велся по единой методике и с единой глазомерной оценкой состояния крон и стволов деревьев. Были измерены диаметры стволов деревьев, определена категория состояния деревьев по их кронам с учетом развития вторичных крон [14, 15]. При этом особое внимание уделялось сравнительной оценке этих параметров и величине отпада деревьев из состава древостоев по категориям усыхающих, свежего и старого сухостоя (текущий древесный отпад — ТДО), а также свежего валежа. В камеральных условиях определены объемные показатели деревьев раз-

ных пород по вариантам учетов двух периодов с участием деревьев всех категорий состояния (1–6 категории), деревьев ТДО (4–6 категории) и деревьев свежего валежа (не более 3 лет после вывала) [16]. Кроме того, определялись средние значения категорий состояния деревьев по двум вариантам: с учетом деревьев всех категорий состояния в составе древостоя [16] и без деревьев категорий ТДО, стоящих на корню в составе древостоя. Для вычисления объемов деревьев определялись разряды высот древостоев, которые для условий лесостепной зоны южных регионов, в том числе для древостоев Теллермановского опытного лесничества ИЛАН РАН для дуба, клена и ясеня, относятся к II разряду; для липы и вяза, относящихся по происхождению к порослевым, к IV разряду высот. Подсчитывались запасы древесины пород в изучаемых вариантах учетов древостоя [16].

Результаты и обсуждение

Изучаемые культуры дуба черешчатого создавались посадкой саженцев в борозды по раскорчеванной вырубке. В послевоенный период нашей недавней истории все лесохозяйственные мероприятия по посадке и уходу за лесом проводились с особой тщательностью и неукоснительным соблюдением всех особенностей создания лесных культур дуба, поэтому ожидаемый положительный эффект от проведения лесохозяйственных уходов по формированию оптимальной структуры дубовых культур проявился в полной мере. В период между проведенными учетами рубки в древостое не проводились, и в настоящее время формирование древесного полога этого насаждения проходит по естественному сценарию развития (табл. 1).

По данным табл. 1 можно сделать важные выводы. По показателям количества и запасов деревьев дуба в составе древостоя можно говорить об успешности проведенных рубок ухода по формированию древостоя до статуса дубовой формации. Даже при уменьшении числа стволов дуба на 115 стволов за прошедшие 10 лет объем дубовой части древостоя практически не уменьшился. Объемы текущего отпада также остались на прежнем уровне, немного увеличилось количество деревьев и объемы свежего валежа. То же самое можно сказать и о других породах — спутниках дуба в составе древостоя — ясене, клене остролистном, клене полевым и липе.

Вместе с тем обращает на себя внимание большая примесь в составе сформированного дубового древостоя лиственных пород, составляющая значительно более половины общего числа деревьев на 1 га — 64,3 % в 2010 г. и 70,1 % в 2019 г. и около трети их объема. Их суммарный текущий

Т а б л и ц а 1

Динамика отпада деревьев культур дуба возрастом 72 лет за десятилетний период роста (кв. 6 выд. 11)

The dynamics of mortality of oak trees aged 72 years within a ten-year growth period (sq. 6 issue 11)

Древесная порода	Площадь, учета, га	Годы учета											
		2010						2019					
		Кд, шт.	Од, м ³	ТДО		Валеж		Кд, шт.	Од, м ³	ТДО		Валеж	
				Кд, шт.	Од, м ³	Кд, шт.	Од, м ³			Кд, шт.	Од, м ³	Кд, шт.	Од, м ³
Дуб	0,2	76	60,6	24	7,7	8	2,3	53	59,4	23	7,7	10	2,5
	1,0	380	303,0	120	38,5	40	11,5	265	297,0	115	38,5	50	12,5
Ясень	0,2	21	8,5	4	0,8	2	0,8	16	9,8	4	0,3	1	0,2
	1,0	105	42,5	20	1,5	10	4,0	80	49,0	20	1,5	5	1,0
Клен о	0,2	97	13,8	7	0,3	2	0,1	96	13,0	7	0,3	2	0,8
	1,0	485	69,0	35	1,5	35	1,5	480	65,0	35	1,5	10	4,0
Клен п	0,2	7	0,2	0	0	0	0	7	0,6	0	0	1	0,2
	1,0	35	1,0	0	0	0	0	35	3,0	0	0	5	0,5
Липа	0,2	12	2,0	1	0,1	0	0	10	1,7	1	0,2	0	0
	1,0	60	10,0	5	1,0	0	0	50	8,5	5	1,0	0	0

Примечание. Кл о — клен остролистный; Кл п — клен полевой; Кд — количество деревьев; Од — объемы деревьев; ТДО — текущий древесный отпад.

отпад составляет немного больше половины отпада дуба. Такое соотношение дубовой секции и секции сопутствующих пород можно связать с негативным влиянием деревьев сопутствующих пород на состояние деревьев дуба. Причем можно видеть, что количество и объемы валежа дуба значительно превосходят таковые лиственных пород, что говорит о непрекращающемся процессе отмирания дуба в плотном стоянии сомкнутого древостоя и негативном влиянии на этот процесс сопутствующих дубу пород.

Таким образом, в результате тщательно проведенных рубок ухода по традиционной принятой в лесном хозяйстве методике с применением четырех видов рубок ухода в изучаемых культурах произошла некоторая стабилизация соотношения количества деревьев дуба и других пород в составе древесного яруса. Достигнутая стабилизация с учетом слишком большого количества и объемов деревьев сопутствующих дубу пород не вполне обеспечивает оптимальное присутствие дуба в составе сформированного древостоя. Это положение подтверждается структурами формул породного состава древостоя, сформированных в два периода учетов по объемам деревьев и по их количеству: по учетам 2010 г. состав формулы древостоя по числу деревьев имел вид 5Кло4Д1Яс + Клп, Лп; по запасу 7Д2Кло1Яс + Лп; по учетам 2019 г. — по числу деревьев 5Кло3Д1Клп + Лп, по запасу — 7Д2Кло1Яс+Лп. Присутствие большого количества деревьев сопутствующих пород зна-

Т а б л и ц а 2

Показатели состояния деревьев основных лесообразующих пород в различные периоды учета, баллы
Indicators of the state of the main forest-forming species in different accounting periods, points

Древесная порода	Годы учета			
	2010		2019	
	Увд	Убез ТДО	Увд	Убез ТДО
Дуб	2,8	2,2	3,6	2,5
Ясень	2,7	1,7	1,4	1,1
Клен о	2,1	1,8	1,4	1,3
Клен п	2,0	2,0	2,0	1,5
Липа	2,9	2,3	1,6	1,5
Среднее	2,5	2,0	2,0	1,3

Примечание. Увд — учет деревьев всех категорий; УбезТДО — учет деревьев без текущего древесного отпада.

чительно снижает количество и, следовательно, объем деревьев дуба.

Из этого следует, что существующая методика проведения лесохозяйственных уходов за культурами дуба даже при тщательном ее соблюдении не выполняет в полном объеме целевую задачу формирования высокополнотных высококачественных дубовых древостоев.

При изучении различных аспектов формирования структур дубовых древостоев уделяется большое внимание различным аспектам состояния древостоев [14, 15]. Сравнительный анализ этого показателя в динамике формирования искусственного дубового древостоя имеет свои особенности (табл. 2). В табл. 2 приведены показатели состояния пород, слагающих изучаемый древостой, двух временных периодов. Анализируя полученные данные, можно заключить, что состояние крон деревьев всех пород, кроме дуба, как с учетом деревьев текущего отпада, так и без них, в 2010 г. было заметно хуже, чем в 2019 г. Обращают на себя внимание низкие значения состояния деревьев сопутствующих дубу пород по пересчетам 2010 г. с учетом деревьев текущего древесного отпада, и вполне приемлемые для тех же пород в 2019 г.

Объяснить это положение можно только тем, что проходная рубка, проведенная за два года до первого учета была проведена без должной тщательности, с оставлением на корню деревьев категорий текущего древесного отпада, снизивших показатель общего состояния древостоя. Показатели состояния деревьев дуба с учетом деревьев текущего отпада в 2019 г. приближаются к категории усыхающих. Эти значения показывают, что за 10 лет после проведения проходных рубок в древостое накопилось большое количество деревьев дуба категории текущего отпада, учет которых так же снижает показатель состояния породы в целом. Показатель состояния дуба без учета текущего древесного отпада вполне отвечает характеристикам нормального состояния дуба в плотном состоянии сомкнутого древостоя. Можно также предположить, что проведенные за шестидесятилетний период рубки ухода положительно сказались на состоянии других пород. Различия между двумя значениями состояния показывают насколько присутствие деревьев естественного текущего отпада влияют на общее состояние древостоев. В то же время состояние деревьев дуба в оба периода наблюдений остается более ослабленным, нежели остальных пород. Можно заметить, что рубки ухода по секции дуба имели свое положительное влияние на состояние породы только до времени их проведения, но с окончанием этого периода (после 60-летнего периода ухода) в древостое продолжилось накопление объемов текущего древесного отпада, которое негативно повлияло на общем значении состоянии дубовой секции древостоя.

Сравнительная оценка значений по периодам учета показывает, что наибольшие расхождения в значениях с учетом отпада и без такового можно видеть у ясеня и липы учетов 2010 г — 1,3 балла. Из этого следует, что за 10 лет из всех сопутствующих пород наибольший отпад пришелся на долю деревьев этих пород. К тому же выпадали

деревья со стволами довольно крупных диаметров, приближающихся для дуба и клена остролистного к средним для древостоя, а для ясеня — к максимальным значениям (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Средние значения диаметров деревьев разных пород и категорий состояния в разные периоды учета

The average values of the diameters of trees of different species and status categories in different accounting periods

Древесные породы	Годы учета					
	2010			2019		
	1–6*	4–6*	Валеж	1–6*	4–6*	Валеж
Дуб	23,2 ± 3,2	20,9 ± 3,5	18 ± 2,4	24,8 ± 7,1	22,7 ± 6,0	19 ± 1,7
Ясень	14,0 ± 5,0	12,6 ± 4,2	22 ± 4,3	20,4 ± 5,2	–	28 ± 0
Клен о	9,8 ± 1,5	7,7 ± 3,3	9 ± 0,5	9,8 ± 4,1	7,7 ± 1,4	9 ± 0,6
Клен п	9,8 ± 0,9	–	–	9,6 ± 2,7	12,0 ± 0	6 ± 0
Липа	12,7 ± 1,3	12,0 ± 0	–	15,4 ± 1,5	–	–

*1–6— учетные категории состояния деревьев.

Такие показатели характерны для древостоев, находящихся в стадии естественного формирования и после окончания всего цикла рубок ухода, в том числе проходных рубок. Как известно, цель проведения проходных рубок заключается в создании благоприятных условий для увеличения прироста древесины деревьев преимущественно главной породы [13]. Анализ табл. 3 показал, что такая тенденция характерна для всех пород, включая дуб.

Формирование оптимальной структуры древостоя с максимальным присутствием дуба, исходя из представленных данных и выводов на их основе, не всегда обеспечивается при производстве рубок ухода, проводимых по традиционным технологиям. В то же время при тщательном соблюдении всех правил ухода за лесом достигается формирование насаждения, отвечающего статусу дубового по запасу с семью единицами дуба в составе (см. табл. 1), что на данном этапе формирования древостоя соответствует достижению цели получения дубового древостоя. Отметим, что значительные показатели ослабленности деревьев дуба и, напротив, высокие показатели состояния деревьев ясеня, клена, липы и количество деревьев этих пород в составе древостоя неизбежно приведут к интенсивному отпаду дуба в течение последующих лет естественного формирования структуры древостоя до второго и последующих приемов проходных рубок и увеличению доли сопутствующих пород в формуле его состава.

Выводы

Анализ показателей количества и объемов деревьев дуба в составе древостоя с проведенными рубками ухода по традиционным технологиям позволяет говорить о возможности формирования древостоя до статуса дубовой формации, по крайней мере, в первые 10–15 лет после проведения первого приема проходных рубок. Даже при тщательном соблюдении всех правил рубок ухода на корню остается большое количество и внушительные объемы деревьев сопутствующих пород.

Состояние деревьев дуба через 10 лет после проведения проходной рубки с учетом деревьев всех категорий состояния приближается к усыхающим, а без учета деревьев текущего отпада — к сильно ослабленным, в то время как деревья сопутствующих пород имеют высокие показатели состояния. В последующие периоды естественного формирования культур дуба до второго и последующих приемов проходных рубок ожидаются риски интенсификации усыхания деревьев дуба и смены дубовой формации на кленово-ясеневую липовую формацию с незначительным участием дуба в составе древостоя.

В этой связи Институтом лесоведения РАН и его филиалом — Теллермановским опытным лесничеством при создании культур дуба предлагается разработанный и внедренный в практику выращивания дубовых древостоев инновационный метод непрерывного цикла формирования древостоя, при котором исключаются два вида рубок ухода (прореживание и проходные рубки), весь цикл уходов сокращается до 15–16 лет. К этому сроку культуры дуба смыкаются и формируется высокополнотный дубовый древостой с составом до 10 единиц дуба в первом ярусе, в котором никакие сопутствующие породы не могут конкурировать с дубом за свет и пространство [17–20].

Список литературы

- [1] Зверев А.И. Первый лесовод России. Исток. М.: Альтаир, 2012. 120 с.
- [2] Корнаковский Г.А. О возобновлении дубовых насаждений в Теллермановской роще // Лесопромышленный вестник, 1904. № 43, 44, 46. С. 649–707.
- [3] Лосицкий К.Б. Восстановление дубрав. М.: Сельхозгиз, 1963. 358 с.

- [4] Калиниченко Н.П. Дубравы России. М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. 536 с.
- [5] Бугаев В.А., Мусиевский А.Л., Царалунга В.В. Дубравы лесостепи. Воронеж: ВГЛТА, 2013. 217 с.
- [6] Царалунга В.В. Санитарные рубки в дубравах: обоснование и оптимизация. М.: МГУЛ, 2003. 239 с.
- [7] Харченко Н.А. Деградация дубрав Центрального Черноземья. Воронеж: ВГЛТА, 2010. 604 с.
- [8] Молчанов А.А. Дубравы лесостепи в биогеоэкологическом освещении. М.: Наука, 1975. 374 с.
- [9] Holten N.E. Eidenwirtschaft-dargestellt an Beispielen aus dem dänischen Forscamt Bregentved // Forstarchiv, 1986, v. 57, no. 6, pp. 221–227.
- [10] Lang G.E. Litter dynamics in a mixed Oak forest on the New Jersey Piedmont // Bull. Torrey. Bot. Club., 1974, v. 101, no. 5, pp. 277–286.
- [11] Minckler L.S. How pin oak stands respond to changes in stand density and structure // J. of Forestry, 1967, v. 65, no. 4, pp. 256–257.
- [12] Siwecki R, Liese W. Oak decline in Europe // Proceedings of an International IUFRO Symposium, Komik, Poland, 1990, p. 360.
- [13] Правила рубок ухода за лесами. Приказ Рослесхоза № 185 от 16.07.2007. 59 с.
- [14] Стороженко В.Г., Чеботарева В.В., Чеботарев П.А. Состояние древесных пород и воспроизводство дубовых древостоев в зоне лесостепи // Лесохозяйственная информация, 2018. № 3. С. 51–63.
- [15] Правила санитарной безопасности в лесах РФ. Приказ Правительства РФ от 20.05.2017. № 607.
- [16] Анучин Н.П., Успенский В.В., Аглиуллин Ф.В., Никитин К.Е., Соколов П.А., Моисеенко Ф.П., Гуров А.Ф. Сортиментные и товарные таблицы для лесов центральных и южных районов европейской части РСФСР. М., 1987. 128 с.
- [17] Стороженко В.Г., Чеботарева В.В., Чеботарев П.А. Воспроизводство дубовых лесов на лесосеках, вышедших из-под рубок спелых насаждений, в зоне лесостепи // Развитие идей Г.Ф. Морозова при переходе к устойчивому лесопроизводству. Материалы междунауч.-техн. юбил. конф. Воронеж, 20–21 апреля 2017 г. Воронеж: ВГЛТА, 2017. С. 222–226.
- [18] Чеботарев П.А., Чеботарева В.В., Стороженко В.Г. Структура и состояние древостоев в дубравах лесостепи естественного происхождения (на примере лесов Теллермановского опытного лесничества ИЛАН РАН Воронежской обл.) // Лесоведение, 2016. № 5. С. 43–49.
- [19] Чеботарев П.А., Чеботарева В.В. Формирование искусственных дубовых древостоев в регионах лесостепной зоны европейской части России // Межрегион. науч. конф. «Флора и растительность центрального Черноземья – 2014», (Курск, 5 апреля 2014, Курск: Курский государственный университет, 2014. С. 174–179.
- [20] Чеботарев П.А., Чеботарева В.В. Динамика трансформации дубовых древостоев лесостепи (по материалам лесоустройства Теллермановского опытного лесничества ИЛАН РАН) // Проблемы воспроизводства лесов Российской Федерации. Матер. Междунар. науч.-практ. конф., Пушкино: ВНИИЛМ, 2015. С. 172–179.

Сведения об авторах

Стороженко Владимир Григорьевич — д-р биол. наук, глав. науч. сотрудник Института лесоведения РАН, lesoved@mail.ru

Чеботарев Павел Анатольевич — вед. инж. Института лесоведения РАН, chebotareva@ilan.ras.ru

Чеботарева Валентина Васильевна — директор Теллермановского опытного лесничества Института лесоведения РАН, chebotareva@ilan.ras.ru

Засадная Вера Александровна — стар. лабор.-исслед. Института лесоведения РАН, zasada720006@mail.ru

Поступила в редакцию 10.12.2019.

Принята к публикации 23.03.2020.

EUROPEAN OAK STAND FORMATION WITHIN TEN YEARS AFTER THINNING

V.G. Storozhenko, P.A. Chebotaryov, V.V. Chebotaryova, V.A. Zasadnaya

Institute of Forest Science RAS, 21, Sovetskaya st., village Uspenskoe, Odintsovo district, 143030, Moscow reg., Russia

lesoved@mail.ru

A comparative assessment of the dynamics of the species composition of the canopy in two accounting periods with an interval of 10 years was carried out — in 2010 2 years after the last reception of thinning (passage felling) and in 2019 10 years after the first registration. Thinning carried out according to traditional technologies with careful observance of all rules for the care of forest crops allows you to form a stand that corresponds to the status of the oak formation in the first 10–15 years after the last type of thinning. However, in the stand there is a large admixture of deciduous species, which makes up more than half of the total number of trees in the trial plot and about a third of their volume. Their total mortality is half or slightly more than half the mortality of the oak. Such a ratio of the oak section trees and the related species section can be attributed to the negative influence of the accompanying species trees on the condition of the oak trees. This is due to the not quite optimal methodology for forest management to form high-quality oak stands. The condition of the oak trees 10 years after the felling is approaching the category of drying out, while the trees of accompanying species have high status indicators. In subsequent periods of the natural formation of oak crops, risks of intensification of drying out of oak trees and a change in the oak formation to a maple-ash-lime tree formation are expected.

Keywords: oak species, thinning, state of trees, dynamics of mortality of trees

Suggested citation: Storozhenko V.G., Chebotaryov P.A., Chebotaryova V.V., Zasadnaya V.A. *Formirovanie struktury drevostoya kul'tur duba chereshchatogo za desyatiletniy period rosta posle rubok ukhoda* [European oak stand formation within ten years after thinning]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 5–11. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-5-101

References

- [1] Zverev A.I. *Pervyy lesovod Rossii. Istok* [The first forester in Russia. Source]. Moscow: Altair, 2012, 120 p.
- [2] Kornakovskiy G.A. *O vozobnovlenii dubovykh nasazhdeniy v Tellermanovskoy roshche* [About the resumption of oak plantations in the Tellerman grove]. *Lesopromyshlennyy vestnik*, 1904, no. 43, 44, 46, pp. 649–707.
- [3] Lositskiy K.B. *Vosstanovlenie dubrav* [Restore oak forests]. Moscow: Selkhozgiz, 1963, 358 p.
- [4] Kalinichenko N.P. *Dubravyy Rossii* [Oak trees of Russia]. Moscow: VNIItslesresurs, 2000, 536 p.
- [5] Bugaev V.A., Musievskiy A.L., Tsaralunga V.V. *Dubravyy lesostepi* [Oak forest forest-steppe]. Voronezh: VGLTA, 2013, 217 p.
- [6] Tsaralunga V.V. *Sanitarnyye rubki v dubravakh: obosnovanie i optimizatsiya* [Sanitary felling in oak forests: rationale and optimization]. Moscow: MGUL, 2003, 239 p.
- [7] Kharchenko N.A. *Degradatsiya dubrav Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Degradation of oak forests of the Central Black Earth Region]. Voronezh: VGLTA, 2010, 604 p.
- [8] Molchanov A.A. *Dubravyy lesostepi v biogeotsenoticheskom osveshchenii* [Forest-steppe oak forests in biogeocenotic lighting]. Moscow: Nauka [Science], 1975, 374 p.
- [9] Holten N.E. Eidenwirtschaft-dargestellt an Beispielen aus dem dänischen Forstamt Bregentved. *Forstarchiv*, 1986, v. 57, no. 6, pp. 221–227.
- [10] Lang G.E. Litter dynamics in a mixed Oak forest on the New Jersey Piedmont. *Bull. Torrey Bot. Club.*, 1974, v. 101, no. 5, pp. 277–286.
- [11] Minckler L.S. How pin oak stands respond to changes in stand density and structure. *J. of Forestry*, 1967, v. 65, no. 4, pp. 256–257.
- [12] Siwecki R, Liese W. Oak decline in Europe. *Proceedings of an International IUFRO Symposium*, Kornik, Poland, 1990, p. 360.
- [13] *Pravila rubok ukhoda za lesami. Prikaz Rosleskhoza № 185 ot 16.07. 2007* [Rules for thinning forests. Order of the Federal Forestry Agency No. 185 dated July 16 2007], 2007, 59 p.
- [14] Storozhenko V.G., Chebotareva V.V., Chebotarev P.A. *Sostoyanie drevesnykh porod i vosproizvodstvo dubovykh drevostoev v zone lesostepi* [The state of tree species and reproduction of oak stands in the forest-steppe zone]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2018, no. 3, pp. 51–63.
- [15] *Pravila sanitarnoy bezopasnosti v lesakh RF. Prikaz Pravitel'stva RF ot 20.05.2017. № 607* [Sanitary safety rules in the forests of the Russian Federation. Order of the Government of the Russian Federation of 05.20.2017. No. 607]
- [16] Anuchin N.P., Uspenskiy V.V., Agliullin F.V., Nikitin K.E., Sokolov P.A., Moiseenko F.P., Gurov A.F. *Sortimentnyye i tovarnyye tablitsy dlya lesov tsentral'nykh i yuzhnykh rayonov Evropeyskoy chasti RSFSR* [Assortment and commodity tables for forests in the central and southern regions of the European part of the RSFSR]. Moscow, 1987, 128 p.
- [17] Storozhenko V.G., Chebotareva V.V., Chebotarev P.A. *Vosproizvodstvo dubovykh lesov na lesoskakh, vyshedshikh iz-pod rubok spelykh nasazhdeniy, v zone lesostepi* [Reproduction of oak forests on cutting areas that have left ripe stands in the forest-steppe zone] *Razvitie idey G.F. Morozova pri perekhode k ustoychivomu lesoupravleniyu* *Materialy mezhdunarodnoy nauchno- tekhnicheskoy yubileynoy konferentsii* [G.F. Morozova in the transition to sustainable forest management Materials of the international scientific and technical anniversary conference], Voronezh April 20–21, 2017. Voronezh: VGLTA, 2017, pp. 222–226.
- [18] Chebotarev P.A., Chebotareva V.V., Storozhenko V.G. *Struktura i sostoyanie drevostoev v dubravakh lesostepi estestvennogo proiskhozhdeniya (na primere lesov Tellermanovskogo opytnogo lesnichestva ILAN RAN Voronezhskoy obl.)* [The structure and condition of stands in the oak forests of the forest-steppe of natural origin (on the example of the forests of the Tellerman experimental forestry of the Institute of Forestry, RAS, Voronezh Region)]. *Lesovedenie* [Forestry], 2016, no. 5, pp. 43–49.

- [19] Chebotarev P.A., Chebotareva V.V. *Formirovanie iskusstvennykh dubovykh drevostoev v regionakh lesostepnoy zony Evropeyskoy chasti Rossii* [The formation of artificial oak stands in the regions of the forest-steppe zone of the European part of Russia]. Mezhr regional'naya nauchnaya konferentsiya «Flora i rastitel'nos' tsentral'nogo Chernozem'ya – 2014» [Interregional Scientific Conference «Flora and Vegetation of the Central Chernozem Region – 2014»], Kursk, April 5, 2014. Kursk: Kursk State University, 2014, pp. 174–179.
- [20] Chebotarev P.A., Chebotareva V.V. *Dinamika transformatsii dubovykh drevostoev lesostepi (po materialam lesoustroystva Tellermanovskogo opytnogo lesnichestva ILAN RAN)* [Dynamics of transformation of oak forest stands of forest-steppe (based on forest inventory materials of the Tellerman Experimental Forestry of the Institute of Forestry, RAS)] Problemy vosproizvodstva lesov Rossiyskoy Federatsii. Mater. Mezhdunarodnoy nauch. praktich. konf. [Problems of Forest Reproduction in the Russian Federation. Mater. International Scientific practical conf.]. Pushkino: VNIILM, 2015, pp. 172–179.

Authors' information

Storozhenko Vladimir Grigorievich — Dr. Sci. (Agriculture) of the Institute of Forestry, Russian Academy of Sciences, chapters. scientific employee, lesoved@mail.ru

Chebotarev Pavel Anatolievich — Principal Engineer of the Institute of Forestry, RAS, chebotareva@ilan.ras.ru

Chebotareva Valentina Vasilievna — Director of the Tellerman Experimental Forestry of the Institute of Forestry RAS, chebotareva@ilan.ras.ru

Zasadnaya Vera Alexandrovna — Older lab.-research of the Institute of Forestry, RAS, zasada720006@mail.ru

Received 10.12.2019.

Accepted for publication 23.03.2020.

УДК 630*231.1

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-12-18

ОБ ОЦЕНКЕ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПОДРОСТА ЕЛИ ПОД ПОЛОГОМ БЕРЕЗНЯКОВ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

А.А. Дерюгин, Ю.Б. Глазунов

ФГБУН Институт лесоведения РАН (ИЛАН РАН), 143030, Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, ул. Советская, д. 21

da45@mail.ru

Рассмотрена возможность использования отношения протяженности кроны к высоте деревьев подроста ели под пологом березы для оценки их перспективности при формировании второго яруса древостоя. Приведены градации данного отношения и соответствующая им доля перспективных деревьев подроста.

Ключевые слова: березняки, подрост ели, перспективность, критерий оценки

Ссылка для цитирования: Дерюгин А.А., Глазунов Ю.Б. Об оценке перспективности подроста ели под пологом березняков южной тайги // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 12–18.

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-12-18

В условиях южной тайги березняки относятся к наиболее распространенной лесной растительной формации вследствие рубок коренных ельников в прошлом и существенного снижения объемов рубок ухода в молодняках мелколиственных пород в период реформирования системы организации лесного хозяйства. В настоящее время в регионе березняки представлены на 48 % площади, покрытой лесной растительностью. На значительной площади (75 %) под пологом таких древостоев имеется подрост или тонкомер ели [1], которые при проведении специальных рубок могут стать основой для восстановления коренных ельников. Результативность таких рубок во многом зависит от состояния елового подроста. Изменению состояния подроста ели после рубки березняков рассмотрено в многочисленных публикациях [2–7]. Особое значение оценка возможностей подроста ели приобретает при естественном ходе формирования березняков с подпологовой популяцией ели. Исследованиям состояния подроста посвящено много публикаций. В них приводятся различные подходы к оценке его перспективности для формирования будущих древостоев [8–17]. В настоящее время в качестве одного из рекомендуемых показателей для этого используют отношение протяженности кроны дерева к его высоте.

Цель работы

Цель работы — анализ возможности применения отношения протяженности кроны дерева к его высоте (K_H) для оценки перспективности подроста подпологовой популяции ели в южно-таежных березняках.

Объекты и методика исследований

В основу анализа положены наблюдения в режиме мониторинга (один раз в 10 лет) на 13 по-

стоянных пробных площадях (ПП) Северной лесной опытной станции Института лесоведения РАН в Рыбинском районе Ярославской обл., заложенных в березняках возрастом 31...50 и 51...70 лет, которые находятся на таких стадиях возрастного развития, как возмужание (Бв) и зрелость (Бз) [18, 19]. Средние таксационные характеристики первого яруса древостоя и подроста приведены в табл. 1.

Согласно лесостроительным нормативам, к подросту относили деревья высотой менее 25 % средней высоты деревьев первого яруса [13]. В первом ярусе древостоя доминировала береза, в подросте представлена исключительно ель.

В процессе измерения высоты деревьев и протяженности их крон визуально оценивали состояние деревьев по следующей классификации: нормальное, ослабленное, погибшее. К нормальным относили деревья с симметрично развитыми кронами и сквозистостью менее 50 %. Измерение необходимых параметров проведено почти у 4600 деревьев ели, у которых отсутствовали какие-либо дефекты ствола (изогнутость, наклонность ствола) и повреждения (слом вершинного побега и др.). При повторных учетах устанавливали динамику изменения состояния каждого дерева и по доле участия в группах K_H ($K_H = 0,01...0,10$; $K_H = 0,11...0,20$... $K_H = 0,71...0,80$; $K_H > 0,80$) деревьев, сохранивших статус «нормальных», определяли число перспективных деревьев. К последним относили особи, которые способны принять участие в формировании второго яруса ели в будущем древостое.

Результаты и обсуждение

Корреляционным анализом установлено, что рассматриваемый показатель K_H характеризуется отсутствием или очень слабой связью с абсолютными значениями ряда биометрических ха-

Т а б л и ц а 1

Характеристика первого яруса древостоя и подроста в березняках возрастом 31...50 (возмужание) и 51...70 (зрелость) лет на пробных площадях

The characteristics of the first tier of the forest stand and undergrowth in birch forests aged 31 ... 50 (maturity) and 51 ... 70 (maturity) years on trial plots

Стадия возрастного развития березняка	Ярус	Состав, %	Густота, тыс. шт. га ⁻¹	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр на высоте 1,3 м от земли, см	Сумма площадей сечения на высоте 1,3 м от земли, м ² га ⁻¹	Запас стволовой древесины, м ³ га ⁻¹
Возмужание (Бв)	Первый	83Б	0,98	47	22	17,1	21,66	218
		17Ос	0,15	47	24	24,1	4,02	42
	Подрост	100Е	2,92	25	2	—	—	—
Зрелость (Бз)	Первый	88Б	0,54	76	27,4	24,4	24,5	297
		12Ос	0,04	78	29,2	34,7	3,26	42
	Подрост	100Е	0,89	58	3,8	—	—	—

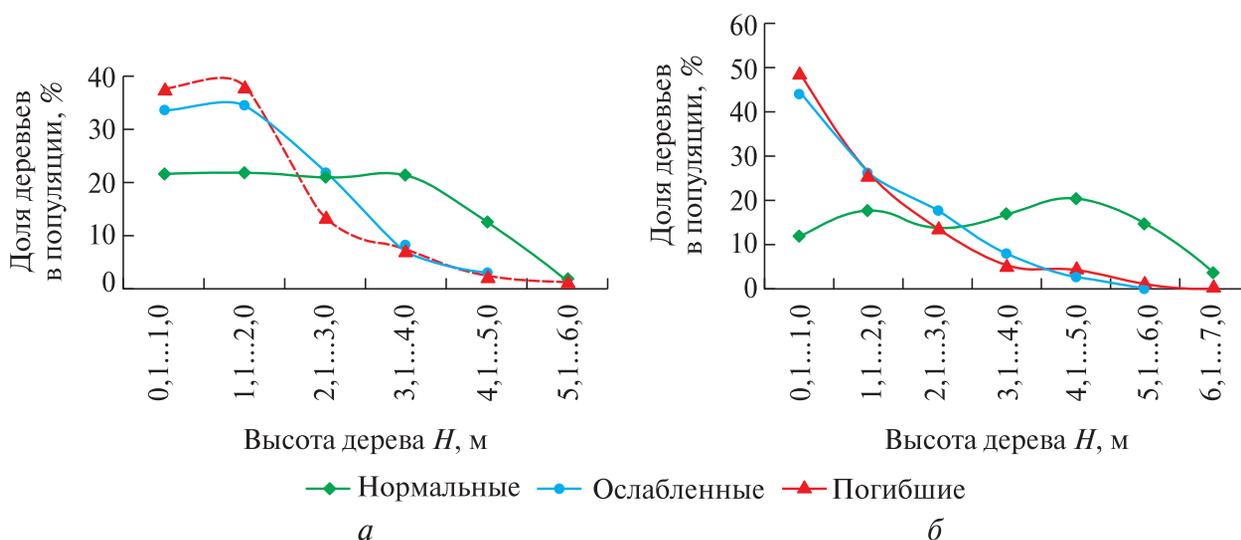


Рис. 1. Распределение деревьев елового подроста разного состояния по высотным группам под пологом березняков в стадиях возмужания (а) и зрелости (б)

Fig. 1. The distribution of trees of spruce undergrowth of a different state among the altitude groups under the canopy of birch forests in the stages of maturation (а) and maturity (б)

рактических деревьев. Практически нет связи с высотой деревьев (Н), небольшие коэффициенты корреляции (0,21...0,35) характеризуют связь с параметрами крон — S_K , L_K и V_K (табл. 2). Это показывает на возможность объективного использования показателя K_H для оценки перспективности деревьев подроста.

Предварительно для уточнения целесообразности выделения трех групп деревьев по состоянию было проанализировано распределение деревьев подроста по однометровым высотным группам. Как следует из нижеприведенных графиков, кривые распределения ослабленных и погибших (отпад) в межмониторинговый период деревьев в рассматриваемых березняках существенно не отличаются, что дает возможность объединения таких деревьев в одну совокупность при дальнейшем анализе (рис. 1). Это также сви-

детельствует о том, что отпад елового подроста в рассматриваемых березняках происходит преимущественно из числа ослабленных деревьев.

По анализу распределения выделенных по состоянию групп деревьев по значению показателя K_H установлено, что для нормальных деревьев характерно преобладание елей со значением $K_H > 0,60$. Это особенно выражено в березняках, находящихся в стадии возмужания, где на долю таких деревьев приходится около 80 % численности подроста (рис. 2).

В березняках на стадии зрелости, при совпадении пиков распределения это значение меньше (около 60 %). Здесь возрастает доля нормальных деревьев со значениями $K_H < 0,60$. Для распределения ослабленных и погибших деревьев характерно смещение пиков в сторону меньших значений K_H . Это в большей мере наблюдается

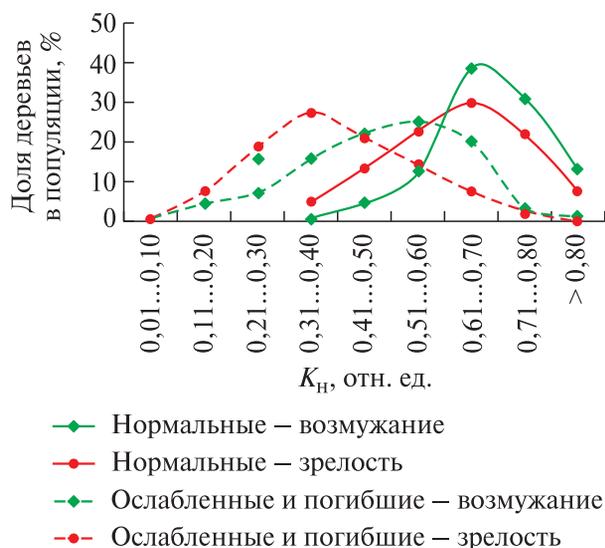


Рис. 2. Распределение деревьев подроста ели разного состояния по значению показателя K_H в березняках на стадиях возмужания и зрелости
 Fig. 2. Distribution of undergrowth trees of different state of spruce according to the value of the K_H index in birch forests at the stages of maturation and maturity

Т а б л и ц а 2

Корреляционная матрица связи K_H с биометрическими характеристиками подроста ели

K_H correlation matrix with biometric characteristics of undergrowth spruce

Характеристики деревьев*	H	S_K	L_K	V_K	K_H
H	1,00				
S_K	0,77	1,00			
L_K	0,91	0,79	1,00		
V_K	0,74	0,89	0,82	1,00	
K_H	0,02	0,21	0,35	0,22	1,00

* — H — высота дерева, S_K — площадь горизонтальной проекции кроны, L_K — протяженность кроны по вертикали, V_K — объем кроны.

в березняках, находящихся на стадии зрелости. Последнее, видимо, объясняется тем, что в таких березняках формируется второй ярус ели и это сказывается на ухудшении светового режима подроста и, соответственно, на развитости крон деревьев.

Приведенные распределения не позволяют в полной мере оценить перспективность деревьев подроста ели в процессе естественного формирования будущих древостоев по значению показателя K_H . Для установления пороговых границ показателя, по которым деревья ели можно отнести к перспективным, рассмотрим представленность деревьев разного состояния в группах показателя K_H (рис. 3).

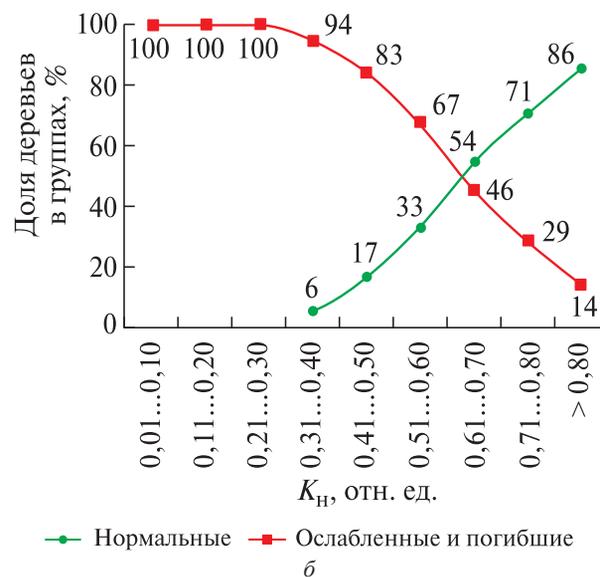
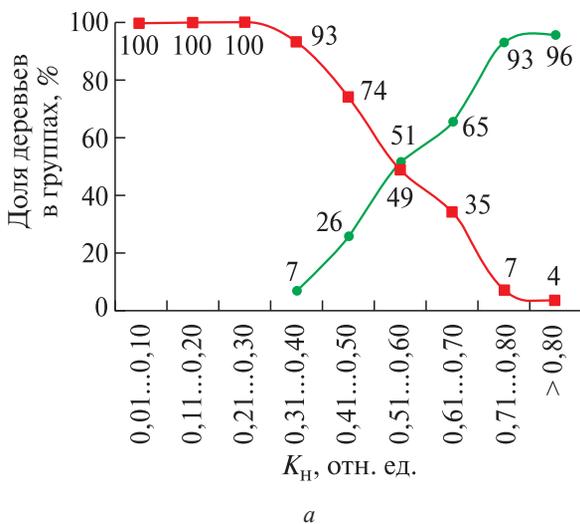


Рис. 3. Представленность деревьев подроста ели разного состояния в группах по показателю K_H для березняков на стадиях возмужания (а) и зрелости (б)
 Fig. 3. Representation of undergrowth trees of different state in the groups according to the K_H indicator for birch forests at the stages of maturation (а) and maturity (б)

Как следует из приведенных графиков (см. рис. 3), на стадии возмужания ослабленные и погибшие деревья подроста преобладают в диапазоне значений $K_H < 0,51$ (см. рис. 3, а). На стадии зрелости этот диапазон несколько шире — $K_H < 0,61$ (рис. 3, б). При $K_H = 0,51...0,60$ и $K_H = 0,61...0,70$ наблюдается примерное равенство доли деревьев разного состояния. Доминирование деревьев нормального состояния становится очевидным при возмужании, когда $K_H > 0,61$, и вовремя зрелости, когда $K_H > 0,71$. Эти деревья большей частью могут составить перспективу формирующихся ельников. Первое пороговое значение соответствует отношению протяженности кроны к высоте дерева, полученному для

Т а б л и ц а 3

Доля деревьев разного состояния в березняках возрастом 31...50 (возмужание) и 51...70 (зрелость) лет в зависимости от значений показателя K_H

The proportion of trees of different conditions in birch forests aged 31...50 (maturity) and 51 ... 70 (maturity) years, depending on the values of the indicator K_H

Стадия возрастного развития березняка	Градация, группа по показателю K_H	Нормальные деревья		Ослабленные деревья		Перспективные деревья		
		в целом	из них перейдут в ослабленные и погибшие	в целом	из них перейдут в погибшие	в целом	доля от нормальных	доля от всех деревьев
Возмужание (Бв)	0,01...0,10	–	–	1	50	–	–	–
	0,11...0,20	–	–	4	75	–	–	–
	0,21...0,30	–	–	7	63	–	–	–
	0,31...0,40	1	100	16	45	–	–	–
	0,41...0,50	5	76	22	37	2	24	10
	0,51...0,60	11	70	25	36	7	30	21
	0,61...0,70	39	58	20	4	32	42	34
	0,71...0,80	31	30	3	11	42	70	68
	> 0,81	13	34	1	36	17	70	69
	0,40 и меньше	1	100	28	54	–	–	–
	0,41–0,60	17	72	48	37	9	27	17
	0,61–0,70	38	58	20	4	32	32	34
	Больше 0,70	44	31	4	16	59	69	67
	В целом	100	49	100	34	100	51	40
Зрелость (Бз)	0,01...0,10	–	–	1	81	–	–	–
	0,11...0,20	–	–	8	67	–	–	–
	0,21...0,30	–	–	19	62	–	–	–
	0,31...0,40	7	96	26	55	–	–	–
	0,41...0,50	13	79	21	43	7	21	7
	0,51...0,60	22	68	14	37	16	32	17
	0,61...0,70	30	51	8	28	33	49	36
	0,71...0,80	21	39	3	33	31	61	55
	> 0,81	7	29	1	29	13	70	67
	0,40 и меньше	7	96	53	59	–	–	–
	0,41...0,60	35	73	35	41	23	28	12
	0,61...0,70	30	51	8	28	33	49	36
	Больше 0,70	28	37	4	13	44	64	58
	В целом	100	57	100	50	100	43	20

деревьев с высокой жизнестойкостью (более 0,60) Ю.П. Демаковым [9], но больше пороговых значений (больше 0,50), характеризующих здоровые или жизнеспособные деревья в работах С.М. Бебиа [8] и А.В. Грязькина [10]. Второе пороговое значение K_H для стадии зрелости существенно отличается от приведенных выше.

По постоянному значению K_H не всегда можно адекватно оценить количество перспективных деревьев подроста. Это показали наблюдения за состоянием и отпадом деревьев. В процессе анализа установлено, что для подпологовой популяции ели в березняках, находящихся на стадиях возмужания и зрелости, характерна динамика, направленная на

ухудшение состояния деревьев, т. е. с некоторой вероятностью нормальные деревья переходят в категорию ослабленных или даже погибших.

Как показали данные мониторинга, проводимого каждые 10 лет, в рассматриваемых березняках в диапазоне $K_H = 0,31...0,60$ большинство нормальных деревьев (Бв — 70...100 %, Бз — 68...96 %) изменяют состояние на ослабленное или погибают. Доля перспективных деревьев при этом не превышает 21 % общего количества подроста ели (табл. 3).

С увеличением значений K_H доля нормальных деревьев, изменяющих свое состояние, уменьшается, соответственно, увеличивается доля

Т а б л и ц а 4

Прогнозируемое число деревьев подроста, способных принять участие в формировании второго яруса ели в березняках южной тайги

The predicted number of undergrowth trees capable of taking part in the formation of the second tier of spruce in birch forests in the southern taiga

Деревья	Значение K_H	Прогнозируемое число деревьев подроста ели, тыс. шт./га		Литературный источник
		стадия возмужания (31...50 лет)	стадия зрелости (51...70 лет)	
Жизнестойкие	> 0,60	1,88	0,58	Демаков Ю.П. [3]
Здоровые	> 0,49	2,37	0,97	Бебия С.М. [2]
Жизнеспособные	> 0,50	2,46	1,07	Грязькин А.В. [4]
Перспективные	> 0,40	1,01	0,30	Авторы статьи

перспективных деревьев — до 61...70 % при $K_H > 0,70$. По отношению к общей численности подроста эта доля составит около 70 % на стадии возмужания и 55...67 % — зрелости. В подросте подпологовой популяции ели рассматриваемых березняков к перспективным деревьям можно отнести только 51 % на стадии возмужания и 43 % — зрелости нормальных деревьев или соответственно 40 % и 20 % общей численности подроста (см. табл. 3).

Все ослабленные деревья характеризуются очень замедленным ростом. Они сохраняют жизнеспособность благодаря небольшим размерам. Такие деревья характеризуются неудовлетворительной жизненностью — показатель состояния особей или популяций, характеризующийся качественными параметрами различия и количественными параметрами роста [21]. Ослабленные деревья останутся в подросте и не будут принимать участия в формировании второго яруса древостоя и постепенно перейдут в отпад.

Принимая во внимание количественную составляющую динамики изменения состояния деревьев, были выделены четыре группы градаций K_H . Основная часть перспективных деревьев (в Бв — 59 %, в Бз — 44 %) характеризуется значениями $K_H > 0,70$ (см. табл. 3).

Для исследуемых березняков, по данным рассмотренных выше литературных источников, рассчитано количество деревьев подроста, которое может принять участие в формировании второго яруса древостоя ели. При этом понятиям

«жизнестойкие», «жизнеспособные» и «перспективные» придавалось равнозначное содержание. При расчете количества перспективных деревьев во внимание принимали только нормальные деревья. Долю перспективных деревьев определяли дифференцировано — для каждой градации K_H (см. табл. 3). Начальная густота подроста определена по данным переучетов и составляла: Бв — 2,53, Бз — 1,46 тыс. экз./га (табл. 4).

Как следует из приведенных в табл. 4 данных, прогнозируемое число деревьев, которое может участвовать в формировании второго елового яруса при дифференцированном расчете существенно (почти в 2 раза) меньше, чем определенное по единому пороговому значению показателя K_H . Такой подход позволяет адекватно с учетом динамики состояния деревьев оценить возможность естественного формирования березово-еловых древостоев в южной тайге.

Выводы

Для оценки перспективности деревьев подроста подпологовой популяции ели для формирования второго яруса в березняках можно использовать отношение протяженности кроны к высоте дерева (K_H).

Анализ динамики состояния деревьев ели показал, что оценка численности здоровых, жизнеспособных или жизнестойких деревьев по пороговому значению данного отношения приводит к существенному (более чем в 2 раза) превышению числа деревьев, которое может участвовать в формировании второго яруса ели по сравнению с предлагаемым дифференцированным подходом.

Для определения численности перспективных деревьев для формирования ельников предлагается использовать значение доли таких деревьев от общей численности неповрежденного и без дефектов ствола подроста в рамках выделенных групп градаций отношения протяженности кроны к высоте дерева: 0,40 и меньше; 0,41...0,60; 0,61...0,70; > 0,70.

Приведенные данные по определению численности перспективных деревьев в группах рассматриваемых значений K_H могут быть использованы при прогнозе развития елового яруса в березняках южной тайги.

Список литературы

- [1] Писаренко А.И. Лесовосстановление. М.: Лесная пром-сть, 1977. 256 с.
- [2] Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Биологические особенности подроста ели в березняках черничных после выборочных рубок // Вестник КрасГАУ, 2011. № 8 (59). С. 99–104.
- [3] Мартынов А.Н., Недовесова У.А. Оценка типа размещения подроста ели в смешанных молодняках // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2011. № 195. С. 22–28.

- [4] Беляева Н.В., Грязькин А.В. Закономерности появления подроста ели после сплошных рубок в зависимости от состава материнского древостоя // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2015. № 41. С. 3–7.
- [5] Пилипко Е.Н., Пилипко А.В. Влияние различных типов рубок на экологическое состояние подроста ели (*Picea abies*) в Диковском лесничестве вологодской области // Символ науки, 2016. № 1–3 (13). С. 27–30.
- [6] Беляева Н.В., Вихарева М.А. Влияние технологии сплошных рубок на сохранность подроста ели – история и современность // Евразийский союз ученых, 2016. № 1–4 (22). С. 153–156.
- [7] Дерюгин А.А. Динамика состояния популяции ели в насаждениях, формирующихся после рубки березовых древостоев с сохранением подроста // Лесохозяйственная информация, 2017. № 1. С. 16–23.
- [8] Бебия С.М. Дифференциация деревьев в лесу, их классификация и определение жизненного состояния древостоев // Лесоведение, 2000. № 4. С. 35–43.
- [9] Демаков Ю.П. Диагностика устойчивости лесных экосистем. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2000. 414 с.
- [10] Грязькин А.В. Возобновительный потенциал таежных лесов (на примере ельников Северо-Запада России). Санкт-Петербург: СПбГЛТА, 2001. 186 с.
- [11] Успенский Е.И., Денисов С.А., Калинин К.К., Лоскутов С.П. Естественное возобновление под пологом леса в Среднем Поволжье // ИВУЗ. Лесной журнал, 2002. № 4. С. 46–53.
- [12] Матвеева А.С., Беляева Н.В., Кази И.А. Влияние состава материнского древостоя на высотную структуру подроста ели разных фенологических форм // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2017. № 47. С. 138–142.
- [13] Григорьев А.А. Оценка состояния подроста ели под пологом древостоев в разных типах леса // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2009. № 183. С. 7–13.
- [14] Матвеева А.С., Беляева Н.В., Кази И.А. Влияние подлеска на подрост ели разных фенологических форм // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 9 (35). С. 90–98.
- [15] Дебков Н.М. Количественные и качественные параметры возобновления под пологом древостоев, сформировавшихся из предварительных генераций // ИВУЗ. Лесной журнал, 2015. № 1/343. С. 35–44.
- [16] Зарубина Л.В. Состояние естественного возобновления ели в мелколиственных лесах на Севере России // ИВУЗ. Лесной журнал, 2016. №3. С. 52–65.
- [17] Зарубина Л.В., Снежко Д.А., Пятовская С.А. Оценка роста елового подроста в разновозрастных березняках черничных Вологодской области // Вестник КрасГАУ, 2018. № 3. С. 233–239.
- [18] Рубцов М.В., Дерюгин А.А. Возрастная динамика морфоструктуры и рост популяции ели под пологом березняков южной тайги // Идеи биогеоценологии в лесоведении и лесоразведении. М.: Наука, 2006. С. 63–81.
- [19] Зарубина Л.В., Пятовская С.А. Структура биомассы подроста ели в разновозрастных березняках // Молочнохозяйственный вестник. 2016. № 4 (24). С. 31–41.
- [20] Лесостроительная инструкция. Утверждена приказом Минприроды России от 29 марта 2018 года № 122. 76 с.
- [21] Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Толковый словарь современной фитоценологии. М.: Наука, 1983. 133 с.

Сведения об авторах

Дерюгин Анатолий Александрович — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. Института лесоведения РАН, da45@mail.ru

Глазунов Юрий Борисович — канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр. Института лесоведения РАН, root@ilan.ras.ru

Поступила в редакцию 27.02.2020.

Принята к публикации 26.03.2020.

PROSPECT ASSESSMENT OF UNERGROWTH SPRUCE UNDER CANOPY OF BIRCH FORESTS IN SOUTHERN TAIGA

A.A. Deryugin, Yu.B. Glasunov

Institute of Forest Science RAS, 21, Sovetskaya st., village Uspenskoe, Odintsovo district, 143030, Moscow reg., Russia
da45@mail.ru

Consider the possibility of using the ratio of the crown length to the height of the spruce undergrowth trees under the birch canopy to assess their prospects for the formation of the second tier of the stand. The gradations of this ratio and the corresponding proportion of promising undergrowth trees are given.

Keywords: birch forests, regrowth spruce, prospects, criterion for evaluation

Suggested citation: Deryugin A.A., Glasunov Yu.B. *Ob otsenke perspektivnosti podrosta eli pod pologom bereznyakov yuzhnoy taygi* [Prospect assessment of unergrowth spruce under canopy of birch forests in southern taiga]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 12–18. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-12-18

References

- [1] Pisarenko A.I. *Lesovosstanovlenie* [Reforestation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1977, 256 p.
- [2] Konovalov V.N., Zarubina L.V. *Biologicheskie osobennosti podrosta eli v bereznyakakh chernichnykh posle vyborochnykh rubok* [Biological features of undergrowth spruce in bilberry birch forests after selective cutting]. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], 2011, no. 8 (59), pp. 99–104.

- [3] Martynov A.N., Nedovesova U.A. *Otsenka tipa razmeshcheniya podrosta eli v smeshannykh molodnyakakh* [Evaluation of the type of placement of undergrowth of spruce in mixed young growth]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2011, no. 195, pp. 22–28.
- [4] Belyaeva N.V., Gryaz'kin A.V. *Zakonomernosti poyavleniya podrosta eli posle sploshnykh rubok v zavisimosti ot sostava materinskogo drevostoya* [Patterns of the appearance of undergrowth of spruce after clearcuts, depending on the composition of the maternal stand]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2015, no. 41, pp. 3–7.
- [5] Pilipko E.N., Pilipko A.V. *Vliyaniye razlichnykh tipov rubok na ekologicheskoye sostoyaniye podrosta eli (Picea abies) v Dikovskom lesnichestve vologodskoy oblasti* [The influence of various types of felling on the ecological state of spruce spruce (*Picea abies*) in the Dikov forestry of the Vologda region]. *Simvol nauki* [Symbol of Science], 2016, no. 1–3 (13), pp. 27–30.
- [6] Belyaeva N.V., Vikhareva M.A. *Vliyaniye tekhnologii sploshnykh rubok na sokhrannost' podrosta eli — istoriya i sovremennost'* [The influence of clear-cutting technology on the safety of undergrowth of spruce — history and modernity]. *Evrasiyskiy soyuz uchenykh* [Eurasian Union of Scientists], 2016, no. 1–4 (22), pp. 153–156.
- [7] Deryugin A.A. *Dinamika sostoyaniya populyatsii eli v nasazhdeniyakh, formiruyushchikhsya posle rubki berezovykh drevostoev s sokhraneniem podrosta* [The dynamics of the state of the spruce population in plantations formed after cutting birch stands with the preservation of undergrowth]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], 2017, no. 1, pp. 16–23.
- [8] Bebiya S.M. *Differentsiatsiya derev'ev v lesu, ikh klassifikatsiya i opredeleniye zhiznennogo sostoyaniya drevostoev* [Differentiation of trees in the forest, their classification and determination of the vital state of stands]. *Lesovedeniye* [Forestry], 2000, no. 4, pp. 35–43.
- [9] Demakov Yu.P. *Diagnostika ustoychivosti lesnykh ekosistem* [Diagnostics of forest ecosystem resilience]. Yoshkar-Ola, 2000, 414 p.
- [10] Gryaz'kin A.V. *Vozobnovitel'nyy potentsial taezhnykh lesov (na primere el'nikov Severo-Zapada Rossii)* [The renewable potential of taiga forests (on the example of spruce forests of the North-West of Russia)]. St. Petersburg: SPbGLTA, 2001, 186 p.
- [11] Uspenskiy E.I., Denisov S.A., Kalinin K.K., Loskutov S.P. *Estestvennoye vozobnovleniye pod pologom lesa v Srednem Povolzh'e* [Natural regeneration under a forest canopy in the Middle Volga region]. *IVUZ. Lesnoy zhurnal* [IVUZ. Forest Journal], 2002, no. 4, pp. 46–53.
- [12] Matveeva A.S., Belyaeva N.V., Kazi I.A. *Vliyaniye sostava materinskogo drevostoya na vysotnyuyu strukturu podrosta eli raznykh fenologicheskikh form* [The effect of the composition of the maternal stand on the altitude structure of undergrowth of spruce of various phenological forms]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2017, no. 47, pp. 138–142.
- [13] Grigor'ev A.A. *Otsenka sostoyaniya podrosta eli pod pologom drevostoev v raznykh tipakh lesa* [Assessment of the state of undergrowth of spruce under the canopy of stands in different types of forests]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the St. Petersburg Forestry Engineering Academy], 2009, no. 183, pp. 7–13.
- [14] Matveeva A.S., Belyaeva N.V., Kazi I.A. *Vliyaniye podleska na podrost eli raznykh fenologicheskikh form* [Influence of the forestry on the adolescent of food of different phenological forms]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2017, v. 5, no. 9 (35), pp. 90–98.
- [15] Debkov N.M. *Kolichestvennyye i kachestvennyye parametry vozobnovleniya pod pologom drevostoev, sformirovavshikh iz predvaritel'nykh generatsiy* [Quantitative and qualitative parameters of renewal under the canopy of stands formed from preliminary generations]. *IVUZ. Lesnoy zhurnal* [IVUZ. Forest Journal], 2015, no. 1/343, pp. 35–44.
- [16] Zarubina L.V. *Sostoyaniye estestvennogo vozobnovleniya eli v melkolistvennykh lesakh na Severe Rossii* [The state of natural regeneration of spruce in small-leaved forests in the North of Russia]. *IVUZ. Lesnoy zhurnal* [IVUZ. Forest Journal], 2016, no. 3, pp. 52–65.
- [17] Zarubina L.V., Snezhko D.A., Pyatovskaya S.A. *Otsenka rosta elovogo podrosta v raznovozrastnykh bereznyakakh chernichnykh Vologodskoy oblasti* [Estimation of the growth of spruce undergrowth in birch birch trees of different ages in the Vologda Oblast]. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], 2018, no. 3, pp. 233–239.
- [18] Rubtsov M.V., Deryugin A.A. *Vozrastnaya dinamika morfostruktury i rost populyatsii eli pod pologom bereznyakov yuzhnoy taygi* [Age-related dynamics of the morphostructure and population growth of spruce under the canopy of birch forests of the southern taiga]. *Idey biogeotsenologii v lesovedenii i lesorazvedenii* [Ideas of biogeocenology in forest management and afforestation]. Moscow: Nauka, 2006, pp. 63–81.
- [19] Zarubina L.V., Pyatovskaya S.A. *Struktura biomassy podrosta eli v raznovozrastnykh bereznyakakh* [The structure of the undergrowth biomass of spruce in birch forests of different ages]. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik* [Dairy Bulletin], 2016, no. 4 (24), pp. 31–41.
- [20] *Lesoustroitel'naya instruktsiya* [Forest inventory instruction]. Approved by order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated March 29, 2018, no. 122, 76 p.
- [21] Mirkin B.M., Rozenberg G.S. *Tolkovyy slovar' sovremennoy fitotsenologii* [Explanatory dictionary of modern phytocenology]. Moscow: Nauka, 1983, 133 p.

Authors' information

Deryugin Anatoly Aleksandrovich — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Research, of the Institute of Forestry, RAS, da45@mail.ru

Glazunov Yuriy Borisovich — Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, of the Institute of Forestry, RAS, root@ilan.ras.ru

Received 27.02.2020.

Accepted for publication 26.03.2020.

ЗАПАС И ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ИВНЯКОВ В ПРИУСЛОВНОЙ ПОЙМЕ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА

А.Ю. Килушев¹, Н.В. Килушева¹, П.А. Феклистов²

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), 163002, Россия, г. Архангельск, Наб. Северной Двины, д. 17

²ФИЦКИА УрО РАН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики УрО РАН имени академика Н.П. Лаврова, 163000, Россия, г. Архангельск наб. Сев. Двины, д. 109

yorick282@yandex.ru

Методом калориметрии получены данные по энергетической емкости образцов фитомассы по видам и в целом на пробных площадях в пересчете на 1 га, а также по видовому составу насаждений ивы, возникших естественным путем, в различных условиях произрастания. Изучено распространение, условия произрастания естественных ценозов ивы (*S. triandra* L., *S. viminalis* L., *S. acutifolia* Willd.). Выявлена возрастная структура ивняков по видам, фитомасса — по возрастам. Проведена оценка состояния древесных растений. Определено содержание энергии в 1 г древесины по видам. Сравнение скорости накопления энергии в ивняках с сосновым древостоем показано, что ивняки достаточно эффективно накапливают энергию, в частности большим энергетическим потенциалом в естественных ценозах обладает *S. acutifolia* Willd., далее следует *S. triandra* L. Самым низким показателем энергоемкости образцов характеризуется *S. viminalis* L. Установлено, что ивняки, состоящие из ивы трехтычинковой и прутьевидной, обладают наивысшим энергетическим потенциалом. Сделан вывод о том, что иву можно рекомендовать в качестве источника энергии, несмотря на не решенные проблемы, поскольку она имеет энергетическую продуктивность биомассы, дающей экологические преимущества с точки зрения истощения запасов ископаемого топлива.

Ключевые слова: ивовые насаждения, калориметрия, фитомасса, энергетический потенциал, продуктивность

Ссылка для цитирования: Килушев А.Ю., Килушева Н.В., Феклистов П.А. Запас и энергоемкость ивняков в приусловной пойме реки Северная Двина // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 19–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-19-25

В последние годы особый интерес имеет получение древесины ивы для нужд биоэнергетики, в связи с чем селекционным путем создаются специальные быстрорастущие сорта или клоны. В европейских странах в настоящее время широко практикуется создание специальных энергетических плантаций быстрорастущих пород древесины тополя и ивы. Энергетические плантации предупреждают эрозию почвы, способствуют улучшению состояния окружающей среды. Преобладающее количество ивовых ценозов занимает специфические места обитания — поймы рек, гидроморфные понижения. Род ива имеет обширное видовое разнообразие, а также разностороннее применение биомассы [1]. Хозяйственную ценность имеют практически все компоненты фитомассы ивы, что дает возможность использовать комплексно и естественные, и искусственные ее насаждения [2].

Онтогенетические учеты популяций ив (*Salix triandra* L., *S. viminalis* L., *S. acutifolia* Willd.) на молодых участках поймы исследованы учеными Т.Ю. Браславской и А.С. Паховым в целях изучения популяционных механизмов первичной сукцессии древесной растительности [3]. Авторы определили и проанализировали связь между характеристикой местообитаний и популяционной плотностью ивы различного онтогенетического

состояния и уровня жизнеспособности, а также изменчивость в распределении по местоположению и количеству видов, причиной чего является изменчивость сроков половодья и особенности десеминации видов (сроков, локальной интенсивности).

Виды *S. viminalis* L. и *S. acutifolia* Willd. имеют тесную связь популяционной плотности с высотой местоположения, а вид *S. triandra* L. имеет тесную связь популяционной плотности с растительным покровом.

Закономерности накопления запаса стволовой древесины и изменения санитарного состояния с возрастом древостоев ивы, произрастающей в поймах средних и малых рек Центрального Черноземья, изучены А.И. Горобцом [4]. Интенсивный прирост ивы ломкой по высоте и по диаметру отмечен в возрасте до 30 лет, а прирост по объему и интенсивное увеличение запаса — с 10 до 30 лет.

В поймах рек Центрального Черноземья, в том числе р. Дон, преобладают ивы возрастом 30 лет категории состояния «здоровые» (67%), остальные деревья являются ослабленными. Молодняки в возрасте до 30 лет признаков ослабленности не имеют. Результаты исследований позволяют сравнить их с данными распределения запаса и изменения санитарного состояния ивы в поймах рек Архангельской области.

Ввиду снижения запасов ископаемого топлива в мировой практике ведется поиск альтернативных источников энергии. Одним из таких источников может стать биомасса быстрорастущих пород, например ивы. Представители рода *Salix* L. способны давать большую продуктивность.

Древесина является наиболее широко используемым видом биомассы для выработки тепловой и электрической энергии [5–9]. Изучение потенциала быстрорастущих подвидов и гибридов ивы ныне активно проводится в таких зарубежных странах, как Швеция, Канада, Польша и др. В этой связи особый интерес представляет ива. Это растение способно произрастать в условиях повышенной увлажненности и на разных типах почв с различными условиями плодородия. Рост побегов ивы прямо зависит от погоды и влажности почвы. Лучшего роста ива достигает в хорошо дренированных местах.

В северных регионах особый интерес вызывают посадки быстрорастущей ивы. Они используются также и в природоохранных целях:

- в качестве вегетативных фильтров для предотвращения загрязнения водоемов остатками удобрений и пестицидов;
- для противозерозионных мероприятий;
- рекультивации загрязненных земель;
- создания снегозадерживающих и ветроломных полос.

Такой подход оправдывает выделение субсидий для производителей энергии из биомассы ивы.

Возделывание быстрорастущих древесных насаждений позволяет получать древесину, которую можно использовать в качестве источника энергии на четвертый год после посадки плантации. Среднегодовой урожай при четырехлетней ротации ивы в соответствии с результатами, достигнутыми в некоторых зарубежных странах, может достигать до 10–15 т древесины влажностью 10 % с 1 га (Швеция, США, Канада) [10]. Швеция и Польша считаются лидерами селекции энергетической ивы в Европе.

При анализе энергетического потенциала к биомассе относят все формы материалов растительного происхождения, которые можно использовать для получения энергии. Биомасса сравнивается с углем, однако ее зольность значительно ниже, чем угля. Обычно биомассу ошибочно причисляют к низкосортным видам топлива, тем не менее она обеспечивает большую гибкость снабжения энергоносителями [11, 12].

Sara González-García, Blas Mola-Yudego и Richard J. Murphy описывают методологию оценки жизненного цикла (LCA) для сравнения ее экологического профиля с традиционными альтернативами на основе ископаемого топлива и

биомассы в качестве лигноцеллюлозного источника энергии. Авторы провели исследования на коммерческих плантациях ивы для выращивания биомассы в Швеции [13]. По проведенным расчетам, биомасса шведской ивы является энергоэффективной, и эта биомасса для энергии (независимо от типа энергии) обладает экологическими преимуществами с точки зрения сокращения выбросов в атмосферу и истощения запасов ископаемого топлива. Применение исследуемых энергетических систем может сократить добычу ископаемых видов топлива до 80 %.

В Вологодской обл. исследователи определили количество энергии, аккумулированной фитомассой культур сосны, которое в 10-летнем возрасте изменяется в пределах 95 120...129 540 МДж/га, в зависимости от типа леса [14]. Подобные исследования в Архангельской области, в частности по определению энергетического потенциала ивовых насаждений, никогда не проводились. Важность такого исследования заключается в том, что биомасса ивняков может использоваться в биоэнергетике, например, для изготовления пеллет или брикетов, а насаждения могут быть вовлечены в хозяйственную деятельность.

Цель работы

Цель работы — изучение видового и возрастного состава ивовых ценозов, определение их фитомассы и теплотворной способности.

Для выполнения поставленной цели были заложены пробные площади (ПП) на заброшенных участках, исключенных из сельскохозяйственного пользования, в северной подзоне тайги: в пойме р. Юрас (приток р. Северная Двина) (ПП1); в осушительном канале полей (бывший совхоз «Беломорский»); в Приморском районе (ПП2); на о. Уемский в пойме р. Северная Двина (ПП3) и в пойме р. Емца (приток р. Северная Двина) (ПП4) Холмогорского р-на.

Материалы и методы

На ПП выполнена таксация общепринятыми методами [15, 16]. Масса стволов определялась методом взвешивания на технических электронных весах с точностью до $\pm 0,75$ мг. В учетах фитомассы всех видов ив в качестве счетной единицы служил один ствол.

Определяли видовой состав ив, возраст, фитомассу и брали образцы древесины для установления заключенной в них энергии. Объективную сравнительную оценку биологической продуктивности насаждений можно дать только на основе абсолютно сухой фитомассы. Для расчета выхода фитомассы необходим перевод сырого веса фракций древостоя в абсолютно сухой. Для этого целесообразно воспользоваться средними значениями

содержания сухого вещества (влажность и содержание сухого вещества, вычисленные в процентах к сырой массе, в сумме составляют 100 %) [17].

Высушенную до абсолютно сухого состояния кору и заболонную часть древесины модельных деревьев каждого вида ивы сжигали для определения удельной теплоты сгорания на бомбовом калориметре сгорания АБК-1В. Навеска образца для сжигания составляла 1 г.

Результаты и обсуждение

На ПП в различном соотношении присутствовали три вида ив: прутьевидная (*S. viminalis* L.), трехтычинковая (*S. triandra* L.), остролистная (*S. acutifolia* Willd.) (табл. 1). На всех ПП присутствует ива прутьевидная и трехтычинковая, а остролистная только на двух ПП. Общая густота изменяется от 7 тыс. шт./га (ПП2) до 52 тыс. шт./га (ПП3). В целом встречаются особи возрастом от 3 до 8 лет. Наиболее широко представлены деревца возрастом от 4 до 6 лет. На их долю приходится 77...100 %.

На ПП присутствует значительное количество усохших деревьев. Их количество изменяется от 32 до 52 % по ПП (рис. 1). Причины такого массового усыхания не совсем ясны. Вероятно, в разряд усохших переходят деревца старше 8 лет, а также молодые деревца, не выдерживающие конкуренции из-за большой густоты деревьев.

Максимальный запас фитомассы приходится на деревца возрастом 4 и 8 лет вида *S. triandra* L. и пятилетние растения вида *S. viminalis* L. на ПП1. На ПП2 в осушительном канале максимальный запас — у семилетних видов *S. acutifolia* Willd. и пятилетних видов *S. triandra* L. и *S. viminalis* L. В пойме р. Северная Двина большую часть запаса также имеют пятилетние растения *S. triandra* L. и *S. viminalis* L. и четырехлетние виды *S. acutifolia* Willd. (табл. 2).

Исследуемые ивовые ценозы порослевого происхождения. Суммарная фитомасса на ПП1 составляет 16,72 т/га, на ПП2 — 6,25, ПП3 — 39,46, ПП4 — 41,68 т/га. Следовательно, значительно более высокой энергией роста обладают насаждения, произрастающие на ПП3 и ПП4, в пойме рек Северная Двина и Емца. Низкий уровень фитомассы на площади в осушительном канале, вероятно, связан с низкой дыхательной активностью корней ввиду их нахождения в местах с плохим дренажем или с временным избыточным увлажнением. Разница между ПП выражается также в том, что на двух из них (ПП1 и ПП4) полностью отсутствует *S. acutifolia* Willd. Изменчивость в распределении видов по местоположениям и в количественном соотношении между разными видами, а также пространственная изменчивость популяционной плотности у каждого вида можно

Т а б л и ц а 1

Возрастная структура ценозов ивы

Age structure of willow cenoses

Номер пробной площади	Возраст, лет	Доля участия в фитоценозах по числу стволов (в числителе тыс. шт./га; в знаменателе в %)		
		<i>S. acutifolia</i> Willd.	<i>S. triandra</i> L.	<i>S. viminalis</i> L.
1	4	—	14,00/82	0,40/9
	5	—	0,89/5	4,00/91
	6	—	1,11/7	—
	7	—	0,44/3	—
	8	—	0,56/3	—
	Итого на ПП1	—	17,00/100	4,40/100
2	4	2,65/62	1,65/70	0,30/75
	5	0,60/14	0,65/28	0,10/25
	6	0,50/12	—	—
	7	0,55/12	0,05/2	—
	Итого на ПП2	4,30/100	2,35/100	0,40/100
3	3	2,55/44	—	4,10/15
	4	3,25/56	6,55/33	7,40/28
	5	—	10,80/55	9,75/36
	6	—	1,70/8	3,55/13
	7	—	0,65/3	0,95/4
	8	—	0,1/1	1,00/4
Итого на ПП3	5,80/100	19,80/100	26,75/100	
4	3	—	2,25/12	—
	4	—	1,89/10	0,79/5
	5	—	6,85/37	5,49/35
	6	—	7,11/38	8,12/52
	7	—	0,64/3	1,25/8
	Итого на ПП4	—	18,74/100	15,65/100

объяснить особенностями диссеминации видов. Стабильная влажность грунта может способствовать совместному поселению разных видов и формированию ивняков смешанного состава. Такие условия благоприятны для поселения особей *S. viminalis* L. и *S. acutifolia* Willd. на местоположениях, которые обычно заселяет только *S. triandra* L.

Ивовые ценозы накапливают в короткий срок значительно большую фитомассу, чем, например, сосновые древостои в этом регионе. Следовательно, их можно рассматривать как своеобразный резервуар для последующего извлечения энергии [18–20].

Рассматривая энергоёмкость различных видов ивы, произрастающих в естественных условиях, следует отметить, что большим энергетическим потенциалом в естественных ценозах обладает *S. acutifolia* Willd., далее следует *S. triandra* L. Самый маленький по сравнению с выше перечисленными показатель энергоёмкости образцов

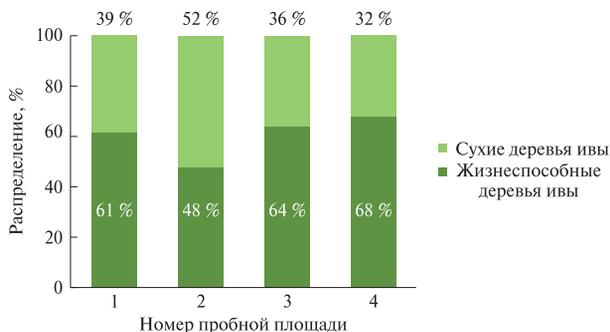


Рис. 1. Распределение жизнеспособных и сухих деревьев, %
Fig. 1. Distribution of viable and dry trees, %

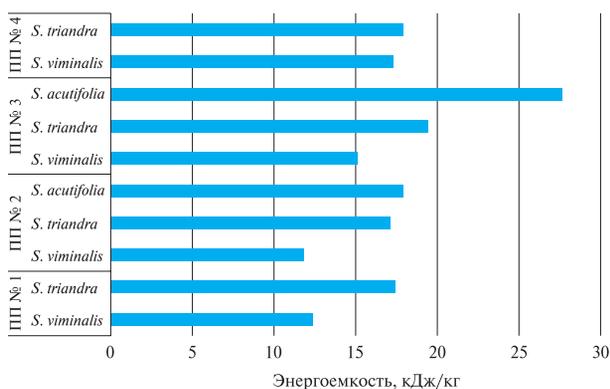


Рис. 2. Средняя энергоёмкость образцов фитомассы ив на пробных площадях, кДж/г
Fig. 2. The average energy intensity of samples of willow phytomass in the trial plots, kJ/g

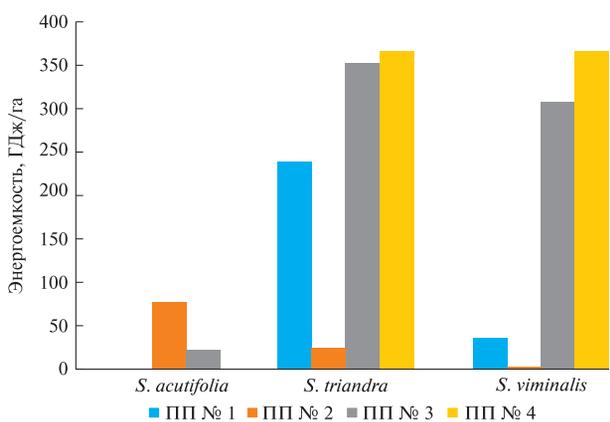


Рис. 3. Средняя энергоёмкость фитомассы ив, ГДж/га
Fig. 3. The average energy intensity of willow phytomass, GJ/ha

имеет *S. viminalis* L. (рис. 2). В среднем энергии в образцах этих пород заключено соответственно, кДж/г: 22,8; 18,0; 14,2.

На рис. 3 представлена энергоёмкость каждого вида ивы от общей фитомассы на пробных площадях в пересчете на гектар. Наибольшим запасом энергии обладают ивняки с наибольшими запасами древесины (ПП3 и ПП4), где энергоёмкость *S. triandra* L. — 354 ГДж/га и 370 ГДж/га, а энергоёмкость *S. viminalis* L. — 309 ГДж/га и 367 ГДж/га соответственно.

Т а б л и ц а 2

Количество фитомассы ив по видам и возрасту растений (в пересчете на абсолютно сухое вещество)

The amount of willow phytomass by species and age of plants (in terms of absolutely dry matter)

Номер пробной площади	Возраст побегов, лет	Виды ивы					
		<i>S. acutifolia</i> Willd.		<i>S. triandra</i> L.		<i>S. viminalis</i> L.	
		т/га	%	т/га	%	т/га	%
1	4	—	—	3,72	27,2	0,02	0,7
	5	—	—	1,20	8,8	3,00	99,3
	6	—	—	2,71	19,8	—	—
	7	—	—	2,33	17,0	—	—
	8	—	—	3,74	27,2	—	—
	Всего на 1 га	—	—	13,7	100	3,02	100
	2	4	0,19	4,3	0,31	20,1	0,07
5		0,63	14,3	1,12	72,7	0,22	75,9
6		1,17	26,5	—	—	—	—
7		2,43	54,9	0,11	7,2	—	—
Всего на 1 га		4,42	100	1,54	100	0,29	100
3	3	0,44	55,0	—	—	0,55	2,7
	4	0,36	45,0	1,82	10,0	0,38	1,9
	5	—	—	11,10	61,0	10,24	50,0
	6	—	—	2,63	14,5	4,81	23,5
	7	—	—	2,14	11,8	2,31	11,3
	8	—	—	0,51	2,7	2,17	10,6
	Всего на 1 га	0,80	100	18,20	100	20,46	100
4	3	—	—	0,63	3,0	0,42	1,9
	4	—	—	0,94	4,6	1,75	8,2
	5	—	—	6,6	32,3	8,90	41,9
	6	—	—	10,0	49,0	8,48	40,0
	7	—	—	2,26	11,1	1,70	8,0
Всего на 1 га	—	—	20,43	100	21,25	100	

Данные энергоёмкости ив можно сравнить с количеством энергии, запасенной в сосновом древостое в северной подзоне тайги [21]. Если принять содержание энергии в 1 г древесины за 2000 Дж/г, при запасе древесины в сосняке черничном в количестве 250 м³/га и содержании воды 50 %, то в результате несложных расчетов можно получить содержание энергии в количестве 212 500 Мдж/га — меньше, чем в ивняках. Следует обратить внимание еще и на тот факт, что эта энергия накопится за 100...120 лет, а в ивняках за 7...8 лет.

Сравнения полученные нами данные с результатами энергетического потенциала культур сосны Вологодской обл., можно отметить, что в 10-летних культурах содержание энергии в 2 раза ниже, чем в 4–6-летних представителях ивы.

С точки зрения энергетической эффективности ивняки обладают очень высоким потенциалом. Приведенные материалы дают возможность оценивать энергетический потенциал фитомассы и пути ее использования, изучать поток энергии в лесных экосистемах.

Выводы

1. В среднем фитомасса ивняков составляет 26 т/га. Наибольшей фитомассой отличаются ивы, произрастающие на о. Уемский и в пойме реки Емца — 39,46 т/га и 41,68 т/га соответственно, где около половины от всей фитомассы составляет вид *S. triandra* L.

2. В ивняках выявлена значительна доля сухостоя. Она изменяется от 32 до 52 % на разных ПП.

3. Содержание энергии в 1 г древесины у всех изученных видов ив преимущественно находится в пределах 15 000...20 000 Дж/г (в среднем 17 432 Дж/г), и лишь в одном случае образцы ивы остролистной показали больший энергетический потенциал.

Наибольшую фитомассу имеют ивняки, образованные из ивы трехтычинковой и прутьевидной, и они, соответственно, обладают наивысшим энергетическим потенциалом. Содержание энергии в них составляет в среднем 213 310 МДж/га.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН (проект № 0409-2019-0039; № ГР ААА-А-118011690221-0).

Список литературы

- [1] Логинова Л.А. Продуктивность и энергетический потенциал ивовых ценозов на примере Воронежской области: дис. канд. биол. наук. Воронеж, 2010. 148 с.
- [2] Анциферов Г.И. Ива. М.: Лесная пром-сть, 1984. 101 с.
- [3] Браславская Т.Ю., Пахов А.С. Формирование популяций ив на пойменном острове в низовьях р. Северной Двины // Лесотехнический журнал, 2016. № 4. С. 29–37.
- [4] Горобец А.И. Продуктивность и санитарное состояние древостоев ивы ломкой в поймах средних и малых рек центрального черноземья // Лесотехнический журнал, 2016. № 4. С. 49–54.
- [5] Крылова А.Г. Влияние финансового кризиса на ЛПК и лесная биоэнергетика как путь выхода из него // Экономика и предпринимательство, 2017. № 12–1 (89). С. 1083–1085.
- [6] Федоренчик А.С., Ледницкий А.В. Стратегия развития мировой лесной биоэнергетики // Энергоэффективность, 2011. № 7. С. 17–19.
- [7] Мохирев А.П., Позднякова М.О. Перспективы лесной биоэнергетики в лесопромышленном комплексе России // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития», Красноярск, 28–29 апреля 2017 г. / под ред. Ю.А. Безруких, Е.В. Мельниковой. Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 2017. С. 6–9.
- [8] Кракснер Ф., Ледук С., Фусс С., Щепашенко Д.Г., Швиденко А.З. Подходы к развитию устойчивой биоэнергетики на основе лесных ресурсов северной Евразии // Сибирский лесной журнал, 2018. № 1. С. 16–25.
- [9] Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С., Савицкий А.А., Горшенина К.А. Современное состояние и перспективы развития производства биоэнергетики в России // Перспективы развития лесного комплекса России. Рига: LAP Lambert, 2018. С. 70–77.
- [10] Кундас С.П., Позняк С.С., Родькин О.И., Санников В.В., Ленгфельдер Э. Использование древесной биомассы в энергетических целях: научный обзор. Минск: МГЭУ им А.Д. Сахарова, 2008. 85 с.
- [11] Панцхава Е.С., Беренгарден М.Г., Ванштейн С.И. Биогазовые технологии. Проблемы экологии, энергетики, сельскохозяйственного производства. М.: МГУИЭ, ЗАО Центр «ЭКОРОС», 2008, 217 с.
- [12] Панцхава Е.С., Березин И.В. Техническая биоэнергетика // Биотехнология, 1986, № 2 (8). С. 1–12.
- [13] González-García S., Mola-Yudego B., Murphy R.J. Life cycle assessment of potential energy uses for short rotation willow biomass in Sweden // LCA for energy systems, 2012, pp. 367–379.
- [14] Нурева Т.В., Чефранова М.Н., Мифтахов Т.Ф. Древесные плантации — будущее лесной биоэнергетики. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012. 42 с.
- [15] Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
- [16] Гусев И.И. Таксация древостоя. Архангельск: АГТУ, 2000. 71 с.
- [17] Бабич Н.А., Мерзленко М.Д., Евдокимов И.В. Фитомасса культур сосны и ели в европейской части России. Архангельск: Б.и., 2004. 112 с.
- [18] Мартынюк А.А. Потенциал лесных ресурсов для целей биоэнергетики в Российской Федерации // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2013. № 37. С. 50–53.
- [19] Мартынюк А.А. Методические подходы к оценке потенциала лесной биомассы для коммунальной биоэнергетики // Лесохозяйственная информация, 2015. № 2. С. 5–12.
- [20] Лесная биоэнергетика / под ред. Ю.П. Семенова. М.: МГУЛ, 2010. 348 с.
- [21] Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А., Владыкин Е.А., Суховеев А.И. Потенциал невестребованных ресурсов древесного сырья для биоэнергетики // Хвойные бореальной зоны, 2019. Т. 37. № 5. С. 295–300.

Сведения об авторах

Килушев Андрей Юрьевич — аспирант кафедры биологии, экологии и биотехнологии Высшей школы естественных наук и технологий, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, yorick282@yandex.ru

Килушева Наталья Владимировна — аспирант кафедры композиционных материалов и строительной экологии Высшей инженерной школы, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, n.volkova@narfu.ru

Феклистов Павел Александрович — д-р с.-х. наук, профессор кафедры биологии, экологии и биотехнологии Высшей школы естественных наук и технологий, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, p.feklistov@narfu.ru

Поступила в редакцию 03.02.2020.

Принята к публикации 20.03.2020.

STOCK AND POWER CONSUMPTION OF WILLOW IN RIPARIAN FLOODPLAIN OF NORTHERN DVINA RIVER

A.Yu. Kilyushev¹, N.V. Kilyusheva¹, P.A. Feklistov²

¹Northern (Arctic) Federal University, named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

²Federal Center for Integrated Arctic Research of the Russian Academy of Sciences, named after Nikolai Laverov, 23, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163000, Arkhangelsk, Russia

yorick282@yandex.ru

Since biomass is the most powerful after the sun renewable environmentally clean energy source, and combustion products leads to increase in atmospheric carbon dioxide and does not cause environmental pollution with sulfur oxides, the use of low-grade wood and waste, and the creation of a special energy plantations of tree species are regarded as the most important economic problems. The purpose of the work was to determine the productivity, phytomass reserve and energy potential of willow, followed by the identification of the most promising species that grow in natural conditions in the drainage channel, floodplains of rivers, on cultivated soils in areas that arose as a result of agricultural use in the Arkhangelsk region. The distribution, population mechanisms, age variability, growing conditions and the state of natural willow cenoses (*S. triandra* L., *S. viminalis* L., *S. acutifolia* Willd.) were studied data on willow productivity were obtained. The calorimetry method obtained data on the energy capacity of phytomass samples by species and in General on the sample areas in terms of 1 ha. *S. acutifolia* Willd. has a Large energy potential in natural cenoses, followed by *S. triandra* L. the smallest, in comparison with the above, the energy intensity index of samples has *S. viminalis* L. Willows formed from three-staminate willow and prutoid have the highest energy potential. This study highlights the opportunities and challenges of using willow as an energy source and demonstrates the energy productivity of willow biomass, which provides environmental benefits in terms of depletion of fossil fuel reserves.

Keywords: willow plantations, calorimetry, phytomass, energy potential, productivity

Suggested citation: Kilyushev A. Yu., Kilyusheva N.V., Feklistov P.A. *Zapas i energoemkost' ivnyakov v priruslovoy poyme reki Severnaya Dvina* [Stock and power consumption of willow in riparian floodplain of Northern Dvina river]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 19–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-19-25

References

- [1] Loginova L.A. *Produktivnost' i energeticheskiy potentsial ivovykh tsenozov na primere Voronezhskoy oblasti* [Productivity and energy potential of willow coenoses on the example of the Voronezh region]. Diss. Sci. (Biol.). Voronezh, 2010, 148 p.
- [2] Antsiferov G.I. *Iva* [Willow]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1984, 101 p.
- [3] Braslavskaya T. Yu., Pakhov A. S. *Formirovaniye populyatsiy iv na poymennom ostrove v nizov'yakh r. Severnoy Dviny* [Formation of willow populations on a floodplain island in the lower reaches of the river. Northern Dvina]. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forestry Journal], 2016, no. 4, pp. 29–37.
- [4] Gorobtsets A.I. *Produktivnost' i sanitarnoe sostoyaniye drevostoev ivy lomkoy v poymakh srednikh i malykh rek tsentral'nogo chernozem'ya* [Productivity and sanitary condition of willow stands brittle in floodplains of medium and small rivers of the central chernozem]. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forestry Journal], 2016, no. 4, pp. 49–54.
- [5] Krylova A.G. *Vliyaniye finansovogo krizisa na LPK i lesnaya bioenergetika kak put' vykhoda iz nego* [The impact of the financial crisis on forestry and forest bioenergy as a way out of it]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and Entrepreneurship], 2017, no. 12–1 (89), pp. 1083–1085.
- [6] Fedorenchik A.S., Lednitskiy A.V. *Strategiya razvitiya mirovoy lesnoy bioenergetiki* [Development Strategy of World Forest Bioenergy]. *Energoeffektivnost'* [Energy Efficiency], 2011, no. 7, pp. 17–19.

- [7] Mokhiev A.P., Pozdnyakova M.O. *Perspektivy lesnoy bioenergetiki v lesopromyshlennom komplekse Rossii* [Prospects of forest bioenergy in the timber industry of Russia]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Innovatsii v khimiko-lesnom komplekse: tendentsii i perspektivy razvitiya»* [Materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation «Innovations in the chemical-forest complex: trends and development prospects»] Krasnoyarsk, April 28–29, 2017. Ed. Yu.A. Bezrukikh, E.V. Melnikova. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetneva, 2017, pp. 6–9.
- [8] Kraksner F., Leduk S., Fuss S., Shchepashchenko D.G., Shvidenko A.Z. *Podkhody k razvitiyu ustoychivoy bioenergetiki na osnove lesnykh resursov severnoy Evrazii* [Approaches to the development of sustainable bioenergy based on forest resources of northern Eurasia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2018, no. 1, pp. 16–25.
- [9] Pinyagina N.B., Gorshenina N.S., Savitskiy A.A., Gorshenina K.A. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya proizvodstva bioenergetiki v Rossii* [The current state and prospects for the development of bioenergy production in Russia]. *Perspektivy razvitiya lesnogo kompleksa Rossii* [Prospects for the development of the forest complex of Russia]. Riga: LAP Lambert, 2018, pp. 70–77.
- [10] Kundas S.P., Poznyak S.S., Rod'kin O.I., Sanikovich V.V., Lengfel'der E. *Ispol'zovanie drevesnoy biomassy v energeticheskikh tselyakh: nauchnyy obzor* [Use of wood biomass for energy purposes: a scientific review]. Minsk: Moscow State University of Economics named after A.D. Sakharov, 2008, 85 p.
- [11] Panskhava E.S., Berengarten M.G., Vanshteyn S.I. *Biogazovyye tekhnologii. Problemy ekologii, energetiki, sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva* [Biogas technology. Problems of ecology, energy, agricultural production]. Moscow: Moscow State University of Economics and Economics, CJSC ECOROS Center, 2008, 217 p.
- [12] Panskhava E.S., Berezin I.V. *Tekhnicheskaya bioenergetika* [Technical bioenergy]. *Biotekhnologiya* [Biotechnology], 1986, no. 2 (8), pp. 1–12.
- [13] González-García S., Mola-Yudego B., Murphy R.J. Life cycle assessment of potential energy uses for short rotation willow biomass in Sweden. *LCA for energy systems*, 2012, pp. 367–379.
- [14] Nureeva T.V., Chefranova M.N., Miftakhov T.F. *Drevesnye plantatsii — budushchee lesnoy bioenergetiki* [Wood plantations are the future of forest bioenergy]. Yoshkar-Ola: PSTU, 2012, 42 p.
- [15] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1982, 552 p.
- [16] Gusev I.I. *Taksatsiya drevostoya* [Forest stand taxation]. Arkhangelsk: ASTU, 2000, 71 p.
- [17] Babich N.A., Merzlenko M.D., Evdokimov I.V. *Fitomassa kul'tur sosny i eli v Evropeyskoy chasti Rossii* [Phytomass of pine and spruce crops in the European part of Russia]. Arkhangelsk, 2004, 112 p.
- [18] Martynyuk A.A. *Potentsial lesnykh resursov dlya tseley bioenergetiki v Rossiyskoy Federatsii* [The potential of forest resources for bioenergy in the Russian Federation]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2013, no. 37, pp. 50–53.
- [19] Martynyuk A.A. *Metodicheskie podkhody k otsenke potentsiala lesnoy biomassy dlya kommunal'noy bioenergetiki* [Methodological approaches to assessing the potential of forest biomass for communal bioenergy]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], 2015, no. 2, pp. 5–12.
- [20] *Lesnaya bioenergetika* [Forest bioenergy]. Ed. Yu.P. Semenov. Moscow: MGUL, 2010, 348 p.
- [21] Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A., Vladykin E.A., Sukhoveev A.I. *Potentsial nevostrebovannykh resursov drevesnogo syr'ya dlya bioenergetiki* [The potential of unclaimed resources of wood raw materials for bioenergy]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2019, v. 37, no. 5, pp. 295–300.

Authors' information

Kilyushev Andrey Yur'evich — Graduate Student of the Department of biology, ecology and biotechnology of the Higher school of natural Sciences and technologies, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, yorick282@yandex.ru

Kilyusheva Natalia Vladimirovna — Graduate Student of the Department of composite materials and construction ecology of the Higher school of engineering, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, n.volkova@narfu.ru

Feklistov Pavel Aleksandrovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of biology, ecology and biotechnology of the Higher school of natural Sciences and technologies, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, p.feklistov@narfu.ru

Received 03.02.2020.

Accepted for publication 20.03.2020.

ФИТОМАССА БЕРЕЗОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПРИДОРОЖНЫХ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

И.А. Здорнов, З.Я. Нагимов, А.В. Капралов

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

Zdornov_Igor@mail.ru

Установлено, что в исследуемых придорожных лесных полосах, как и в естественных насаждениях, основными показателями, определяющими абсолютные значения и структурные особенности надземной фитомассы древостоев, являются возраст, условия местопрорастания и густота насаждений. Изучено, как общая надземная фитомасса древостоев, в том числе фитомасса стволов при прочих равных условиях увеличивается с повышением их возраста и густоты. Установлено, что в многорядных полосах деревья одинаковой толщины из крайних и центральных рядов резко отличаются как по абсолютной величине надземной фитомассы, так и по ее структуре. В структуре надземной фитомассы преобладают органы, длительно аккумулирующие органическое вещество — стволы и ветви. Чем больше возраст органа дерева, тем больше его доля в общей фитомассе. Приспевающие древостои по сравнению со средневозрастными отличаются существенно низкой долей кроны в общей надземной фитомассе и низкой долей листвы в фитомассе кроны. Выявлено, что в придорожных лесных полосах кроме возраста и густоты насаждений, существенным фактором, определяющим особенности формирования надземной фитомассы древостоев, выступает опушенный (краевой) эффект. Плотность надземной фитомассы древостоев в исследуемых лесных полосах варьирует в достаточно широких пределах: от 0,677 до 2,656 кг/м³ в свежем состоянии и от 0,404 до 1,539 кг/м³ — в абсолютно сухом. Наблюдается тенденция повышения данного показателя с увеличением возраста насаждений. Установлено, что количество аккумулированной солнечной энергии в фитомассе, содержащейся в единице объема надземной части лесных полос, изменяется в пределах от 6,71 до 25,55 МДж/м³.

Ключевые слова: фитомасса березовых древостоев, придорожные защитные лесные полосы, Северный Казахстан

Ссылка для цитирования: Здорнов И.А., Нагимов З.Я., Капралов А.В. Фитомасса березовых древостоев придорожных защитных лесных полос Северного Казахстана // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 26–32. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-26-32

В связи с увеличением интенсивности транспортного потока, неуклонно возрастает роль придорожных лесонасаждений, являющихся защитой дорог от снежных и песчаных заносов, а также естественным барьером на пути распространения загрязняющих веществ [1, 2]. Важное значение в связи с суровыми климатическими условиями придорожные защитные насаждения приобретают в малолесных районах Северного Казахстана, где они являются защитой не только для автодорог, но и для агроландшафтов, примыкающих к ним. Агроекологическая роль лесных полос заключается в том, что под их влиянием изменяются абиотические факторы прилегающих территорий, стабилизируется экологический баланс в агроландшафте [3–5]. Под защитой лесных полос повышаются количественные и качественные показатели фитоценозов [6].

По мнению В.В. Танюкевича [7], мелиоративное влияние лесных полос на агроландшафты следует связывать не столько с конструкцией насаждений, сколько с их фитомассой. Он отмечает, что наращивание фитомассы, сопряженное с аккумуляцией солнечной энергии, приводит к формированию лесной полосы как физического объекта с определенной плотностью органического вещества.

К настоящему времени накоплен огромный материал по фитомассе естественных насажде-

ний, а искусственные насаждения, и особенно, защитные лесные полосы в этом отношении остаются слабоизученными.

Цель работы

Цель работы — оценка особенностей формирования надземной фитомассы березовых древостоев и их мелиоративного потенциала в придорожных защитных лесных полосах в условиях Северного Казахстана.

Объекты и методика исследования

Объектом исследований послужили придорожные защитные лесные полосы (ПрЗЛП) различной конструкции и разного возраста, расположенные вдоль автодорог А-12 «Петропавловск — Соколовка — граница РФ» и М-51 «Челябинск — Новосибирск» на территории Кызылжарского и Мамлютского административных районов Северного Казахстана. Они созданы посадкой семян березы повислой (*Betula pendula* Roth). Территория на которой проводились исследования, относится к Северо-Казахстанскому (I) лесомелиоративному району [8].

В основу исследований положены эколого-экономические принципы лесной науки. Они базиру-

ются на методе пробных площадей [9] и широко применили математико-статистический анализ [10]. В ходе полевых работ на каждой пробной площади (ПП) вначале определяли количество рядов, расстояние между ними и шаг посадки, конструкцию полосы (в облиственном состоянии). Затем проводили сплошной переčet деревьев по ступеням толщины, причем в многорядных лесных полосах с сохранившимися рядами эта процедура осуществлялась дифференцированно по рядам посадки. На ПП, на которых посадочные ряды не просматривались, был выполнен общий переčet деревьев по всему древостою.

После перечета в соответствии с рядом распределения деревьев по диаметру осуществляли систематическую выборку модельных деревьев. Их отбирали со средней высотой, диаметром и размером кроны для ступени толщины. Причем, в ПрЗЛП с сохранившимися посадочными рядами проводили две выборки модельных деревьев (по 10 шт.): для крайнего — 13-го ряда и для центрального — 7-го ряда (принцип нумерации рядов — от дороги к полю). В ПрЗЛП, в которых посадочные ряды не просматривались, ограничились одной выборкой модельных деревьев в объеме 10 шт.

У модельных деревьев кроме традиционных таксационных показателей определяли надземную фитомассу по фракциям: древесина и кора ствола, древесина и кора ветвей, листва и отмершие ветви. В основу этой работы положены методические рекомендации В.А. Усольцева и З.Я. Нагимова [11, 12]. Массу стволов, крон, отмерших ветвей определяли непосредственным взвешиванием, а массу листьев — по навескам ветвей. Установление соотношений древесины и коры в стволе и ветвях, а также перевод массы фракций из свежесрубленного состояния в абсолютно сухое проводили по пробным образцам.

Таксационные показатели модельных деревьев и древостоев определяли в соответствии с общепринятыми в лесотаксационной практике методами. Запас древесины (m^3) на ПП вычисляли по отношению сумм площадей сечений древостоя и модельных деревьев по формуле

$$M = \sum V_{м.д} \frac{\sum G_{ПП}}{\sum G_{м.д}}, \quad (1)$$

где M — запас древостоя на пробной площади, m^3 ;

$\sum V_{м.д}$ — сумма объемов модельных деревьев, m^3 ;

$\sum G_{ПП}$ — сумма площадей сечений всех деревьев на пробной площади, m^2 ;

$\sum G_{м.д}$ — сумма площадей сечений модельных деревьев на пробной площади, m^2 .

Такой же подход был применен при определении запасов различных фракций надземной фитомассы:

$$P_i = \sum P_{м.д} \frac{\sum G_{ПП}}{\sum G_{м.д}}, \quad (2)$$

где P_i — запас соответствующей фракции надземной фитомассы на пробной площади, кг;
 $\sum P_{м.д}$ — общая фитомасса фракции по всем модельным деревьям, кг.

При определении запасов надземной фитомассы ПрЗЛП на 1 га их ширину определяли по формуле

$$B = S(n - 1) + 2z, \quad (3)$$

где B — ширина лесной полосы, м;

S — ширина междурядий, м;

n — количество рядов;

z — ширина закраек, м.

Ширина закраек принята равной 2 м, так как изучаемые ПрЗЛП и заложенные в них ПП расположены на черноземных почвах [13].

Для определения плотности надземной фитомассы лесных полос и количества аккумулированной в ней солнечной энергии — величин, от которых в значительной степени зависит степень мелиоративного воздействия полос на прилегающие агроландшафты [14], был рассчитан объем надземной части ПП по формуле

$$W = BLH, \quad (4)$$

где W — объем ПП, m^3 ;

B — ширина лесной полосы (ПП), м;

L — длина ПП, м;

H — средняя высота древостоя, м.

Плотность надземной фитомассы ПрЗЛП рассчитана по формуле

$$R = \frac{P}{W}, \quad (5)$$

где R — плотность надземной фитомассы ПрЗЛП, kg/m^3 ;

P — общая надземная фитомасса на ПП, кг;

W — объем ПП, m^3 .

При оценке объема аккумулированной в надземной фитомассе ПрЗЛП солнечной энергии исходили из потребности количества солнечной энергии для образования 1 кг сухого вещества, которая по данным С.И. Лебедева, составляет 16,6 МДж [15].

Все расчетные и графические работы проведены в программе MO Excel.

Для достижения поставленной цели в ходе полевых работ заложено четыре ПП, на которых отобраны и обработаны по вышеизложенной методике 60 модельных деревьев. Конструктивные особенности и таксационные показатели древостоев исследуемых защитных лесных полос представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

**Конструктивные особенности и таксационные показатели древостоев
придорожных защитных лесных полос**

Specifics and taxation indicators of roadside protective forest strips

Номер пробной площади	Возраст, лет	Количество рядов	Расстояние между рядами, м	Шаг посадки, м	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Текущая густота, шт./га	Запас, м ³ /га
9	27	Ряды не просматриваются	–	–	13,95 ± 0,7	16,9 ± 0,37	646	93,2
10	27	Ряды не просматриваются	–	–	16,11 ± 0,8	20,1 ± 0,23	428	88,0
1	57	13	1,0	0,5(0,7)...1,0	17,64 ± 0,9	18,6 ± 0,26	2202	487,1
12	57	13	1,0	0,5(0,7)...1,0	15,64 ± 1,0	18,0 ± 0,28	1707	352,2

Из табл. 1 видно, что исследуемые защитные лесные полосы представлены средневозрастными (ПП № 9 и № 10) и приспевающими (ПП № 1 и № 12) насаждениями. Насаждения на ПП № 9 и № 10 характеризуются Ia классом бонитета, на ПП № 1 — II и на ПП № 12 — III классом бонитета. Следует отметить, что древостои на ПП № 1 и № 12 в возрасте 41 года (согласно таксационному описанию) соответствовали I классу бонитета. Таким образом, в исследуемых защитных лесных полосах наблюдается снижение класса бонитета древостоев с увеличением их возраста. При одинаковом возрасте посадки березы достаточно существенно отличаются текущей густотой и средними значениями высоты и диаметра. Запас древостоев в этих защитных лесных полосах при прочих равных условиях местопроизрастания существенно повышается с увеличением их возраста и напрямую зависит от текущей густоты. На ПП № 9 и № 10 посадочные ряды не просматривались, поэтому пересчет деревьев и отбор модельных деревьев выполнялись в целом по всему древостою. В приспевающих древостоях, наоборот, четко просматривались посадочные ряды. На них пересчет деревьев проводился отдельно по рядам и формировались две выборки модельных деревьев. По конструктивным особенностям ПП распределяются следующим образом: ажурная конструкция (ПП № 1 и № 12) и ажурно-плотная конструкция (ПП № 9 и № 10).

Результаты и обсуждение

Графоаналитический анализ экспериментальных материалов показал, что в средневозрастных насаждениях (ПП № 9 и № 10) линии, характеризующие зависимость фракций надземной фитомассы деревьев от их диаметра, практически совпадают [16]. Поэтому модельные деревья на этих ПП при определении запасов фитомассы были объединены в одну выборку. В приспевающих насаждениях (ПП № 1 и № 12) модельные деревья одинаковой толщины из

Т а б л и ц а 2

**Запасы фракций надземной фитомассы
в абсолютно сухом состоянии (т/га)
древостоев березы на 1 га в придорожных
защитных лесных полосах**

**Reserves of fractions of aboveground phytomass
in absolutely dry condition (t/ha) of birch stands per 1 ha
in roadside protective forest strips**

Фитомасса	ПП № 9	ПП № 10	ПП № 1	ПП № 12
Стволы весь объем в том числе древесина кора	50,00	47,20	256,90	186,70
	41,53	39,21	210,60	152,80
	8,47	7,99	46,30	33,90
Кроны весь объем в том числе листва	18,96	17,89	52,80	39,30
	3,40	3,20	9,90	7,30

крайних и центральных рядов резко отличаются как по абсолютной величине надземной фитомассы, так и по ее структуре. Деревья в крайних рядах по сравнению с центральными характеризуются более низкими значениями массы стволов и более высокими показателями массы кроны, что показывает проявление краевого (опушечного) эффекта [14, 16, 17]. При сравнении кривых зависимости фракций фитомассы деревьев от их диаметра, построенных отдельно для крайних и центральных рядов, заметных различий между ПП № 1 и № 12 не обнаружено, поэтому для получения более надежных результатов модельные деревья из крайних рядов были объединены в одну выборку, а из центральных — в другую.

Запасы фракций надземной фитомассы на 1 га, определенные по формуле (2), приведены в табл. 2. Причем, запасы на ПП № 1 и № 12 вычислялись дифференцированно как сумма запасов крайних (1-го и 13-го) и центральных рядов.

В исследуемых защитных лесных полосах общая надземная фитомасса древостоев в абсолютно сухом состоянии изменяется от 65,09 т/га (на ПП № 10) до 309,7 т/га (на ПП № 1). Такую значительную амплитуду изменения фитомассы можно объяснить варьированием густоты древостоев и их возрастом. В зависимости от этих факторов наблюдается закономерное изменение как абсолютных значений надземной фитомассы, а следовательно, и их структурных частей, так и соотношений последних между собой.

Известно, что закономерности изменения запасов стволов по массе в зависимости от различных факторов практически аналогичны закономерностям изменения запасов стволов по объему [18]. Фитомасса стволов закономерно повышается с увеличением возраста древостоев. Так, при текущей густоте от 1707 до 2202 шт./га запас фитомассы в 57-летнем древостое (ПП № 1) в 4,5 раза больше, чем в 27-летнем (ПП № 9). При одинаковом возрасте этот показатель возрастает с улучшением условий местопроизрастания. В частности, на ПП № 1, характеризующимся II классом бонитета, фитомасса стволов 1,4 раза больше, чем на ПП № 12, древостой которой растет по III классу. При прочих равных условиях запасы фитомассы стволов выше в древостоях с большей текущей густотой.

Значительный интерес представляет анализ особенностей формирования в исследуемых придорожных лесных полосах фитомассы крон и их структурных элементов. Знание их может служить теоретической основой при изучении различных режимов и процессов выращивания насаждений, выявлении их оптимальных состояний, решении различных экологических вопросов и т. д. В древостоях накопление фитомассы крон (фракций живых ветвей и листвы) определяется не только приростом фитомассы на живых деревьях и отпадом отмерших особей, но и отпадом и формированием листвы и ветвей в кронах растущих деревьев.

Полученные нами материалы свидетельствуют о том, что в исследуемых защитных лесных полосах запасы абсолютно сухой фитомассы крон изменяются от 17,89 до 52,8, а листвы — от 3,2 до 9,9 т/га. В приспевающих насаждениях они значительно выше, чем в средневозрастных. Такие показатели вполне корректны и аналогичны изменениям в естественных древостоях. С возрастом запасы ассимиляционного аппарата увеличиваются и, достигнув максимума, постепенно снижаются или остаются на одном уровне [18].

В структуре надземной фитомассы изучаемых защитных лесных полос, как и естественных древостоев, преобладают органы, длительно аккумулирующие органическое вещество — стволы и ветви. Чем больше возраст органа дерева, тем

Т а б л и ц а 3

Надземная фитомасса, ее плотность и количество аккумулированной солнечной энергии в придорожных защитных лесных полосах

Aboveground phytomass, its density and the amount of accumulated solar energy in roadside protective forest strips

Показатель	ПП № 9	ПП № 10	ПП № 1	ПП № 12
Общая надземная фитомасса, т/га в свежем состоянии в абсолютно сухом состоянии	115,5	109,1	534,5	389,5
	68,9	65,1	309,7	226,0
Плотность надземной фитомассы, кг/м ³ в свежем состоянии в абсолютно сухом состоянии	0,827	0,677	2,656	2,248
	0,494	0,404	1,539	1,304
Количество аккумулированной энергии, МДж/м ³	8,19	6,71	25,55	21,65

больше его доля в общей фитомассе. Так, стволы в коре концентрируют от 72,5 до 83,0 % массы, ветви — от 13,8 до 22,6 %, а листва — только от 3,2 до 4,9 %. Приспевающие древостои по сравнению со средневозрастными отличаются существенно низкой долей крон в общей надземной фитомассе и низкой долей листвы в фитомассе крон. В целом возрастные изменения в соотношениях структурных частей надземной фитомассы древостоев в придорожных полосах аналогичны изменениям в естественных древостоях [18].

До настоящего времени мелиоративную роль защитных лесных полос было принято связывать с их конструкцией (плотной, ажурной и продуваемой). В то же время доказано, что защитные лесные полосы визуальнo одинаковой конструкции могут характеризоваться различной ветропроницаемостью и, как следствие, резко отличаться степенью мелиоративного влияния. В этой связи следует отметить работы, в которых мелиоративное значение защитных лесных полос справедливо связывается с их надземной фитомассой [14, 19–21]. В частности, В.В. Танюкевич [14] отмечает, что увеличение фитомассы, связанное с использованием и аккумулированием солнечной энергии, приводит к формированию защитной лесной полосы как физического объекта с определенной плотностью органического вещества. Поэтому степень мелиоративного воздействия полос на прилегающие ландшафты более объективно оценивается по плотности надземной фитомассы защитных лесных полос и количеству аккумулированной в ней солнечной энергии. Причем защитная лесная полоса, ежегодно наращивая свою

фитомассу, увеличивает мелиоративное влияние на прилегающие территории и агроландшафты. Она выступает как биологическая подсистема, которая стремится достигнуть максимальных показателей фитомассы к определенному возрасту насаждения [21].

Показатели плотности надземной фитомассы и количества аккумулированной в ней солнечной энергии в исследуемых защитных лесных полосах представлены в табл. 3.

Как видно из данных, приведенных в табл. 3, плотность надземной фитомассы в исследуемых защитных лесных полосах варьирует в достаточно широких пределах: от 0,677 до 2,656 кг/м³ в свежем состоянии и от 0,404 до 1,539 кг/м³ — в абсолютно сухом. Наблюдается тенденция повышения данного показателя с увеличением возраста насаждений. Так, в средневозрастных насаждениях плотность абсолютно сухой фитомассы в среднем составляет 0,449 кг/м³, а в приспевающих — 1,421 кг/м³.

Количество аккумулированной солнечной энергии в фитомассе, содержащейся в единице объема надземной части защитных лесных полос, изменяется в пределах от 6,71 до 25,55 МДж/м³. Этот показатель находится в прямой зависимости от абсолютной величины надземной фитомассы и от ее плотности. Поэтому его возрастные изменения аналогичны отмеченным выше изменениям плотности фитомассы.

Полученные нами материалы по аккумулированию солнечной энергии в фитомассе исследуемых защитных лесных полос не противоречат литературным данным [14].

Таким образом, если основываться на материалах исследований В.В. Танюкевича, то можно предположить, что в зоне мелиоративного влияния исследуемых придорожных защитных лесных полос с различной плотностью надземной фитомассы и количеством аккумулированной солнечной энергии должен формироваться разный ветровой режим.

Выводы

1. В придорожных защитных лесных полосах, как и в естественных древостоях, основными показателями, определяющими абсолютные значения надземной фитомассы и соотношения ее структурных частей между собой, остаются возраст, условия местопроизрастания и густота насаждений. Однако в защитных лесных полосах в качестве дополнительного фактора, существенно влияющего на особенности формирования надземной фитомассы, выступает опушечный эффект.

2. С увеличением возраста защитных лесных полос в конкретных лесорастительных условиях прослеживается снижение класса бонитета.

3. Общая надземная фитомасса, в том числе фитомасса стволов в исследуемых защитных лесных полосах существенно увеличивается с повышением их возраста и густоты.

4. В структуре надземной фитомассы изучаемых защитных лесных полос, как и естественных древостоев, преобладают органы, длительно аккумулирующие органическое вещество — стволы и ветви. Чем больше возраст органа дерева, тем больше его доля в общей фитомассе. Приспевающие древостои по сравнению со средневозрастными отличаются существенно низкой долей крон в общей надземной фитомассе и низкой долей листы в фитомассе крон. В целом возрастные изменения в соотношениях структурных частей надземной фитомассы древостоев в придорожных защитных лесных полосах аналогичны изменениям в естественных древостоях.

5. Плотность надземной фитомассы и количество аккумулированной в ней солнечной энергии в исследуемых защитных лесных полосах имеют тенденцию к повышению с увеличением возраста насаждений, причем данные показатели во многом могут зависеть от таксационно-мелиоративной характеристики.

Список литературы

- [1] Дарховский Л.Ш. Совершенствование лесохозяйственных мероприятий в защитных лесных полосах вдоль автомобильных дорог Центральной части зоны хвойно-широколиственных лесов: дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 1992. 196 с.
- [2] Здорнов И.А., Нагимов З.Я., Капралов А.В. Санитарное состояние придорожных защитных лесных полос в условиях Северного Казахстана // Успехи современного естествознания, 2018. № 3. С. 44–51.
- [3] Берлин Н.Г., Маштаков Д.А., Медведев И.Ф. Влияние фитомассы полезащитных лесных полос на содержание гумуса и pH почвы в черноземах южных агролесоландшафта степи юга Приволжской возвышенности // Аграрный научный журнал, 2015. № 9. С. 6–10.
- [4] Танюкевич В.В., Ивонин В.В. Фитомасса лесных полос как фактор мелиоративного влияния на агроландшафт // Мелиорация и водное хозяйство, 2013. № 6. С. 39–41.
- [5] Танюкевич В.В., Журавлева А.В. Мелиоративная роль и продуктивность полезащитных основных лесных полос Среднего Дона. Новочеркасск: Лик, 2017. 118 с.
- [6] Шмыков В.А. Мелиорирующая роль лесных полос в агроландшафтах речных долин Среднерусской лесостепи : на примере Калачской возвышенности: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Волгоград, 2016. 22 с.
- [7] Танюкевич В.В. Мелиоративная роль фитомассы лесных полос степных агроландшафтов Среднего и Нижнего Дона: автореф. дис. ... д-ра. с.-х. наук. Волгоград, 2015. 46 с.
- [8] Бозриков В.В., Муканов Б.М. Лесомелиоративное районирование лесостепной, степной, и полупустынной зон Казахстана. Алматы.: РНИ «Бастау», НАЦАИ РК, 1997. 200 с.
- [9] ОСТ 56-69-83 Площади пробные лесоустойчивые. Метод закладки. URL: <http://docs.cntd.ru/document/675414044> (дата обращения 06.12.2019).

- [10] Вадзинский Р.Н. Статистические вычисления в среде Excel. СПб.: Питер, 2008. 602 с.
- [11] Усольцев В.А., Нагимов З.Я. Методы таксации фитомассы деревьев. Свердловск: УЛТИ, 1988. 44 с.
- [12] Усольцев В.А., Залесов С.В. Методы определения биологической продуктивности насаждений. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 147 с.
- [13] Рекомендации по технологии выращивания полевых лесных полос на землях сельскохозяйственных предприятий Северного и Западного Казахстана. Алма-Ата, КазНИИЛХА, 1992. 48 с.
- [14] Танюкевич В.В. Надземная фитомасса лесных полос, их влияние на ветровой режим и влагонакопление агроландшафтов // Научный журнал КубГАУ, 2013. № 91 (07). С. 986–1003.
- [15] Лебедев С.И. Физиология растений. М.: Агропромиздат, 1988. 544 с.
- [16] Здорнов И.А., Нагимов З.Я. Фитомасса деревьев березы в придорожных защитных лесных полосах Северного Казахстана // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2019. № 226. С. 20–32.
- [17] Павловский Е.С. Уход за лесными полосами. М.: Лесная пром-сть, 1976. 248 с.
- [18] Нагимов З.Я. Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Екатеринбург, 2000. 40 с.
- [19] Долгилевич М.И., Попов В.П., Попова О.С. Особенности роста и формирования малорядных полевых лесных полос в Кулунде // Бюл. ВНИИЛМИ, 1982. Вып. 3 (39). С. 8–14.
- [20] Ивонин В.М., Танюкевич В.В. Адаптивная лесомелиорация степных агроландшафтов. М.: Вузовская книга, 2011. 240 с.
- [21] Танюкевич В.В. Мелиоративная эффективность и фитомасса лесных полос в условиях степных агроландшафтов // Научный журнал КубГАУ, 2011. № 74 (10). С. 720–736.

Сведения об авторах

Здорнов Игорь Александрович — аспирант кафедры лесной таксации и лесоустройства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Zdornov_Igor@mail.ru

Нагимов Зуфар Ягфарович — д-р с.-х. наук, профессор, директор Института леса и природопользования, заведующий кафедрой лесной таксации и лесоустройства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Zdornov_Igor@mail.ru

Капралов Анатолий Витальевич — канд. с.-х. наук, доцент ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Zdornov_Igor@mail.ru

Поступила в редакцию 10.12.2019.

Принята к публикации 26.03.2020.

PHYTOMASS OF BIRCH TREES IN ROADSIDE PROTECTIVE FOREST STRIPS IN NORTHERN KAZAKHSTAN

I.A. Zdornov, Z.Ya. Nagimov, A.V. Kapralov

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

Zdornov_Igor@mail.ru

In the studied roadside forest strips, as well as in natural stands, the main indicators determining the absolute values and structural features of the aboveground phytomass of tree stands are age, growing conditions and stands density. The total aboveground phytomass of tree stands, including the phytomass of trunks, with other conditions being equal, increases with increasing of age and density. In multi-row strips, trees of the same thickness from the extreme and central rows differ markedly both in absolute value of the aboveground phytomass and in its structure. In the structure of the aboveground phytomass, organs accumulating organic matter for a long time — trunks and branches — are dominating. The greater the age of the tree organ, the greater its share in the total phytomass. Compared to middle-aged stands, the ripening stands are characterized by a significantly low share of crowns in the total aboveground phytomass and a low proportion of foliage in the crown phytomass. In roadside forest strips, in addition to the age and density of plantations, an important factor determining the peculiarities of the formation of aboveground stands' phytomass is the edge (marginal) effect. The density of the aboveground phytomass of forest stands in the studied forest ranges varies widely: from 0,677 to 2,656 kg/m³ in fresh state and from 0,404 to 1,539 kg/m³ in absolutely dry. There is a tendency of increasing this indicator with increasing age of plants. The amount of accumulated solar energy in the phytomass, contained in a volume unit of the aboveground part of the forest strips, ranges from 6,71 to 25,55 mJ/m³.

Keywords: phytomass of birch stands, roadside protective forest strips, Northern Kazakhstan

Suggested citation: Zdornov I.A., Nagimov Z.Ya., Kapralov A.V. *Fitomassa berezovykh drevostoev pridorozhnykh zashchitnykh lesnykh polos Severnogo Kazakhstana* [Phytomass of birch trees in roadside protective forest strips in Northern Kazakhstan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 26–32.
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-26-32

References

- [1] Darkhovskiy L.Sh. *Sovershenstvovanie lesokhozyaystvennykh meropriyatiy v zashchitnykh lesnykh polosakh vdol' avtomobil'nykh dorog Tsentral'noy chasti zony khvoynno-shirokolistvennykh lesov: Dis. ... kand. s.-kh. nauk.* [Improvement of forest management measures in protective forest strips along highways of the Central part of the zone of coniferous-deciduous forests: Dis. ... Cand. Sci. (Agric.)]. Ekaterinburg, 1992, 196 p.
- [2] Zdornov I.A., Nagimov Z.Ya., Kapralov A.V. *Sanitarnoe sostoyanie pridorozhnykh zashchitnykh lesnykh polos v usloviyakh Severnogo Kazakhstana* [Sanitary state of roadside protective forest strips in the conditions of Northern Kazakhstan]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in current natural sciences], 2018, no. 3, pp. 44–51.
- [3] Berlin N.G., Mashtakov D.A., Medvedev I.F. *Vliyaniye fitomassy polezashchitnykh lesnykh polos na sodержание gumusa i rN pochvy v chernozemakh yuzhnykh agrolesolandshafta stepi yuga Privolzhskoy vozvysshennosti* [Impact of forest shelterbelt plants biomass on humus content and pH of southern chernozem soils of agroforest and steppe landscapes of southern Volga upland]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agricultural scientific journal], 2015, no. 9, pp. 6–10.
- [4] Tanyukevich V.V., Ivonin V.V. *Fitomassa lesnykh polos kak faktor meliorativnogo vliyaniya na agrolandshaft* [Phytomass of forest strips as a factor of meliorative influence on agricultural landscape]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land reclamation and water management], 2013, no. 6, pp. 39–41.
- [5] Tanyukevich V.V., Zhuravleva A.V. *Meliorativnaya rol' i produktivnost' polezashchitnykh sosnovykh lesnykh polos Srednego Dona* [Reclamation role and productivity of protective pine forest strips of the Middle Don]. Novocheerkassk: Lik, 2017, 118 p.
- [6] Shmykov V.A. *Melioriruyushchaya rol' lesnykh polos v agrolandshaftakh rechnykh dolin Srednerusskoy lesostepi: na primere Kalachskoy vozvysshennosti: avtoref. ... dis. kand. s.-kh. nauk.* [Reclamation role of forest strips in agrolandscapes of river valleys of the Central Russian forest-steppe: on the example of the Kalach upland. Abstract: Dis. ... Cand. Sci. (Agric.)]. Volgograd, 2016, 22 p.
- [7] Tanyukevich V.V. *Meliorativnaya rol' fitomassy lesnykh polos stepnykh agrolandshaftov Srednego i Nizhnego Dona: avtoref. dis. ... d-ra. s.-kh. nauk.* [The reclamation role of the phytomass of forest strips of the steppe agrolandscapes of the Middle and Lower Don. Abstract: Dis. ... Dr. Sci. (Agric.)]. Volgograd, 2015, 46 p.
- [8] Bozrikov V.V., Mukanov B.M. *Lesomeliorativnoe rayonirovaniye lesostepnoy, stepnoy, i polupustynnoy zon Kazakhstana* [Forest-reclamation zoning of forest-steppe, steppe, and semi-desert zones of Kazakhstan]. Alma-Ata: NACAR RK, 1997, 200 p.
- [9] OST 56-69-83 *Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki*. [Industry standard 56-69-83 Trial forest inventory areas. Bookmark Method]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/675414044> (accessed 06.12.2019).
- [10] Vadzinskiy R.N. *Statisticheskie vychisleniya v srede Excel* [Statistical Computing in Excel]. Saint-Petersburg: Piter Publ., 2008, 602 p.
- [11] Usol'tsev V.A., Nagimov, Z.Ya. *Metody taksatsii fitomassy derev'ev* [Methods of inventory of phytomass trees]. Sverdlovsk: UFEI, 1988, 44 p.
- [12] Usol'tsev V.A., Zalesov S.V. *Metody opredeleniya biologicheskoy produktivnosti nasazhdeniy* [Methods of determination of biological productivity of plantings]. Ekaterinburg: USFEU, 2005, 147 p.
- [13] *Rekomendatsii po tekhnologii vyrashchivaniya polezashchitnykh lesnykh polos na zemlyakh sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy Severnogo i Zapadnogo Kazakhstana* [Recommendations on the technology of growing of protective forest strips on the lands of agricultural enterprises of Northern and Western Kazakhstan]. Alma-Ata: KRIFA, 1992, 48 p.
- [14] Tanyukevich V.V. *Nadzemnaya fitomassa lesnykh polos, ikh vliyaniye na vetrovoy rezhim i vlagonakopleniye agrolandshaftov* [Above-ground phytomass of forest strips, their influence on the wind regime and moisture accumulation of agrolandscapes]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* [Scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2013, no. 91 (07), pp. 986–1003.
- [15] Lebedev S.I. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology]. Moscow: Agropromizdat, 1988, 544 p.
- [16] Zdornov I.A., Nagimov Z.Ya. *Fitomassa derev'ev berezy v pridorozhnykh zashchitnykh lesnykh polosakh Severnogo Kazakhstana* [Phytomass of birch trees in sustainable roadside protective forest strips of Northern Kazakhstan]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg forestry Academy], 2019, no. 226, pp. 20–32.
- [17] Pavlovskiy E.S. *Ukhod za lesnymi polosami* [Care of forest strips]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1976, 248 p.
- [18] Nagimov Z.Ya. *Zakonomernosti rosta i formirovaniya nadzemnoy fitomassy sosnovykh drevostoev: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk.* [Regularities of growth and formation of above-ground phytomass of pine stands. Abstract: Dis. ... Dr. Sci. (Agric.)]. Ekaterinburg, 2000, 40 p.
- [19] Dolgilevich M.I., Popov V.P., Popova O.S. *Osobennosti rosta i formirovaniye maloryadnykh polezashchitnykh lesnykh polos v Kulunde* [Features of growth and formation of small-row protective forest strips in Kulunda]. *Byul. VNIALMI* [Bulletin All-Union Research Institute of Agroforestry], 1982, no. 3 (39), pp. 8–14.
- [20] Ivonin V.M., Tanyukevich, V.V. *Adaptivnaya lesomelioratsiya stepnykh agrolandshaftov* [Adaptive forest reclamation of steppe agrolandscapes]. Moscow: Vuzovskaya kniga, 2011, 240 p.
- [21] Tanyukevich V.V. *Meliorativnaya effektivnost' i fitomassa lesnykh polos v usloviyakh stepnykh agrolesolandshaftov* [Reclamation efficiency and phytomass of forest strips in conditions of steppe agrolandscapes]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* [Scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2011, no. 74 (10), pp. 720–736.

Authors' information

Zdornov Igor' Aleksandrovich — Post-graduate student of the Department of Forest Inventory and Forest Management of the Ural State Forest Engineering University, Zdornov_Igor@mail.ru

Nagimov Zufar Yagfarovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Director of the Institute of Forest and Nature Management, head of the Department of Forest Inventory and Forest Management of the Ural State Forest Engineering University, Zdornov_Igor@mail.ru

Kapralov Anatoliy Vital'yevich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Ural State Forest Engineering University, Zdornov_Igor@mail.ru

Received 10.12.2019.

Accepted for publication 26.03.2020.

ОСОБЕННОСТИ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ В НАСАЖДЕНИЯХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ УСЫХАНИЮ, В ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННОЙ ЗОНЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

К.Е. Ведерников, Е.А. Загребин, И.Л. Бухарина

ФГБОУ ВО Удмуртский государственный университет, 426034, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Университетская, д. 1
wke-les@rambler.ru

Представлены результаты исследования по изучению особенностей биохимического состава ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в условиях их массового усыхания на территории Удмуртской Республики. Состояние насаждений определено по способности особей вырабатывать экстрактивные вещества в зависимости от их жизненного состояния. По данным биохимического анализа установлено наиболее высокое содержание экстрактивных веществ у особей хорошего и удовлетворительного жизненного состояния, у деревьев неудовлетворительного состояния биохимические показатели на низком уровне, что связано с отсутствием саморегуляции. Сделан вывод о том, что экстрактивные вещества в древесине имеют существенное значение для адаптивных реакций ели сибирской, а усиление их выработки — ответная реакция на негативные факторы среды.

Ключевые слова: устойчивость, гибель еловых, жизненное состояние, *Picea obovata*, экстрактивные вещества

Ссылка для цитирования: Ведерников К.Е., Загребин Е.А., Бухарина И.Л. Особенности биохимического состава древесины ели в насаждениях, подверженных усыханию, в хвойно-широколиственной зоне европейской части России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 33–42.
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-33-42

Важность темнохвойных насаждений Северного полушария обусловлена их глобальным значением в распределении органического углерода [1]. Существенное ухудшение состояния темнохвойных лесов, которое в ряде случаев сопровождается усыханием древесных пород, проявилось во всем Северном полушарии. Этот процесс весьма динамичен и охватывает всю бореальную зону — от Европы до Северо-Американского континента со всеми лесообразующими породами [2–4]. Массовое усыхание ели на значительной площади европейской части России после аномально высоких температур 2010 г. вызвало значительный интерес исследователей к проблеме изучения устойчивости еловых насаждений к неблагоприятным погодным условиям, антропогенной нагрузке, вредителям и болезням [3, 5, 6].

В сложившихся обстоятельствах проводятся широкие исследования устойчивости еловых насаждений на базе изучения экологической биохимии древесины. Древесина хвойных пород, в том числе ели, состоит из полимерных структурных (целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина) и неструктурных компонентов (экстрактивных веществ, золы и др.). Важную защитную функцию в древесине хвойных пород при действии внешних экологических стрессов выполняют экстрактивные вещества, обладающие высокой биологической активностью. Изучение экстрактивных веществ древесины наиболее активно ведется в зарубежных странах, где их рассматривают как естественных ингибиторов активности древесной

микробиоты [7], в целях познания природы этих веществ. Литературный обзор работ, посвященных экстрактивным веществам, представлен в трудах зарубежных ученых [8–10]. Изучение экстрактивных веществ древесины хвойных пород в контексте фармакологических аспектов активно проводят и специалисты в Российской Федерации [11, 12].

Структура древесины и ее биохимическая составляющая могут изменяться под влиянием различных воздействий. Для выявления закономерностей таких изменений важное значение имеет четкое представление о влиянии на древесину отдельных экологических факторов. Содержание экстрактивных веществ сильно варьирует не только на различных участках лесных массивов, но и от особи к особи, в зависимости от их жизненного состояния [13].

Цель работы

Цель работы — изучение содержания экстрактивных веществ в древесине у особей ели различного жизненного состояния.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены на территории Удмуртской Республики (площадь 42,06 тыс. км²), которая расположена в европейской части России — в бассейнах рек Камы и Вятки к западу от Уральских гор между 56°00' и 58°30' с. ш., 51°15' и 54°30' в. д. Изучаемая территория вытянута с севера на юг примерно на 320 км, с запада на восток — на 200 км, размещаясь в пределах двух

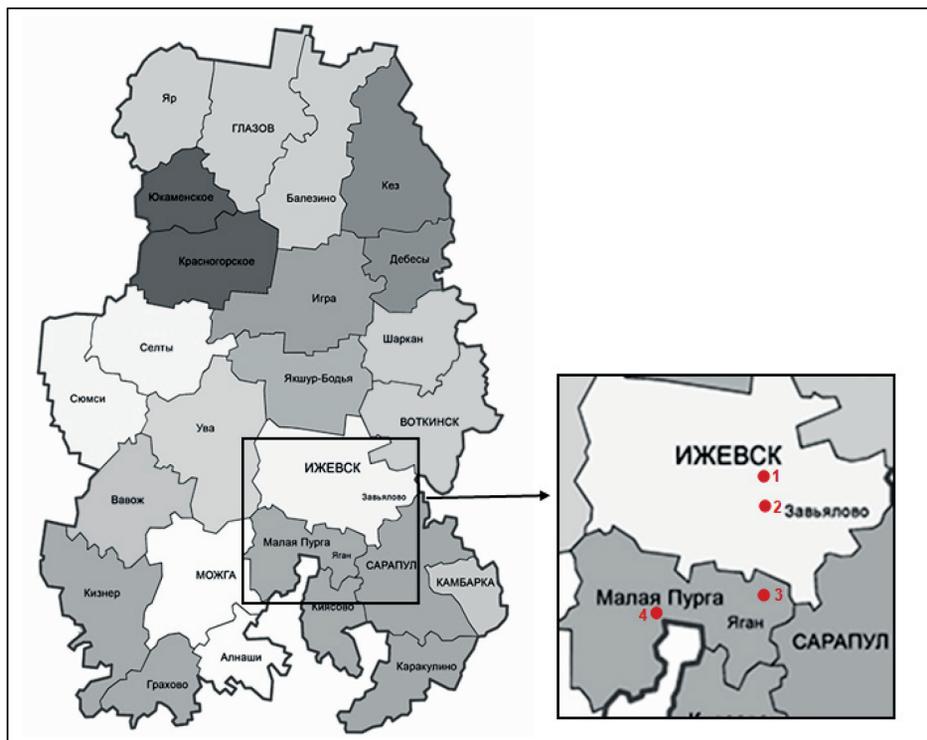


Рис. 1. Картограмма расположения пробных площадей на территории Удмуртской Республики: 1 — ПП1 (Завьяловское — 1); 2 — ПП2 (Завьяловское — 2); 3 — ПП3 (Яганское — 1); 4 — ПП4 (Яганское — 2)

Fig. 1. Map of the trial plots on the territory of the Udmurt Republic: 1 — PP1 (Zavyalovskoe — 1); 2 — PP2 (Zavyalovskoe — 2); 3 — PP3 (Yaganskoeye — 1); 4 — PP4 (Yaganskoeye — 2)

ландшафтных зон: 1) таежной (бореальной зоне/южно-таежной подзоне); 2) подтаежной (бореальной-суббореальной зоне хвойно-широколиственных лесов). Зональная граница совпадает с северной границей ареала *Quercus* и *Corylus*, условно ее проводят между населенными пунктами Вавож — Нылга — Ижевск — Воткинск [14] (рис. 1). Значительная вытянутость территории с севера на юг и холмисто-увалистый рельеф обусловили существенные отличия в температуре воздуха, его влажности, ветровом режиме, количестве осадков между северной и южной частями.

Для оценки таксационных параметров и состояния еловых насаждений заложены пробные площади (ПП) размером 100×100 м в двух лесничествах — Завьяловском и Яганском в подтаежной (бореальной-суббореальной/зона хвойно-широколиственных лесов) зоне. В каждом лесничестве — по две ПП в насаждениях с преобладанием ели, в местах их активного усыхания, в кисличных типах леса.

На ПП отобраны пробы почв для агрохимических анализов методом «конверта» и формирования смешанной пробы. Агрохимический анализ проводился путем определения следующих показателей: pH_{KCL} ; содержание органического вещества (гумуса), аммонийного азота, нитратов, подвижных форм калия и фосфора (в миллиграм-

мах на 1 кг почвы); влажность почв. Исследования проводились в аккредитованной лаборатории АО «Агрохимцентр Удмуртский» (номер в реестре аккредитованных лиц ФСА Росаккредитация — № RA.RU.21 ПА 13 от 16.08.2016 г.).

На ПП применялся перечислительный метод таксации насаждений. Диаметр деревьев определяли мерной вилкой, возраст — возрастным буравом Haglof-350 мм, высота — высотомером Forestry Pro Nikon. Таксационные параметры насаждения (средний диаметр, средняя высота, средний возраст, полнота, состав) определялись пересчетными методами по общепринятой методике [15], продуктивность насаждения — по методике Б.Д. Жилкина, основанной распределением деревьев на классы относительно среднего диаметра насаждения: I класс — 1,46 и выше; II — 1,45...1,16; III — 1,15...0,86; IV — 0,85...0,76; V класс — 0,75 и меньше [16].

По жизненному состоянию древесные растения были подразделены на три группы:

1) хорошее (крона густая или слегка изрежена, хвоя зеленая/светло-зеленая; отдельные ветви засохли);

2) удовлетворительное (крона ажурная; хвоя светло-зеленая, матовая; прирост ослабленный, менее половины обычного; усыхание ветвей до 50 %; наличие на стволе механических повреждений,

имеются признаки первичного повреждения ксилофагами и/или дереворазрушающими грибами);

3) неудовлетворительное (хвоя желтоватая, усыхание ветвей до 2/3 кроны; плодовые тела трутовых грибов, наличие дупел, погибшие особи).

Для изучения биохимических особенностей древесины в пределах каждой группы по жизненному состоянию отобраны по три учетные особи.

Образцы древесины отбирали только у ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) возрастным буром на высоте 0,3 м от корневой шейки дерева. Экстрактивные вещества из древесины фракционировали в соответствии с их химической природой путем последовательной экстракции растворителями возрастающей полярности. Содержание экстрактивных веществ определяли путем горячей отгонки в аппарате Сокслета: водорастворимые вещества — горячей водой, смолоподобные — спиртотолуольной смесью. Содержание танинов определяли перманганатометрическим методом. Определение экстрактивных веществ проводили в пересчете на абсолютно сухую массу (а.с.с.) [17].

Оценку достоверности различий между выборками проводили на основе дисперсионного анализа в среде статистического анализа R, метод описательной статистики — с помощью пакета статистических программ Statistica 5.5.

Результаты исследования

Насаждения на ПП характеризуются значительным количеством погибших особей деревьев основного яруса, полнота варьирует от 2,95 до 11,1 м²/га (абсолютная полнота с учетом сухостоя 5,9...17,9 м²/га). Насаждения с подобной полнотой характеризуются как редины.

По данным перечислительной таксации, на всех исследуемых участках отмечен довольно большой запас сухостойной древесины. В зависимости от ПП ее запас составляет 31,1...93,8 м³/га. На ПП в Яганском лесничестве запас отмершей древесины превышает запас древесины живых деревьев, а в Завьяловском лесничестве на сухостойную древесину приходится более 50 % запаса древесины живых деревьев (табл. 1).

Подрост хвойных пород отсутствует (на ПП в Яганском лесничестве) или присутствует (на ПП в Завьяловском лесничестве), но в недостаточном количестве (менее 500 шт./га) и низкого качества (неблагонадежный). Из древесной растительности в подлеске распространены малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), жимолость лесная (*Lonicera xylosteum* L.) и береза повислая (*Betula pendula* Roth.), последняя начинает формировать основной ярус (табл. 2).

По продуктивности насаждения на исследуемых ПП относятся к III классу. На данный класс

Т а б л и ц а 1

Средние таксационные характеристики насаждений на пробных площадях Завьяловского, Пригородного и Яганского лесничеств

Average taxation characteristics of stands on trial plots of Zavyalovsky, Prigorodny and Yagan forestries

Показатель	Завьяловское и Пригородное лесничества		Яганское лесничество	
	ПП1, 78 кв., 3 выд.	ПП2, 158 кв., 3 выд.	ПП3, 115 кв., 8 выд.	ПП4, 214 кв., 8 выд.
Возраст насаждений, $A_{\text{ср}} \pm \sigma$, лет	70 ± 7,3	67 ± 3,8	60 ± 3,7	65 ± 3,7
Высота насаждений, $H_{\text{ср}} \pm \sigma$, м	21 ± 2,0	23 ± 1,9	18 ± 1,5	22 ± 1,1
Средний диаметр дерева на высоте 1,3 м, $D_{\text{ср.1,3}} \pm \sigma$, см	27,9 ± 7,1	26,0 ± 5,7	25,9 ± 12,9	21,4 ± 4,4
Абсолютная, м ² /га	10,7	11,1	6,0	2,95
Относительная, м ² /га	0,3	0,3	0,2	0,1
Бонитет	II	I	II	I
Запас насаждений, М, м ³	107,0	119,9	52,8	30,7
Запас сухостойной-древесины, м ³	67,2	87,5	93,8	31,1
Продуктивность насаждений	III,2	III,2	III,9	III,8
Продуктивность насаждений с учетом сухостойных деревьев (по Б.Д. Жилкину)	III,1	III,0	III,5	III,9
Состав	9Е1П+Б	9Е1П	10Е	10Е

Примечание. Е — ель, П — пихта, Б — береза.

приходится 57 и 45 % учетных деревьев. Следует отметить, что в Яганском и Завьяловском лесничествах погибшие деревья были высокопродуктивными, 97 и 86 % соответственно относились к I–III классам.

Анализ распределения деревьев по диаметрам относительно среднего, позволил выявить закономерность распределения растений основного полога. При сопоставлении диаметров живых и погибших особей ели выявлено, что большинство погибших деревьев имеют диаметр ствола выше среднего.

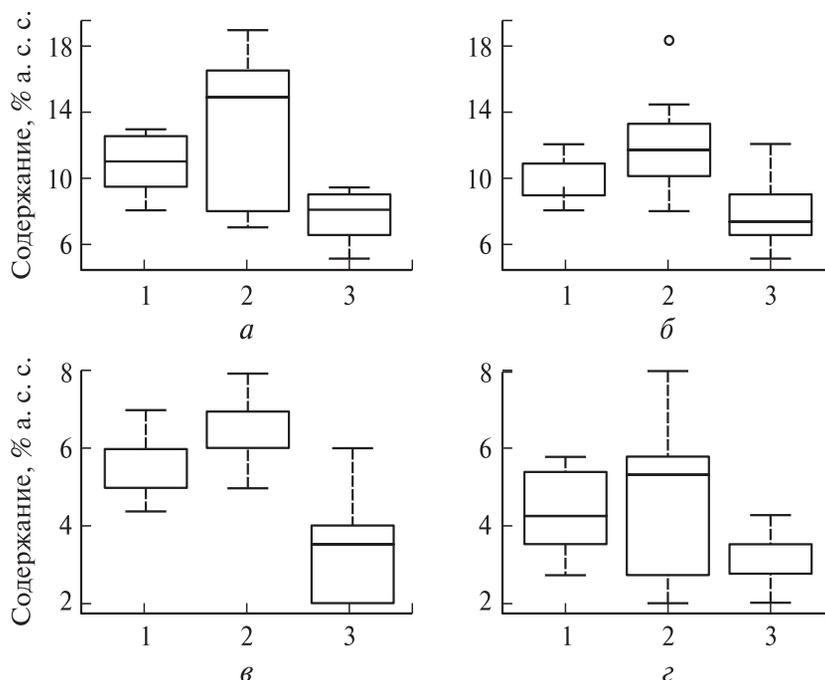


Рис. 2. Общее содержание экстрактивных веществ (а), водорастворимых экстрактивных веществ (б), танинов (в) и смолоподобных экстрактивных веществ (г) у особей ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) разного жизненного состояния: 1 — особи хорошего жизненного состояния; 2 — удовлетворительного; 3 — неудовлетворительного жизненного состояния

Fig. 2. The total content of extractive substances (a), water-soluble extractive substances (б), tannins (в) and tar-like extractive substances (г) in individuals of Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) of different living state: 1 — individuals of good living state; 2 — satisfactory; 3 — poor living state

В местах усыхания эффект гибели в первую очередь наиболее крупных особей отмечен в работах В.А. Резенберга [18] и Л.В. Любарского [19]. В условиях нарушения гидрологического режима прежде всего начинают гибнуть высокопроизводительные растения, так как у них увеличен расход влаги на транспирацию.

Помимо гидрологических условий в состоянии еловых насаждений немаловажное значение, имеют эдафические условия произрастания. Как отмечено в работах В.П. Трегубова [20], на устойчивость еловых древостоев к засухе влияют степень гумусированности и оподзоленности почвы: чем более оподзолены и менее гумусированы почвы, тем менее устойчивы древостои. По данным наших исследований, на ПП с более кислыми почвами (Яганское лесничество) больше сухостойных деревьев (табл. 3).

Реакция почвенного раствора изменяется от сильно кислой (рН = 3,8) до кислой (рН = 4,7). Высокое содержание органического вещества выявлено на ПП Завьяловского (ПП2 — 4,01 %) и Яганского лесничеств (ПП1 — 5,38 %). Содержание подвижного фосфора в почвах всех ПП очень низкое, а по наличию подвижных форм калия почвы значительно отличаются. Так, очень низкое

содержание калия отмечено в почвах Яганского лесничества, а на ПП Завьяловского лесничества содержание калия варьирует от повышенного (ПП1) до высокого (ПП2).

Изреживание древесного полога привело к смене растительного сообщества. В живом напочвенном покрове неморальное ширококравье — копытень европейский (*Asarum europaeum* L.) и кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.) — начинают вытесняться полевым разнотравьем — осотом полевым (*Sonchus arvensis* L.), ежой сборной (*Dactylis glomerata* L.), мятликом луговым (*Poa pratensis* L.), клевер гибридный (*Trifolium hybridum* L.) и др.

Сравнительное исследование общего содержания экстрактивных веществ в древесине у особей различного жизненного состояния выявило существенные различия ($p < 0,001$). По компонентному составу экстрактивных веществ определены достоверные отличия по содержанию смолы и танинов у растений удовлетворительного и неудовлетворительного состояния ($p < 0,000$). Наиболее высокое содержание всех групп веществ обнаружено у растений с удовлетворительным состоянием, наименьшее — у особей неудовлетворительного жизненного состояния (рис. 2).

Т а б л и ц а 2

**Характеристика насаждений на пробных площадях Завьяловского,
Пригородного и Яганского лесничеств**

Description of plantings in the trial plots of Zavyalovsky, Prigorodny and Yagan forestries

Показатель	Завьяловское и Пригородное лесничества		Яганское лесничество	
	ПП1, 78 кв., 3 выд.	ПП2, 158 кв., 3 выд.	ПП3, 115 кв., 8 выд.	ПП4, 214 кв., 8 выд.
Подрост	Редкий, неблагонадежный	Редкий, неблагонадежный	–	Редкий, благонадежный
Состав подроста	Ель (10 %), береза (51 %), осина (39 %)	Ель (22 %), береза (78 %)	–	Ель (100 %)
Всего, шт./га	381	472	–	321
Подлесок	Бересклет, шиповник, черемуха	–	Редкий, высота 1,5–2 м: рябина обыкновенная, малина лесная, ива козья	Густой, высота 2 м: осина, рябина, крушина, черемуха, бузина
Живой напочвенный покров	Редкий: хвощ, орляк, кислица, осока, клевер гибридный, осот, пушица; опушка заболочена	Редкий: хвощ, орляк, кислица, копытень, мятлик луговой, клевер гибридный	Осот полевой, ежа сборная, мятлик луговой, клевер гибридный, хвощ лесной, папоротник орляк	Густой: звездчатка, сныть, орляк, пушица, кислица, осока

Т а б л и ц а 3

**Агрохимические показатели почв на пробных площадях Завьяловского,
Пригородного и Яганского лесничеств**

Agrochemical indicators of soils in the trial plots of Zavyalovsky, Suburban and Yagan forestries

Показатель	Завьяловское и Пригородное лесничества		Яганское лесничество	
	ПП1, 78 кв., 3 выд.	ПП2, 158 кв., 3 выд.	ПП3, 115 кв., 8 выд.	ПП4, 214 кв., 8 выд.
Влажность, %	16,0 ± 2,0	33,0 ± 1,0	11,3 ± 1,1	17,0 ± 1,6
pH _{KCl}	4,6 ± 0,1	3,8 ± 0,1	3,9 ± 0,1	4,7 ± 0,1
Гумус, %	2,12 ± 0,31	4,01 ± 0,92	5,38 ± 0,05	4,13 ± 3,19
P ₂ O ₅ , мг/кг	4,00 ± 0,5	3,75 ± 0,25	3,81 ± 0,77	2,75 ± 0,25
K ₂ O, мг/кг	170,0 ± 26,0	225,0 ± 34,0	40,54 ± 3,33	306,0 ± 46,0
NO ₃ ⁻ , мг/кг	36,3 ± 7,3	41,7 ± 8,3	0,95 ± 0,10	30,2 ± 6,0
NH ₄ ⁺ , мг/кг	5,2 ± 0,8	7,5 ± 1,1	423,33 ± 10,47	23,4 ± 2,3

По результатам статистического анализа выявлено, что достоверные отличия общего содержания экстрактивных веществ и отдельных их групп характерны для ПП3 и ПП4 ($p < 0,005$), расположенных в пределах Яганского лесничества. Для ПП Завьяловского лесничества достоверных отличий в содержании экстрактивных веществ не выявлено ($p > 0,05$).

При анализе взаимодействия факторов (жизненного состояния и условий произрастания) установлено, что наибольшая разница по содержанию всех групп экстрактивных веществ связана с жизненным состоянием деревьев ($p < 0,001$), в то время как их местообитание имеет меньшее значение ($p < 0,01$); исключение составляет содержание смол ($p < 0,000$). Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют о том, что взаимодействие между двумя факторами несущественное, каждый из них оказывает влияние по отдельности (рис. 3, табл. 4).

Результаты и обсуждение

Изреживание основного древесного полога является основным фактором, который приводит к смене растительного сообщества. На основании полученных данных можно утверждать, что в результате массового усыхания древесных пород исследуемые ПП потеряли основные признаки еловых лесных экосистем и основной ярус начинают формировать мягколиственные породы. На фоне этого происходит развитие луговой растительности, которая образует плотную дернину, не позволяющую укореняться сеянцам ели.

Все перечисленные выше факторы формируют благоприятный фон для развития ксилофагов. Несмотря на то, что в последнее десятилетие (после засухи 2010 г.) агенты климатических факторов (температурный режим, влажность, осадки) были благоприятнее для развития темнохвойных лесов,

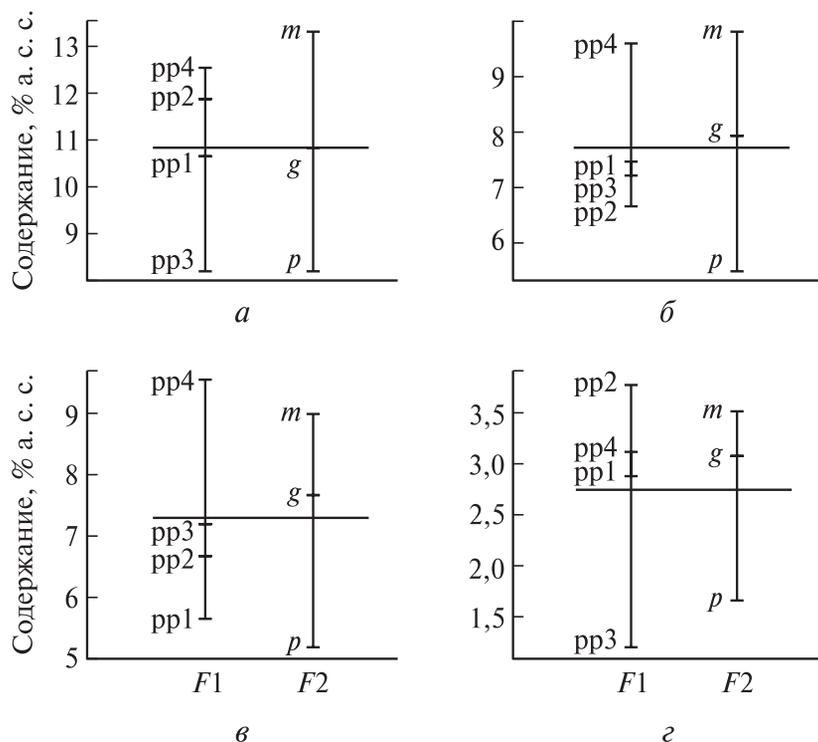


Рис. 3. Общее содержание экстрактивных веществ (а), водорастворимых экстрактивных веществ (б), танинов (в), смолоподобных экстрактивных веществ (г) ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) согласно различным факторам: F1 — пробная площадка: pp1 — ПП1; pp2 — ПП2; pp3 — ПП3; pp4 — ПП4; F2 — жизненное состояние особей: g — хорошее; m — удовлетворительное, p — неудовлетворительное

Fig. 3. The total content of extractive substances (a), water-soluble extractive substances (б), tannins (в), tar-like extractives (г) Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) according to various factors: F1 — trial site: pp1 — PP1; pp2 — PP2; pp3 — PP3; pp4 — PP4; F2 — living condition of individuals: g — good; m — satisfactory, p — unsatisfactory

усыхание их не прекратилось, причем продолжилось на фоне увеличения плотности популяции короедов. Распространение короеда-типографа (*Ips typographus*) является основной причиной гибели ели на территории Удмуртской Республики [21].

В пределах исследуемых территорий нами были выявлены значительные запасы отмершей биомассы хвойных растений с характерными маточными следами ксилофага. Однако у растений, как у любых живых организмов, существуют адаптивные механизмы, обеспечивающие выживание вида в различных стрессовых условиях. Одной из ответных реакций на внешние неблагоприятные факторы (в том числе поражение фитофагами) является синтез ряда вторичных метаболитов с высоким уровнем биологической активности, обеспечивающих биохимическую защиту растений [22, 23].

По полученным результатам изучения содержания экстрактивных веществ в древесине выявлено, что оно тесно связано с жизненным состоянием особей; наибольшее содержание всех групп метаболитов отмечено у особей удовлет-

ворительного жизненного состояния. Деревья данной группы имеют признаки усыхания, однако повышенное содержание экстрактивных веществ в древесине способствует функционированию механизмов защиты. В то же время, значительное варьирование изучаемых биохимических показателей у деревьев удовлетворительного жизненного состояния может свидетельствовать о возможном нарушении гомеостаза. Очевидно, отмеченное нами усиление процессов образования экстрактивных веществ, является одной из стратегий метаболической адаптации растений к действию стрессовых факторов. В частности, экстрактивные вещества повышают устойчивость к фитофагам. Растительные клетки реагируют на механические повреждения или проникновение патогенов повышением образования вторичных метаболитов, в частности танинов и смол, что приводит к снижению выживаемости и плодовитости насекомых, питающихся тканями поврежденных растений [24, 25]. В свою очередь, у особей хорошего жизненного состояния, количественное содержание экстрактивных

Т а б л и ц а 4

Содержание экстрактивных веществ в древесине особей *Picea obovata* Ledeb. различного жизненного состояния Завьяловского, Пригородного и Яганского лесничеств

The content of extractives in the wood of *Picea obovata* Ledeb species of different living states in Zavyalovsky, Suburban and Yagan forestries

Содержание экстрактивных веществ, % а.с.с.	Завьяловское и Пригородное лесничества						Яганское лесничество					
	ПП1, 78 кв. 3 выд.			ПП2, 158 кв., 3 выд.			ПП3, 115 кв., 8 выд.			ПП4, 214 кв., 8 выд.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Общее содержание: среднее ± ошибка среднего	8,41 ± 0,40	6,78 ± 0,10	9,91 ± 1,74	12,98 ± 0,18	17,04 ± 1,02	7,83 ± 1,28	11,06 ± 0,12	14,90 ± 0,21	5,82 ± 0,65	11,57 ± 0,16	14,48 ± 2,64	9,90 ± 1,74
доверительный интервал для среднего значения при $p < 0,05$	8,23... 8,58	6,37... 7,19	2,43... 17,38	12,20... 13,77	12,65... 21,42	2,32... 13,33	10,53... 11,58	13,99... 15,81	3,02... 8,62	10,87... 12,27	3,10... 25,87	2,43... 17,38
Водорастворимые экстрактивные вещества: среднее ± ошибка среднего	77,20 ± 0,20	66,62 ± 0,09	77,57 ± 1,58	110,25 ± 0,14	111,93 ± 0,57	66,63 ± 1,26	77,98 ± 0,57	99,98 ± 0,14	44,97 ± 0,44	66,41 ± 0,09	110,60 ± 2,33	33,34 ± 0,65
доверительный интервал для среднего значения при $p < 0,05$	6,33... 8,06	6,22... 7,02	0,79... 14,36	9,63... 10,87	9,45... 11,37	1,22... 12,03	5,52... 10,44	9,38... 10,59	3,08... 6,85	6,02... 6,80	0,58... 20,62	0,57... 6,11
Танины: среднее ± ошибка среднего	6,63 ± 0,33	5,83 ± 0,08	4,06 ± 1,35	6,06 ± 0,85	5,83 ± 0,08	4,05 ± 1,34	6,47 ± 0,22	6,72 ± 0,09	3,30 ± 0,45	5,161 ± 0,73	7,78 ± 1,85	2,45 ± 0,31
доверительный интервал для среднего значения при $p < 0,05$	5,99... 7,26	5,67... 5,99	1,42... 6,69	5,23... 8,03	5,48... 6,18	1,74... 9,84	5,50... 7,45	6,31... 7,13	1,35... 5,25	4,84... 5,47	0,19... 5,74	1,13... 3,78
Содержание смолоподобных экстрактивных веществ: среднее ± ошибка среднего	1,21 ± 0,24	0,16 ± 0,01	2,33 ± 0,20	2,74 ± 0,04	5,11 ± 1,59	1,20 ± 0,28	3,07 ± 0,48	4,92 ± 0,07	0,85 ± 0,22	5,16 ± 0,07	3,89 ± 0,44	2,28 ± 0,41
доверительный интервал для среднего значения при $p < 0,05$	0,17... 2,25	0,15... 0,16	1,47... 3,19	2,57... 2,90	1,72... 11,94	0,01... 2,38	1,00... 5,14	4,62... 5,22	0,08... 1,77	4,85... 5,47	2,01... 5,76	0,52... 4,05

Примечание. Жизненное состояние особей: 1 — хорошее, 2 — удовлетворительное, 3 — неудовлетворительное; а.с.с. — абсолютное сухое состояние.

веществ находится в более стабильном состоянии (наблюдается меньший диапазон варьирования) при относительно высоких средних значениях. Для особей неудовлетворительного жизненного состояния отмечены наименьшие значения исследуемых биохимических показателей, что свидетельствует о нарушении и отсутствии процессов биохимической регуляции.

Выводы

В результате проведенных исследований можно констатировать, что в темнохвойных насаждениях идет активная смена растительного сообщества

в результате деградации доминантного яруса под воздействием короеда-типографа, что служит одной из основных причин гибели ели на территории Удмуртской Республики. Насаждения ели характеризуются низкой полнотой деревьев основного полога, в результате чего происходит сукцессионная стадия смены темнохвойного леса на мягколиственный. Одним из внутренних механизмов, как ответной реакции на внешние неблагоприятные факторы (в том числе и на повреждение органов фитофагами) является усиление процессов образования вторичных метаболитов, в частности танинов и смол. Полученные нами

результаты биохимического анализа древесины показали, что содержание экстрактивных веществ тесно связано с жизненным состоянием деревьев. Вероятно, что высокое содержание танинов и смол у ослабленных деревьев свидетельствует о мобилизации внутренних ресурсов растения. Таким образом, содержание экстрактивных веществ может быть индикатором состояния еловых пород и использовано при отборе отдельных особей деревьев для создания устойчивых лесонасаждений в процессе лесокультурных работ. Однако для более полного понимания процессов образования и динамики содержания экстрактивных веществ в древесине растений и связи с устойчивостью древесных пород требуется серия дополнительных исследований и калибровка данных с учетом климатических факторов и степени поражения патогенными агентами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-04-00353 А.

Список литературы

- [1] Magney T., Bowling D., Logan B., Grossmann K., Stutz J., Blanken P., Burns S., Cheng R., Garcia M., Köhler P., Lopez S., Parazoo N., Raczka B., Schimel D., Frankenberg C. Mechanistic evidence for tracking the seasonality of photosynthesis with solar-induced fluorescence // PNAS, 2019, v. 116(24), pp. 11640–11645. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.1900278116>
- [2] Jose F. Negrón Biological Aspects of Mountain Pine Beetle in Lodgepole Pine Stands of Different Densities in Colorado // USA Forests, 2019, v, 10(1), p. 18. URL: <https://doi.org/10.3390/f10010018>
- [3] Маслов А.Д. Короед-типограф и усыхание еловых лесов. М.: ВНИИЛМ, 2010. 138 с.
- [4] Caudullo G., Tinner W., de Rigo D. Picea abies in Europe: distribution, habitat, usage and threats European Atlas of Forest Tree Species. Luxembourg: Publication Office of the European Union, 2016, pp. 114–116.
- [5] Алябьев А.Ф. Усыхание ельников Подмосковья // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013. № 6 (98). С. 159–166.
- [6] Иванчина Л.А., Залесов С.В. Влияние типа леса на устойчивость еловых древостоев Прикамья // Пермский аграрный вестник, 2017. № 1 (17). С. 38–43.
- [7] Kirker G.T., Blodgett A.B., Arango R.A., Lebow P.K., Clausen C. A. The role of extractives in naturally durable wood species // International Biodeterioration & Biodegradation, 2013, v. 82, pp. 53–58.
- [8] Scheffer T.C., Morrell J.J. Natural Durability of Wood: A Worldwide // Checklist of Species Research Contribution. 22 Forest Research Laboratory. Oregon State University, 1998, p. 58.
- [9] Yang D.Q. Potential utilization of plant and fungal extracts for wood protection // Forest Product Journal, 2009, pp. 37–39.
- [10] Singh T., Singh A.P. A review of natural products as wood protectant // Wood Science Technology, 2012, pp. 851–870.
- [11] Fedorova T.E., Fedorov S.V., Babkin V.A. Oligolignans in the wood of *Picea obovata* Ledeb // Russian Journal of Bioorganic Chemistry, 2016, v. 42, no. 7, pp. 712–715. DOI: 10.1134/S1068162016070062.
- [12] Бабкин В.А. Экстрактивные вещества древесины лиственницы: химический состав, биологическая активность, перспективы практического использования // Инноватика и экспертиза, 2017. Выпуск 2(20). С. 210–223.
- [13] Scheffer T.C., Cowling E.B. Natural resistance of wood to microbial deterioration // Annual Review of Phytopathology, 1966, pp. 147–168.
- [14] География Удмуртии: природные условия и ресурсы / Под ред. И.И. Рысина. Ижевск: Изд. дом «Удмуртский университет», 2009. Ч. 1. 256 с.
- [15] Ушаков А.И. Лесная таксация и лесоустройство. М.: МГУЛ, 1997. 176 с.
- [16] Григорьев В.П., Рихтер И.Э., Лахтанова Л.И., Меркуль Г.В. Практикум по лесоводству. Минск: Выш. шк., 1989. С. 10–13.
- [17] Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.
- [18] Розенберг В.А. О выходе деловой древесины из усыхающих и сухих стволов аянской ели // Сообщения Дальневосточного филиала АН СССР, 1950. Вып. 1. С. 3–7.
- [19] Любарский Л.В. Санитарное состояние лесов Дальнего Востока и пути их оздоровления // Вопр. развития лесного хозяйства и лесной промышленности Дальнего Востока. М., Л.: Изд. АН СССР, 1955. 175 с.
- [20] Трегубов В.П. Растительные ресурсы Комсомольского района // Амурский сборник. Хабаровск: Дальневосточное отделение АН СССР, 1960. С. 310–329.
- [21] Краткий обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Удмуртской Республики за 2013 год и прогноз лесопатологической ситуации на 2014 год, Ижевск, 2014. 44 с.
- [22] Прусакова Л.Д., Кефели В.И., Белоухов С.Л., Вакуленко В.В., Кузнецова С.А. Роль фенольных соединений в растениях // Агрохимия, 2008. № 7. С. 58–98.
- [23] Бахтенко Е.Ю., Курапов П.Б. Многообразие вторичных метаболитов высших растений: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Вологда: Вологодский гос. пед. ун-т, 2008. 264 с.
- [24] Мартемьянов В.В. Значение фенольных соединений при индукции ответа березы повислой на ее повреждение гусеницами непарного шелкопряда // Материалы докл. VII Междунар. симп. по фенольным соединениям: Фундаментальные и прикладные аспекты, Москва, 19–23 октября 2009 г. М.: Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, 2009. С. 165–166.
- [25] Зиновьева С.В., Васюкова Н.И., Удалова Ж.В., Герасимова Н.Г., Озерцовская О.Л. Участие салициловой кислоты в устойчивости растений к паразитическим нематодам / Материалы докл. VII Междунар. симп. по фенольным соединениям: Фундаментальные и прикладные аспекты, Москва, 19–23 октября 2009 г. М.: Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, 2009. С. 99–100.

Сведения об авторах

Ведерников Константин Евгеньевич — канд. биол. наук, доцент кафедры инженерной защиты окружающей среды, ФГБОУ ВО Удмуртский государственный университет, wke-les@rambler.ru

Загребин Егор Александрович — ассистент кафедры инженерной защиты окружающей среды, ФГБОУ ВО Удмуртский государственный университет, i.am.yeti@yandex.ru

Бухарина Ирина Леонидовна — д-р биол. наук, зав. кафедрой инженерной защиты окружающей среды, ФГБОУ ВО Удмуртский государственный университет, buharin@udmlink.ru

Поступила в редакцию 06.02.2020.

Принята к публикации 10.04.2020.

ASSESSMENT OF SPRUCE STANDS IN CONIFEROUS-BROAD-LEAVED ZONE IN EUROPEAN PART OF RUSSIA

K.E. Vedernikov, E.A. Zagrebin, I.L. Buharina

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State University», 1, Universitetskaya st., 426034, Izhevsk, Republic of ANS, Russia

wke-les@rambler.ru

The paper presents the results of research on the features of the biochemical composition of Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) in the conditions of their mass shrinkage on the territory of the Udmurt Republic (Russia). The taxational description of plantings is carried out by the enumerative method. The study of the biochemical composition of wood is presented by the content of extractive substances in individuals of different life States. It was found that the plantings on trial areas are characterized by low density of trees of the main tier. According to the biochemical analysis, the highest content of extractive substances was observed in individuals of good and satisfactory life condition. In trees of unsatisfactory condition, biochemical parameters were low, which is due to the lack of self-regulation in dead wood. It is obvious that the studied substances play an important role in the adaptive reactions of Siberian spruce, and the increase in their production is a response to negative environmental factors.

Keywords: stability, death of spruce trees, vital state, *Picea obovata*, extractive substances

Suggested citation: Vedernikov K.E., Zagrebin E.A., Buharina I.L. *Osobennosti biokhimicheskogo sostava drevesiny eli v nasazhdeniyakh, podverzhennykh usykhaniyu, v khvoyno-shirokolistvennoy zone evropeyskoy chasti Rossii* [Assessment of spruce stands in coniferous-broad-leaved zone in european part of Russia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 33–42. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-33-42

References

- [1] Magney T., Bowling D., Logan B., Grossmann K., Stutz J., Blanken P., Burns S., Cheng R., Garcia M., Köhler P., Lopez S., Parazoo N., Raczka B., Schimel D., Frankenberg C. Mechanistic evidence for tracking the seasonality of photosynthesis with solar-induced fluorescence. *PNAS*, 2019, v. 116(24), pp. 11640–11645. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.1900278116>
- [2] Jose F. Negrón Biological Aspects of Mountain Pine Beetle in Lodgepole Pine Stands of Different Densities in Colorado. *USA Forests*, 2019, v. 10(1), p. 18. URL: <https://doi.org/10.3390/f10010018>
- [3] Maslov A.D. *Koroed-tipograf i usyhanie elovykh lesov* [Bark beetle-typographer and shrinking of spruce forests]. Moscow: All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry (ARRISMF), 2010, 138 p.
- [4] Caudullo G., Tinner W., de Rigo D. *Picea abies* in Europe: distribution, habitat, usage and threats European Atlas of Forest Tree Species. Luxembourg: Publication Office of the European Union, 2016, pp. 114–116.
- [5] Alyabyev A.F. Drying of spruce forests near Moscow. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2013, no. 6 (98), pp. 159–166.
- [6] Ivanchina L.A., Zalesov S.V. *Vliyaniye tipa lesa na ustoychivost' elovykh drevostoev Prikam'ya* [Influence of the type of forest on the stability of spruce stands of Prikamye] *Permskiy agrarnyy vestnik* [Perm Agrarian Bulletin], 2017, no. 1 (17), pp. 38–43.
- [7] Kirker G.T., Blodgett A.B., Arango R.A., Lebow P.K., Clausen C.A. The role of extractives in naturally durable wood species. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2013, v. 82, pp. 53–58.
- [8] Scheffer T.C., Morrell J.J. Natural Durability of Wood: A Worldwide Checklist of Species Research Contribution. 22 Forest Research Laboratory. Oregon State University, 1998, p. 58.
- [9] Yang D.Q. Potential utilization of plant and fungal extracts for wood protection. *Forest Product Journal*, 2009, pp. 37–39.
- [10] Singh T., Singh A.P. A review of natural products as wood protectant. *Wood Science Technology*, 2012, pp. 851–870.
- [11] Fedorova T.E., Fedorov S.V., Babkin V.A. Oligolignans in the wood of *Picea obovata* Ledeb. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 2016, v. 42, no. 7, pp. 712–715. DOI: 10.1134/S1068162016070062

- [12] Babkin V.A. *Ekstraktivnye veshchestva drevesiny listvennitsy: khimicheskii sostav, biologicheskaya aktivnost', perspektivy prakticheskogo ispol'zovaniya* [Extractives of larch wood: chemical composition, biological activity, prospects for practical use] *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and Expertise], 2017, iss. 2 (20), pp. 210–223.
- [13] Scheffer T.C., Cowling E.B. Natural resistance of wood to microbial deterioration. *Annual Review of Phytopathology*, 1966, pp. 147–168.
- [14] *Geografiya Udmurtii: prirodnye usloviya i resursy* [Geography of Udmurtia: natural conditions and resources]. Ed. I.I. Rysin. Izhevsk: Publ. House «Udmurt University», 2009, part 1, 256 p.
- [15] Ushakov A.I. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest taxation and forest inventory]. Moscow: MGUL, 1997, 176 p.
- [16] Grigor'ev V.P., Rikhter I.E., Lakhtanova L.I., Merkul' G.V. *Praktikum po lesovodstvu* [Workshop on forestry]. Minsk: Vyssh. school, 1989, pp. 10–13.
- [17] Obolenskaya A.V., El'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy* [Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose]. Moscow: Ecology, 1991, 320 p.
- [18] Rozenberg V.A. *O vykhode delovoy drevesiny iz usykhayushchikh i sukhikh stvolov ayanskoy eli* [On the yield of commercial wood from drying and dry trunks of Ayan spruce]. *Soobshcheniya Dal'nevostochnogo filiala AN SSSR* [Messages of the Far Eastern Branch of the USSR Academy of Sciences], 1950, iss. 1, pp. 3–7.
- [19] Lyubarskiy L.V. *Sanitarnoe sostoyanie lesov Dal'nego Vostoka i puti ikh ozdorovleniya* [Sanitary condition of the forests of the Far East and ways of their recovery] *Voprosy razvitiya lesnogo khozyaystva i lesnoy promyshlennosti Dal'nego Vostoka* [Issues of the development of forestry and forest industry of the Far East]. Moscow, Leningrad: Ed. USSR Academy of Sciences, 1955, 175 p.
- [20] Tregubov V.P. *Rastitel'nye resursy Komsomol'skogo rayona* [Plant resources of the Komsomolsky district]. *Amurskiy sbornik* [Amur collection]. Khabarovsk: FEB Academy of Sciences of the USSR, 1960, pp. 310–329.
- [21] *Kratkiy obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Udmurtskoy Respubliki za 2013 god i prognoz lesopatologicheskoy situatsii na 2014 god* [A brief review of the sanitary and forest-pathological condition of the forests of the Udmurt Republic for 2013 and the forecast of the forest-pathological situation for 2014]. Izhevsk, 2014, 44 p.
- [22] Prusakova L.D., Kefeli V.I., Belopukhov S.L., Vakulenko V.V., Kuznetsova S.A. *Rol' fenol'nykh soedineniy v rasteniyakh* [The role of phenolic compounds in plants]. *Agrokhiimiya* [Agrochemistry], 2008, no. 7, pp. 58–98.
- [23] Bakhtenko E.Yu., Kurapov P.B. *Mnogoobrazie vtorichnykh metabolitov vysshikh rasteniy* [Variety of secondary metabolites of higher plants]. Vologda: Vologda State. Ped Univ., 2008, 264 p.
- [24] Martem'yanov V.V. *Znachenie fenol'nykh soedineniy pri induksii otveta berezy povisloy na ee povrezhdenie gusenitsami neparnogo shelkopryada* [The significance of phenolic compounds in the induction of a response of birch hanging on its damage by unpaired silkworm caterpillars]. *Materialy dokladov VII Mezhdunarodnogo simpoziuma po fenol'nykh soedineniyam: Fundamental'nye i prikladnye aspekty* [Proceedings of the VII International Symposium on Phenolic Compounds: Fundamental and Applied Aspects], Moscow, October 19–23, 2009. Moscow: K.A. Timiryazev RAN, 2009, pp. 165–166.
- [25] Zinov'eva S.V., Vasyukova N.I., Udalova Zh.V., Gerasimova N.G., Ozeretskoyanskaya O.L. *Uchastie salitsilovoy kisloty v ustoychivosti rasteniy k paraziticheskim nematodam* [The participation of salicylic acid in plant resistance to parasitic nematodes] *Materialy dokladov VII Mezhdunarodnogo Simpoziuma po fenol'nykh soedineniyam: Fundamental'nye i prikladnye aspekty* [Materials of reports of the VII International Symposium on Phenolic Compounds: Fundamental and Applied Aspects], Moscow, October 19–23, 2009. Moscow: K.A. Timiryazev RAN, 2009, pp. 99–100.

Authors' information

Vedernikov Konstantin Evgenievich — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Environmental Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State University», wke-les@rambler.ru

Zagrebin Egor Aleksandrovich — Assistant of the Department of environmental engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State University», i.am.yeti@yandex.ru

Bukharina Irina Leonidovna, — Dr. Sci. (Biology), Head of the Department of environmental engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State University», buharin@udmlink.ru

Received 06.02.2020.

Accepted for publication 10.04.2020.

СТЕПЕНЬ РАЗВИТИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В РАЗНЫХ ТИПАХ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА ГАРЯХ В ЛЕНТОЧНЫХ БОРАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

А.А. Малиновских

ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, 656049, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Красноармейский, д. 98

almaa1976@yandex.ru

Рассмотрена степень развития растительного покрова на горях в ленточных борах Алтайского края по типам лесорастительных условий. Выявлено неравномерное развитие растительного покрова на пройденных верховым пожаром участках, обусловленное различными режимами температуры и влажности почвы в зависимости от мезорельефа. Вершины пологих дюнных всхолмлений отличаются сухими лесорастительными условиями (A_1) с постоянным дефицитом влаги, значительным нагревом почвы, глубоким залеганием грунтовых вод. Низины и западины имеют свежие (A_2) или влажные (A_3) лесорастительные условия с достаточным увлажнением, умеренным нагревом почвы и поверхностным залеганием грунтовых вод. Установлено преобладание в сухих лесорастительных условиях ксерофитных псаммофитных видов — ковыля песчаного, тонконога сизого, овсяницы полесской, осоки приземистой; в свежих (A_2) и влажных (A_3) лесорастительных условиях — вейника наземного. Определена зависимость обилия видов на горях от типа лесорастительных условий. Так, в свежем и влажном типе лесорастительных условий число видов, проективное покрытие и средняя высота в среднем в 1,7 раза больше чем в сухом типе лесорастительных условий. С помощью коэффициента Сьеренсена — Чекановского установлена низкая степень флористического сходства (0,07–0,40) пирогенных и контрольных сообществ всех изученных местообитаний. Показано, что кроме трансформации растительного покрова пожар привел к изменению гидротермического режима почв на горях, определяющему ход естественного возобновления главной породы. Обозначен лимитирующий экологический фактор в ленточных борах: влажность почв, значения которой достоверно коррелируют с густотой подроста сосны ($r = 0,729$).

Ключевые слова: ленточные боры, тип лесорастительных условий, гарь, живой напочвенный покров, видовой состав, обилие видов, сосна обыкновенная

Ссылка для цитирования: Малиновских А.А. Степень развития растительного покрова в разных типах лесорастительных условий на горях в ленточных борах Алтайского края // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 43–51. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-43-51

Ленточные боры Алтайского края — уникальное природное образование, не встречающееся нигде в мире. Выполняя прежде всего защитные, социальные, а также сырьевые функции, эти леса обеспечивают экологическую безопасность степной части края [1, 2]. Повышенная горимость сосновых насаждений в ленточных борах Алтайского края приводит к образованию горельников и гарей, в большинстве случаев требующих проведения мер по воспроизводству леса [3–7]. Сухие и очень сухие лесорастительные условия, сложный мезорельеф, изменчивый микроклимат почв на горях замедляют естественное и искусственное лесовозобновление. Создание лесных культур сосны в данных лесорастительных условиях представляет собой нерешенную лесоводственную проблему, поскольку крупноплощадные гари 1997–1999 гг. в юго-западной части ленточных боров Алтайского края не восстановлены до сих пор. Одной из причин, препятствующих этому, является проведение лесовосстановительных мероприятий без учета влияния всего комплекса лесорастительных условий, особенностей застарения гарей на разных стадиях после пожара.

Тип лесорастительных условий наилучшим образом подходит для характеристики безлес-

ных участков (вырубок, гарей) на территории лесного фонда. Растительный покров на горях развивается преимущественно под влиянием факторов внешней среды «открытого места», а не под влиянием микроклимата материнского полога леса, и имеет некоторые отличия от допожарного (контрольного) участка леса. По мнению различных исследователей [8, 9], растительный покров после пожара оказывает существенное влияние на процесс естественного возобновления леса, рост и развитие самосева и подроста целевых пород. Несмотря на большое практическое значение, эта проблема относительно лесорастительных условий ленточных боров Алтайского края в полной мере пока не решена.

Цель работы

Цель работы — изучение степени развития растительного покрова в разных типах лесорастительных условий на горях в ленточных борах Алтайского края.

Задачи исследования

Рассматриваются следующие задачи: изучение состава и структуры растительного покрова гарей в разных типах лесорастительных условий;

Т а б л и ц а 1

Таксационная характеристика древостоев до пожара (контрольный участок)

Taxation characteristics of stands before the fire (control plot)

Номер пробной площади	Элемент рельефа	Тип лесорастительных условий	Состав	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Класс бонитета	Полнота, ед.	Запас на 1 га, м ³
Коростелевский бор (Озеро-Кузнецовское лесничество)									
3	Вершина	Сбп (А ₁)	4С3С2С1С	105	18	28	IV	0,4	100
4	Низина	Трб (А ₃)	6С3С1Б	105	22	28	III	0,5	160
Сростинский бор (Волчихинское лесничество)									
7	Вершина	Сбп (А ₁)	10СР	90	20	28	III	0,4	150
8	Низина	Свб (А ₂)	10С+С	90	22	24	II	0,7	240
Барнаульский бор, юго-западная часть (Новичихинское лесничество)									
11	Вершина	Сбп (А ₁)	4С3С2С1С	135	23	52	III	0,3	100
12	Низина	Трб (А ₃)	8С2С	120	27	36	II	0,7	250
Барнаульский бор, северо-восточная часть (Барнаульское лесничество)									
15	Вершина	Сбп (А ₁)	6С2С2С	85	21	24	III	0,7	190
16	Низина	Свб (А ₂)	8С2С+С	95	23	32	II	0,8	260

изучение влияния природной зоны на состав и структуру растительного покрова после пожара; оценка степени сходства растительного покрова на гарях и в контрольных участках леса; влияние гидротермического режима почв гарей на степень развития растительного покрова и густоту естественного возобновления сосны обыкновенной.

Представленный материал следует рассматривать как часть общих исследований пирогенных сукцессий в равнинных сосновых лесах южной части Западной Сибири [10].

Материалы и методы

Объекты исследования — гари разных лет, на которых происходит сукцессионный и лесовосстановительный процессы, расположенные в пределах степной и лесостепной зон в лесном фонде ленточных боров Алтайского края. Гари образовались в результате прохождения устойчивых верховых пожаров:

– в сухой степи — Коростелевский бор (Озеро-Кузнецовское лесничество), гарь 1997 г. общей площадью 25 800 га;

– в засушливой степи — Сростинский бор (Волчихинское лесничество), гарь 1997 г. общей площадью 10 414 га;

– в засушливой степи — южная часть Барнаульской ленты (Новичихинское лесничество), гарь 1999 г. общей площадью 16 га;

– в южной лесостепи — северная часть Барнаульской ленты (Барнаульское лесничество), гарь 2006 г. общей площадью 4 га.

Наибольший научный интерес представляют крупноплощадные гари в степной зоне. В то же время гари меньшей площади, расположенные в

лесостепной зоне, важны для понимания и сопоставления результатов лесовосстановительного процесса в целом по ленточным борам. Исследования на гарях в Коростелевском и Сростинском борах проводятся с 1998 г., на гарях в южной и северной частях Барнаульской ленты — с 2008 г.

Для достижения цели и получения достоверных результатов выбраны следующие методы исследований: метод пробных площадей; метод учетных площадок и геоботанических описаний; метод учета подроста; определение температуры и влажности почвы – метод определения температуры почвы с помощью технологии i-Wire; весовой метод определения влажности почвы [11–15]. Определение видового сходства послепожарных сообществ и контрольных участков леса проводили с помощью коэффициента флористического сходства Сьеренсена — Чекановского [16].

Схема проведения полевых работ. На гарях (опытный участок) и в живом лесу (контрольный участок) были изучены вершины (сухие лесорастительные условия) и низины (свежие или влажные лесорастительные условия), где заложены временные пробные площади (ПП) размером 0,25 га прямоугольной формы, не выходящие за «границы» элемента мезорельефа (табл. 1).

Сгоревшие насаждения аналогичны контрольным участкам по местоположению, типу лесорастительных условий, составу и структуре древостоев, подлеска, подроста, напочвенному покрову. На каждой ПП в начале, середине и в конце вегетационного периода изучали растительный покров, брали пробы почвы на влажность, измеряли температуру почвы, выполняли учет подроста главной и второстепенной пород.

**Краткая характеристика послепожарных фитоценозов на гарях разных лет
в ленточных борах Алтайского края**

Brief description of post-fire phytocenoses in burnt places of different years in the belt forests of Altai region

Номер пробной площади	Элемент рельефа, тип лесорастительных условий	Число видов на 625 м ² , шт.	Общее проективное покрытие, %	Средняя высота травяного яруса, см	Доминанты живого напочвенного покрова
Коростелевский бор (Озеро-Кузнецовское лесничество)					
1	Гарь, вершина (А ₁)	23	30	30	<i>Carex supina</i> Willd. Ex Wahlenb., <i>Stipa pennata</i> ssp. <i>sabulosa</i> (Pacz.) Tzvel., <i>Koeleria glauca</i> (Spreng.) DC.
2	Гарь, низина (А ₂)	34	60	80	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth, <i>Carex supina</i>
3	Контрольный участок леса, вершина, Сбп (А ₁)	26	20	25	<i>Carex supina</i> , <i>Festuca beckeri</i> ssp. <i>polesica</i> (Zapal.) Tzvel.
4	Контрольный участок леса, низина, Трб (А ₃)	25	10	15	<i>Carex supina</i>
Сростинский бор (Волчихинское лесничество)					
5	Гарь, вершина (А ₁)	22	30	25	<i>Koeleria glauca</i> , <i>Stipa pennata</i> ssp. <i>sabulosa</i> , <i>Festuca polesica</i>
6	Гарь, низина (А ₂)	36	80	80	<i>Calamagrostis epigeios</i>
7	Контрольный участок леса, вершина, Сбп (А ₁)	16	55	15	<i>Carex ericetorum</i> Poll., <i>Cladonia arbuscula</i> (Wallr.) Flot.
8	Контрольный участок леса, низина, Свб (А ₂)	12	60	17	<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt., <i>Dicranum polysetum</i> Sw.
Барнаулский бор, юго-западная часть (Новичихинское лесничество)					
9	Гарь, вершина (А ₁)	23	35	45	<i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Koeleria glauca</i> , <i>Carex supina</i>
10	Гарь, низина (А ₃)	28	50	60	<i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Carex supina</i> , <i>Poa angustifolia</i> L.
11	Контрольный участок леса, вершина, Сбп (А ₁)	22	60	18	<i>Carex supina</i> , <i>Carex ericetorum</i>
12	Контрольный участок леса, низина, Трб (А ₃)	27	70	30	<i>Poa angustifolia</i> , <i>Carex supina</i>
Барнаулский бор, северо-восточная часть (Барнаулское лесничество)					
13	Гарь, вершина (А ₁)	28	40	65	<i>Calamagrostis epigeios</i>
14	Гарь, низина (А ₂)	34	50	80	<i>Calamagrostis epigeios</i>
15	Контрольный участок леса, вершина, Сбп (А ₁)	19	10	15	<i>Carex ericetorum</i>
16	Контрольный участок леса, низина, Свб (А ₂)	23	85	20	<i>Pleurozium schreberi</i>

Изучено три основных типа лесорастительных условий, характерных для ленточных боров Алтайского края: сухие лесорастительные условия (А₁), тип леса — сухой бор пологих всхолмлений (Сбп); свежие лесорастительные условия (А₂), тип леса — свежий (западинный) бор (Свб); влажные лесорастительные условия (А₃), тип леса — травяной (влажный) бор (Трб). Данные приводятся за вегетационный период 2018 г. В исследованиях принимали участие М.А. Савин, И.В. Гефке, Е.П. Чугузов, А.Г. Болотов, студенты Алтайского ГАУ.

Результаты исследования

Вершины и склоны южной экспозиции на гарях — более сухие и прогреваемые, низины и склоны северной экспозиции накапливают больше влаги и слабее прогреваются. Степень развития растительного покрова выражается в разной емкости сообществ, общем проективном покрытии (ОПП), средней высоте травяного яруса, видовом составе. На разных элементах мезорельефа гарей формируются разные микроклиматические условия с отличающимся один от другого живым напочвенным покровом (ЖНП) (табл. 2).

Т а б л и ц а 3

**Таксономическое разнообразие послепожарных фитоценозов
в ленточных борах Алтайского края по элементам мезорельефа**

Taxonomic diversity of post-fire phytocenoses in the tape forests of Altai region according to mesorelief elements

Местонахождение	Номер пробной площади	Вариант, тип лесорастительных условий	Количество видов	Количество родов	Количество семейств
Степная зона, подзона сухой степи					
Коростелевский бор (Озеро-Кузнецовское лесничество)	1	Гарь, вершина (A ₁)	23	20	9
	2	Гарь, низина (A ₃)	34	29	16
	3	Контрольный участок леса, вершина (A ₁)	26	24	11
	4	Контрольный участок леса, низина (A ₃)	25	23	17
Степная зона, подзона засушливой степи					
Сростинский бор (Волчихинское лесничество)	5	Гарь, вершина (A ₁)	22	18	10
	6	Гарь, низина (A ₂)	36	31	17
	7	Контрольный участок леса, вершина (A ₁)	16	15	9
	8	Контрольный участок леса, низина (A ₂)	12	12	11
Барнаулский бор, юго-западная часть (Новичихинское лесничество)	9	Гарь, вершина (A ₁)	23	20	11
	10	Гарь, низина (A ₃)	28	24	16
	11	Контрольный участок леса, вершина (A ₁)	22	19	8
	12	Контрольный участок леса, низина (A ₃)	27	25	16
Лесостепная зона, подзона южной лесостепи					
Барнаулский бор, северо-восточная часть (Барнаулское лесничество)	13	Гарь, вершина (A ₁)	28	26	15
	14	Гарь, низина (A ₂)	34	30	19
	15	Контрольный участок леса, вершина (A ₁)	19	17	11
	16	Контрольный участок леса, низина (A ₂)	24	24	18

В сухих лесорастительных условиях (A₁) на гарях в ленточных борах в степной зоне сформированы вторично-степные растительные сообщества. Они представляют собой ассоциации с преобладанием в их составе плотнодерновинных псаммофитных ксерофитных злаков. В лесостепной зоне эти сообщества на вершинах замещаются вейниковыми и разнотравно-вейниковыми с отдельными луговыми и степными видами.

В свежих (A₂) и влажных (A₃) лесорастительных условиях на гарях в степной и лесостепной зонах сформированы разнотравно-луговые сообщества. Доминант и эдификатор большинства ассоциаций — вейник наземный. Ассоциации степного и лугового ряда относятся к нелесному этапу пирогенной сукцессии. По нашим предыдущим наблюдениям [10, 17], на крупных гарях эти сообщества, придя на смену пионерным простым сообществам и сообществам однолетних видов, могут существовать десятки лет без особых изменений. Развитие вейника наземного препятствует

естественному возобновлению леса на гарях, его встречаемость достигает 60 % на гарях в сухой степи, 80 % на гарях в засушливой степи, 100 % на гарях в южной лесостепи. Несмотря на очевидное препятствие со стороны вейника именно в свежих (A₂) и влажных (A₃) лесорастительных условиях наблюдается возобновление, а затем рост и формирование сосновых и смешанных молодняков. Молодняки формируются био группами и куртинами различных форм и площадей на фоне разнотравно-вейниковых лугов. Это — начало стадии «молодняков», которая относится к лесному этапу пирогенной сукцессии.

Таксономическое разнообразие позволяет оценить направление и скорость восстановительного процесса после пожара (табл. 3).

Таксономическое разнообразие ценофлоры гарей в ленточных борах Алтайского края зависит от типа лесорастительных условий и природной зоны и возрастает по мере продвижения из сухостепной подзоны в южно-лесостепную.

**Индексы сравнения видового состава на горях разных лет
в ленточных борах Алтайского края**

Comparison indices of species composition on burnt forest areas of different years in the tape burs of Altai region

Местонахождение	Номер пробной площади на гари	Вариант, тип лесорастительных условий	Контроль, вершина	Контроль, низина
Степная зона, подзона сухой степи				
Коростелевский бор (Озеро-Кузнецовское лесничество)	1	Вершина (A ₁)	0,4000	0,0769
	2	Низина (A ₃)	0,2739	0,3058
Степная зона, подзона засушливой степи				
Сростинский бор (Волчихинское лесничество)	5	Вершина (A ₁)	0,4062	0,1904
	6	Низина (A ₂)	0,3500	0,2727
Барнаульский бор, юго-западная часть (Новичихинское лесничество)	9	Вершина (A ₁)	0,3835	0,1967
	10	Низина (A ₃)	0,3902	0,2500
Лесостепная зона, подзона южной лесостепи				
Барнаульский бор, северо-восточная часть (Барнаульское лесничество)	13	Вершина (A ₁)	0,2985	0,2898
	13	Низина (A ₂)	0,2739	0,2857

Так, количество видов на сухих вершинах на горях составляет: в Коростелевском бору — 23; в Сростинском — 22; в юго-западной части Барнаульского бора — 23; в северо-восточной части Барнаульского бора — 28 видов. В низинах на горях эта зависимость прослеживается слабо, очевидно, за счет увлажнения и более благоприятного микроклимата. Число родов и семейств на горях в составе ценофлоры на вершинах и низинах уверенно увеличивается по мере продвижения из степной зоны в лесостепную. Можно сделать обоснованное предположение о том, что на общий фон лесорастительных условий на горях и в контрольных участках леса оказывают непосредственное влияние зональные климатические особенности: количество осадков, температура воздуха, ветровой режим и др. Сухие лесорастительные условия (A₁) в подзоне сухой степи отличаются от таковых в подзоне засушливой степи и в подзоне южной лесостепи. То же самое касается свежих (A₂) и влажных (A₃) лесорастительных условий. Таксономическое разнообразие ценофлоры и послепожарных растительных сообществ позволяет «зафиксировать» эти различия применительно к стадиям пирогенной сукцессии в разных природных зонах и подзонах в ленточных борах. Отсутствие/присутствие отдельных видов, родов и семейств указывает либо на более «жесткие», либо на более «мягкие» лесорастительные условия в пределах конкретной гари.

Используя коэффициент Сьеренсена — Чекановского [14], мы рассчитали степень флористического сходства растительного покрова на горях и контрольных участках леса, расположенных в разных типах лесорастительных условий и природных зонах (табл. 4).

Установлено наименьшее флористическое сходство между сообществами на сухих вершинах на горях и контрольными участками леса в низинах (0,0769–0,2898). Выше сходство между пирогенными сообществами в низинах и контрольными участками леса на вершинах и в низинах (0,2500–0,3902). Наибольшее сходство имеют пирогенные сообщества на сухих вершинах и контрольные участки леса на вершинах (0,2985–0,4062). Сходство выше в степной зоне, ниже в лесостепной, что связано с выраженным остепнением напочвенного покрова в ленточных борах с севера на юг. Оценка флористического сходства послепожарных сообществ с использованием коэффициента Сьеренсена — Чекановского демонстрирует прежде всего низкий уровень сходства видового состава в целом, что связано с отсутствием лесных видов растений на горях и, наоборот, присутствием на горях степных, луговых и даже прибрежно-водных видов растений.

Формирование устойчивого естественного возобновления после пожара зависит от целого комплекса экологических факторов: типа почвы; режимов увлажнения, освещения и температуры почвы [18–22]. Однако за счет выраженного мезорельефа в ленточных борах — песчаных увалов и дюн высотой от 5 до 40 м происходит неравномерное распределение почвенной влаги с одновременным изменением режима температуры почвы и освещенности. Влажность и температура почвы в корнеобитаемом слое (20 см) в середине вегетационного периода (июль) значительно различаются по типам лесорастительных условий, оказывая влияние на появление всходов, выживаемость и густоту подроста сосны (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

**Густота подроста сосны в различных лесорастительных условиях на гарях
в ленточных борах Алтайского края**

The density of pine undergrowth in various forest conditions on burned areas in the belt forests of Altai region

Местонахождение	Номер пробной площади	Вариант, тип лесорастительных условий	Влажность почвы, %	Температура почвы, °С	Густота, тыс. шт./га
Степная зона, подзона сухой степи					
Коростелевский бор (Озеро-Кузнецовское лесничество)	1	Гарь, вершина (А ₁)	1,79	29,7	–
	2	Гарь, низина (А ₃)	15,57	17,2	0,08
	3	Контрольный участок леса, вершина (А ₁)	2,41	25,6	7,16
	4	Контрольный участок леса, низина (А ₃)	3,41	16,3	5,72
Степная зона, подзона засушливой степи					
Сростинский бор (Волчихинское лесничество)	5	Гарь, вершина (А ₁)	1,34	26,1	0,10
	6	Гарь, низина (А ₂)	16,36	18,7	37,01
	7	Контрольный участок леса, вершина (А ₁)	2,37	21,2	25,36
	8	Контрольный участок леса, низина (А ₂)	4,91	14,8	54,53
Барнаулский бор, юго-западная часть (Новичихинское лесничество)	9	Гарь, вершина (А ₁)	1,29	24,2	0,46
	10	Гарь, низина (А ₃)	5,71	15,8	3,43
	11	Контрольный участок леса, вершина (А ₁)	1,94	18,5	21,86
	12	Контрольный участок леса, низина (А ₃)	2,29	16,5	3,58
Лесостепная зона, подзона южной лесостепи					
Барнаулский бор, северо-восточная часть (Барнаулское лесничество)	13	Гарь, вершина (А ₁)	3,51	18,0	8,04
	14	Гарь, низина (А ₂)	6,62	18,3	13,20
	15	Контрольный участок леса, вершина (А ₁)	8,16	16,4	80,76
	16	Контрольный участок леса, низина (А ₂)	8,63	14,2	52,02

В каждом типе лесорастительных условий на гарях складывается собственный почвенный гидротермический режим. Влажность почвы в сухих лесорастительных условиях на гарях в степной зоне ниже в 4,4–12,2 раза, чем в свежих (влажных), на гарях в лесостепной зоне — в 1,9 раза. Температура почвы в разных лесорастительных условиях не имеет таких больших различий, как влажность почвы: в пределах степной зоны температура почвы на гарях в сухих лесорастительных условиях в 1,4–1,7 раза выше, чем в свежих (влажных), в лесостепной зоне в 0,9 раза. Очевидно, с продвижением из степной зоны в лесостепную, общий фон лесорастительных условий на гарях и контрольных участках леса становится более благоприятным. Обнаружена высокая прямая корреляционная связь между влажностью почвы и густотой подроста ($r = 0,729$) и средняя обратная связь между температурой почвы и густотой подроста ($r = -0,474$). Корреляционная связь между изучаемыми показателями является статистически значимой (уровень значимости $p < 0,05$).

Густота подроста сосны на гарях зависит не только от параметров гидротермического режима, а также от наличия источников семян, площади самой гари, ЖНП, периодического поднятия/опускания уровня грунтовых вод и других факторов. В частности выявлена сильная прямая корреляционная связь между ОПП живого напочвенного покрова и густотой подроста сосны обыкновенной на гарях ($r = 0,798$) по типам лесорастительных условий. По всей видимости, развитие ЖНП так же, как и появление, рост и развитие естественного возобновления на гарях изначально и впоследствии имеет зависимость от типа лесорастительных условий: чем лучше общий фон лесорастительных условий, тем лучше развит ЖНП и интенсивнее происходит возобновление леса. Лесной пожар приводит к пирогенной трансформации как растительного покрова, так и самого комплекса микроклиматических условий (комплекса лесорастительных условий) на всей площади гари. Ориентируясь на полученные данные можно утверждать, что процесс лесовосста-

новления на горях в ленточных борах происходит успешнее в свежих (A_2) и влажных (A_3) лесорастительных условиях, нежели в сухих (A_1), где он значительно замедляется либо прерывается.

Выводы

1. В сухих лесорастительных условиях (A_1) на горях в ленточных борах Алтайского края в степной зоне сформированы сообщества с преобладанием ксерофитных злаков и осок. В лесостепной зоне эти сообщества на вершинах замещаются вейниковыми и разнотравно-вейниковыми с отдельными луговыми и степными видами. В свежих (A_2) и влажных (A_3) лесорастительных условиях на горях в степной и лесостепной зонах сформированы вейниковые сообщества.

2. Обилие видов (число видов, общее проективное покрытие, средняя высота) в пирогенных сообществах выше в свежих (A_2) и влажных (A_3) лесорастительных условиях чем в сухих (A_1) в среднем в 1,7 раза.

3. Таксономическое разнообразие ценофлоры гарей в ленточных борах Алтайского края зависит от типа лесорастительных условий и природной зоны и возрастает по мере продвижения из сухостепной подзоны в южно-лесостепную. На общий фон лесорастительных условий на горях и в контрольных участках леса оказывают непосредственное влияние зональные климатические особенности.

4. Наибольшее флористическое сходство имеют пирогенные сообщества на сухих вершинах и контрольные участки леса на вершинах (0,2985–0,4062), наименьшее — сообщества на сухих вершинах на горях и контрольные участки леса в низинах (0,0769–0,2898). Низкая степень сходства в целом связана с отсутствием лесных видов растений на горях и, наоборот, присутствием на горях степных, луговых и даже прибрежно-водных видов растений.

5. Пожар привел к изменению гидротермического режима почв в конкретных типах лесорастительных условий, что повлияло на развитие растительного покрова и ход естественного возобновления сосны обыкновенной. Густота подроста сосны достоверно коррелирует с влажностью ($r = 0,729$) и температурой ($r = -0,474$) почвы на горях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Алтайского края в рамках научного проекта № 18-44-220007 p_a.

Список литературы

[1] Грибанов Л.Н. Ленточные боры Алтайского края и Казахстана. М.: Сельхозгиз, 1954. 151 с.

- [2] Бугаев В.А., Косарев Н.Г. Лесное хозяйство ленточных боров Алтайского края. Барнаул: Алт. кн. изд-во, 1988. 312 с.
- [3] Черных В.А., Фуряев В.В. Лесные пожары в ленточных борах Кулундинской степи. Новосибирск: Наука, 2011. 176 с.
- [4] Rulcker C., Angelstam P., Rosenberg P. Natural forest fire dynamics can guide conservation and silviculture in boreal forests // SkogForsk, 1994, v. 2, pp. 1–4.
- [5] Bond W.J., Keeley J.E. Fire as a global «herbivore»: the ecology and evolution of flammable ecosystems // Trends Ecological Evolution, 2005, v. 20, pp. 387–394.
- [6] Grandstrom A. Fire management for biodiversity in the European boreal forest // Scandanavian J. Forest Research, 2001, no. 3, pp. 62–69.
- [7] Цветков П.А., Буряк Л.В. Исследование природы пожаров в лесах Сибири // Сибирский лесной журнал, 2014. № 3. С. 25–42.
- [8] Санников С.Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. М.: Наука, 1992. 264 с.
- [9] Калинин К.К. Сукцессии растительного покрова на крупных горях Среднего Заволжья // Вестник Марийского государственного технического университета, 2008. № 1. С. 19–28.
- [10] Малиновских А.А., Куприянов А.Н. Пирогенные сукцессии в равнинных сосновых лесах южной части Западной Сибири. Новосибирск: СО РАН, 2015. 208 с.
- [11] Андреева Е.Н., Бакал И.Ю., Горшков В.В., Лянгузова И.В., Мазная Е.А., Нешатаев В.Ю., Нешатаева В.Ю., Ставрова Н.И., Ярмишко В.Т., Ярмишко М.А. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
- [12] Понятовская А.А. Учет обилия и характера размещения растений в сообществах // Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 209–285.
- [13] Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов М.: Наука, 1966. 64 с.
- [14] Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
- [15] Болотов А.Г. Измерение температуры почвы с помощью технологии 1-Wire // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2012. № 11. С. 29–30.
- [16] Грейг-Смит П. Количественная экология растений. М.: Мир, 1967. С. 204.
- [17] Малиновских А.А., Куприянов А.Н. Экологическая структура флоры гарей и этапы их зарастания в равнинных сосновых лесах Алтайского края // Сибирский экологический журнал, 2013. № 5. С. 653–660.
- [18] Макарычев С.В., Малиновских А.А., Болотов А.Г., Беховых Ю.В. Послепожарные изменения почв и особенности флоры гарей равнинных сосновых лесов Алтайского края // Ползуновский вестник, 2011. № 4–2. С. 107–110.
- [19] Attiwill P.M. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservative management // Forest Ecology and Management, 1994, v. 63 (23), pp. 247–300.
- [20] Bergeron Y., Leduc A., Harvey B.D., Gauthier S. Natural fire regime: a guide for sustainable management of the Canadian boreal forest // Silva Fennica, 2002, v. 36, no. 1, pp. 81–95.
- [21] Kuuluvainen T. Natural variability of forests as a reference for restoring and managing biological diversity in boreal Fennoscandia // Silva Fennica, 2002, v. 36, pp. 97–125.
- [22] Angelstam P., Kuuluvainen T. Boreal forest disturbance regimes, successional dynamics and landscape structures – a European perspective // Ecological Bulletins, 2004, v. 51, pp. 117–136.

Сведения об авторе

Малиновских Алексей Анатольевич — канд. биол. наук, доцент кафедры лесного хозяйства, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, almaa1976@yandex.ru

Поступила в редакцию 06.03.2020.

Принята к публикации 25.03.2020.

PLANT COVER DEVELOPMENT DEGREE UNDER DIFFERENT TYPES OF FOREST GROWTH CONDITIONS ON BURNT AREAS IN THE BELT PINE FORESTS OF THE ALTAI REGION

A.A. Malinovskikh

Altai State Agricultural University, 98, Krasnoarmeyskiy prospect, 656049, Altai Region, Barnaul, Russia

almaa1976@yandex.ru

The plant cover development degree in the burnt areas of the belt pine forests of the Altai Region in the context of forest growth conditions was studied. It was found that the plant cover in the areas affected by a crown fire developed unevenly; that was determined by different thermal and moisture regimes in the soil because heat and moisture distribution depended on the mesorelief of the burnt areas. The tops of gentle dune hills are characterized by dry forest growth conditions (A_1) with continuous moisture deficiency, significant soil heating and deep groundwater occurrence. The lowlands and depressions have fresh (A_2) or wet (A_3) forest growth conditions with sufficient moisture, temperate soil heating and surface groundwater occurrence. It has been found that the following xerophytic psammophytic species predominate under dry forest growth conditions: *Stipa pennata* ssp. *sabulosa* (Pacz.) Tzvel.; *Koeleria glauca* (Spreng.) DC.; *Festuca beckeri* ssp. *polesica* (Zapal.) Tzvel.; *Carex supina* Willd. ex Wahlenb.; under fresh (A_2) and wet (A_3) forest growth conditions, the dominant species is the *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. It has been revealed that the abundance of species on burnt areas depends on the type of forest growth conditions: under fresh and wet type of forest growth conditions, the number of species, projective cover and average height are 1,7 times more on average than those under the dry type of forest growth conditions. Using the Chekanovsky-Sørensen index, it has been determined that the pyrogenic and control communities of all the studied habitats have a low degree of floristic similarity (0,07–0,40). In addition to plant cover transformation, the fire has caused the changes of the soil hydrothermal regimes in the burnt areas, which in turn determines the course of natural regeneration of the main species. Soil moisture is the limiting environmental factor in the belt pine forests; moisture values correlate significantly with the density of pine undergrowth ($r = 0,729$).

Keywords: belt pine forests, type of forest growth conditions, burnt forest area, forest live cover, species composition, abundance of species, *Pinus sylvestris* L.

Suggested citation: Malinovskikh A.A. *Stepen' razvitiya rastitel'nogo pokrova v raznykh tipakh lesorastitel'nykh usloviy na garyakh v lentochnykh borakh Altayskogo kraya* [Plant cover development degree under different types of forest growth conditions on burnt areas in the belt pine forests of the Altai region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 43–51. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-43-51

References

- [1] Gribanov L.N. *Lentochnye bory Altayskogo kraya i Kazakhstana* [Belt pine forests of the Altai Region and Kazakhstan]. Moscow: Selkhozgiz, 1954, 151 p.
- [2] Bugaev V.A., Kosarev N.G. *Lesnoe khozyaystvo lentochnykh borov Altayskogo kraya* [Forest management of the belt pine forests of the Altai Region]. Barnaul: Alt. kn. izd-vo, 1988, 312 p.
- [3] Chernykh V.A., Furyaev V.V. *Lesnye pozhary v lentochnykh borakh Kulundinskoy stepi* [Forest fires in the belt pine forests of the Kulundinskaya steppe]. Novosibirsk: Nauka, 2011, 176 p.
- [4] Rulcker C., Angelstam P., Rosenberg P. Natural forest fire dynamics can guide conservation and silviculture in boreal forests. *SkogForsk*, 1994, v. 2, pp. 1–4.
- [5] Bond W.J., Keeley J.E. Fire as a global «herbivore»: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends Ecological Evolution*, 2005, v. 20, pp. 387–394.
- [6] Grandstrom A. Fire management for biodiversity in the European boreal forest. *Scandinavian J. Forest Research*, 2001, no. 3, pp. 62–69.
- [7] Tsvetkov P.A., Buryak L.V. *Issledovanie prirody pozharov v lesakh Sibiri* [The study of the nature of fires in the forests of Siberia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2014, no. 3, pp. 25–42.
- [8] Sannikov S.N. *Ekologiya i geografiya estestvennogo vozobnovleniya sosny obyknovennoy* [Ecology and geography of natural regeneration of Scots pine]. Moscow: Nauka, 1992, 264 p.
- [9] Kalinin K.K. *Suktsessii rastitelnogo pokrova na krupnykh garyakh Srednego Zavolzhya* [Plant cover successions on large burnt areas of the Middle Volga region]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Mari State Technical University], 2008, no. 1, pp. 19–28.

- [10] Malinovskikh A.A., Kupriyanov A.N. *Pirogennyye suksessii v ravninnykh sosnovykh lesakh yuzhnoy chasti Zapadnoy Sibiri* [Pyrogenic successions in the plain pine forests of the southern part of Western Siberia]. Novosibirsk: SO RAN, 2015, 208 p.
- [11] Andreeva E.N., Bakkal I.Yu., Gorshkov V.V., Lyanguzova I.V., Maznaya E.A., Neshataev V.Yu., Neshataeva V.Yu., Stavrova N.I., Yarmishko V.T., Yarmishko M.A. *Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* [Forest community research methods]. St. Petersburg: NIIKhimii SPbGU, 2002, 240 p.
- [12] Ponyatovskaya A.A. *Uchet obiliya i kharaktera razmeshcheniya rasteniy v soobshchestvakh* [Accounting the abundance and nature of plant distribution in communities]. Poleyaya geobotanika. Moscow–Leningrad: Nauka, 1964, vol. 3, pp. 209–285.
- [13] Pobedinskiy A.V. *Izucheniye lesovosstanovitelnykh protsessov* [The study of reforestation processes]. Moscow: Nauka, 1966, 64 p.
- [14] Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [The methods of soil physical property research]. Moscow: Agropromizdat, 1986, 416 p.
- [15] Bolotov A.G. *Izmereniye temperatury pochvy s pomoshchyu tekhnologii I-Wire* [Soil temperature measurement by means of one wire technology]. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agricultural University], 2012, no. 11, pp. 29–30.
- [16] Greig-Smith P. *Kolichestvennaya ekologiya rasteniy* [Quantitative plant ecology]. Moscow: Mir, 1967, p. 204.
- [17] Malinovskikh A.A., Kupriyanov A.N. *Ekologicheskaya struktura flory garey i etapy ikh zarastaniya v ravninnykh sosnovykh lesakh Altayskogo kraya* [The ecological structure of burnt areas' flora and the stages of their regeneration in the plain pine forests of the Altai Region]. Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal [Contemporary Problems of Ecology], 2013, no. 5, pp. 653–660.
- [18] Makarychev S.V., Malinovskikh A.A., Bolotov A.G., Bekhovykh Yu.V. *Poslepozharnye izmeneniya pochvy i osobennosti flory garey ravninnykh sosnovykh lesov Altayskogo kraya* [Post-fire changes in soils and features of the burnt areas of plain pine forests of the Altai Region]. Polzunovskiy Vestnik [Polzunov Vestnik], 2011, no. 4–2, pp. 107–110.
- [19] Attiwill P.M. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservative management. *Forest Ecology and Management*, 1994, v. 63 (23), pp. 247–300.
- [20] Bergeron Y., Leduc A., Harvey B.D., Gauthier S. Natural fire regime: a guide for sustainable management of the Canadian boreal forest. *Silva Fennica*, 2002, v. 36, no. 1, pp. 81–95.
- [21] Kuuluvainen T. Natural variability of forests as a reference for restoring and managing biological diversity in boreal Fennoscandia. *Silva Fennica*, 2002, v. 36, pp. 97–125.
- [22] Angelstam P., Kuuluvainen T. Boreal forest disturbance regimes, successional dynamics and landscape structures – a European perspective. *Ecological Bulletins*, 2004, v. 51, pp. 117–136.

Author's information

Malinovskikh Aleksey Anatol'evich — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Altai State Agricultural University, almaa1976@yandex.ru

Received 06.03.2020.

Accepted for publication 25.03.2020.

УДК 634.0.232.31

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-52-58

ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ В ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКАХ КАЗАХСТАНА

С.А. Кабанова¹, А.Н. Кабанов¹, В.Ю. Кириллов¹, М.А. Данченко²

¹Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, 021704, Республика Казахстан, Акмолинская обл., г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58

²Биологический институт Томского государственного университета, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 36

kabanova.05@mail.ru

Целью исследований являлось определение технологии выращивания посадочного материала сосны обыкновенной в условиях закрытого и открытого грунта с применением различных удобрений. Изучены однолетние сеянцы сосны обыкновенной в лесных питомниках Павлодарской, Северо-Казахстанской и Акмолинской областей в закрытом и открытом грунте с применением различных удобрений. Установлен лучший рост по высоте однолетних сеянцев сосны обыкновенной в Павлодарской обл., причем выделены варианты с применением одновременно азотного и фосфорного удобрений, а также фертики. Показано увеличение высоты сеянцев при использовании борной кислоты для полива почвы в двух регионах Северо-Казахстанской и Акмолинской области по сравнению с другими вариантами. Выявлено изменение абсолютно сухой массы стволиков в трех изученных регионах, в частности в Павлодарской обл., что оказалось наибольшим показателем. Определена масса корней по регионам — от 0,01 до 0,03 г, в Павлодарской обл. — от 0,04 до 0,07 г. Сделан вывод о пропорциональном соотношении длины корневой системы к длине стволиков сеянцев по всем вариантам опытов. На основании сравнения показателей роста однолетних сеянцев выявлено, что использование укрывного материала совместно с различными удобрениями значительно улучшает их рост по высоте и увеличивает длину корней. Для каждого региона следует использовать определенный набор удобрений, включая азотные и фосфорные, поскольку в почвах всех изученных питомников имеется в них острая необходимость. Получены хорошие результаты при поливе почвы борной кислотой в дозе 2 г/л и расходом на 1 м².

Ключевые слова: удобрения, сосна обыкновенная, закрытый и открытый грунт

Ссылка для цитирования: Кабанова С.А., Кабанов А.Н., Кириллов В.Ю., Данченко М.А. Применение удобрений в лесных питомниках Казахстана // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 52–58. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-52-58

Для гармоничного развития сеянцев и саженцев в лесных питомниках необходим баланс солнечного света, тепла, питательных веществ и многих других природных условий. В частности, плодородие почвы имеет важное значение в жизнедеятельности молодых растений. В лесных питомниках практически не пополняется запас питательных веществ в почвах, а обеднению их способствует ежегодная выкопка посадочного материала. Если человек не может изменить неблагоприятные погодные условия, то улучшить плодородие почв ему по силам. Можно для этого использовать особые агротехнические приемы, в том числе внесение в почву различных удобрений и других питательных веществ (активаторов почвы, микроудобрений, бактериальных веществ и пр.). Важным природным элементом питания посадочного материала является азот, поэтому необходимость внесения азотных удобрений подчеркивают многие исследователи [1–7]. Кроме общеизвестных минеральных удобрений в качестве нетрадиционных органических удобрений можно использовать бытовые, древесные отходы, опилки и другие продукты переработок. [8]. Определено пролонгированное воздействие минеральных удобрений на рост сеянцев хвойных пород в питомниках и на их дальнейшую жизнеспособность в лесных культурах. Белорусские ученые определили, что комплексное удобрение «Осмокот 6М»

позволяет получить сеянцы сосны обыкновенной, на 25 % превышающие стандартный посадочный материал по высоте [9]. Данное предположение подтверждено исследованиями Р.Х. Хузиахметова и др. [10], которые выявили влияние азотных удобрений, в частности, карбамида и уреаформа, на увеличение выхода стандартных сеянцев хвойных пород и приживаемость лесных культур, созданных из данного посадочного материала. Наряду с восполнением питательных веществ азотные удобрения повышают устойчивость посадочного материала сосны обыкновенной к болезням, в частности к фомозу [11–16]. Проведенные опытные работы по предпосевной обработке семян сосны обыкновенной различными стимуляторами показали положительные результаты [17–19]. В Казахстане опыты по поливу почвы активатором ЭридГроу были наиболее результативными [12]. Одним из выводов в данной статье была высказана возможность совместного применения удобрений и предпосевной обработки семян стимуляторами, что увеличивает всхожесть семян и ускоряет рост сеянцев.

Цель работы

Целью работы являлось определение технологии выращивания посадочного материала сосны обыкновенной в условиях закрытого и открытого грунта с применением различных удобрений.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в условиях лесных питомников в Государственном лесном природном резервате (ГЛПР) «Ертіс орманы» (Павлодарская область), Арыкбалыкского филиала Государственного национального природного парка (ГНПП) «Кокшетау» (Северо-Казахстанская область), казенном государственном учреждении лесного хозяйства (КГУ) «УЛХ «Букпа» и филиале Северного региона «Республиканский лесной селекционно-семеноводческий центр» (ФСР «РЛССЦ») (Акмолинская область). Изучался рост однолетних сеянцев сосны обыкновенной. Использовали азотное и фосфорное удобрения, фертика, активатор почвы ЭридГроу и препарат «Культуры» казахстанского производства, а семена были обработаны цирконом в течение 6 ч, затем их замачивали в трихоцине в течение 2 ч. Трихоцин применялся как стимулятор и фунгицид, поскольку при выявлении возбудителей болезней было установлено, что при использовании стимуляторов на семенах было больше возбудителей, чем на контрольных семенах, не подвергавшихся обработке. В целях снижения риска заболеваемости всходов и был применен трихоцин. Анализ почвы на содержание основных питательных элементов показал, что во всех питомниках имеется нехватка азота и фосфора при переизбытке калия.

Опытные работы закладывались по двум направлениям, каждое из которых состояло из пяти вариантов:

1) закрытый грунт: внесение различных удобрений в почву, посев семян, обработанных цирконом и трихоцином, по схеме посева, принятой в учреждении лесного хозяйства; закрытый грунт создавался путем укрытия деревянных коробов агротексом-60. Короба имели размеры 1,2×2 м, высота бортиков — 20 см; короба накрывались укрывным материалом сразу после посева семян и открывались при необходимости прополки; полив проводился поверх укрывного материала из тракторных опрыскивателей; в питомнике ГЛПР «Ертіс орманы» полив осуществлялся мелкокапельным способом;

2) открытый грунт: внесение в почву тех же самых удобрений, что и в опыте № 1, посев семян, обработанных цирконом и трихоцином, без укрытия агротексом.

Контрольными служили посевы в открытом грунте без внесения каких-либо ростовых веществ и без предпосевной обработки семян стимуляторами.

Для проведения наблюдений высота растущих сеянцев замерялась линейкой с точностью до 1 мм [13]. Данный показатель определялся на

учетных отрезках на каждой из пяти посевных строчек. Далее на каждом варианте опыта выкапывали по 50 сеянцев, промывали их корни от земли и песка, определяли сырую массу каждого стволика и корня. Замерялась также длина стволиков и корней. Части растений высушивались до воздушно-сухого состояния и взвешивались на весах с точностью до 0,001 г.

Обработку полученных данных проводили с помощью методов математической статистики и программы Excel и «Статистика». Для выполнения кластерного анализа использовали три показателя: высоту, длину стволика и длину корня. Для примера в статье приведены полученные результаты для сеянцев из питомника ГЛПР «Ертіс орманы». Аналогичный анализ был проведен и для других питомников, а результаты приведены только в текстовом варианте.

Результаты и обсуждения

Условия закрытого грунта оказали положительное влияние на прорастание семян, особенно в ФСР «РЛССЦ». В открытом грунте семена и всходы были практически полностью склеваны птицами, поэтому в учете участвовали единичные растения. Следовательно, агротекс предохранил семена и всходы не только от неблагоприятных погодных условий, но и от склевывания их птицами.

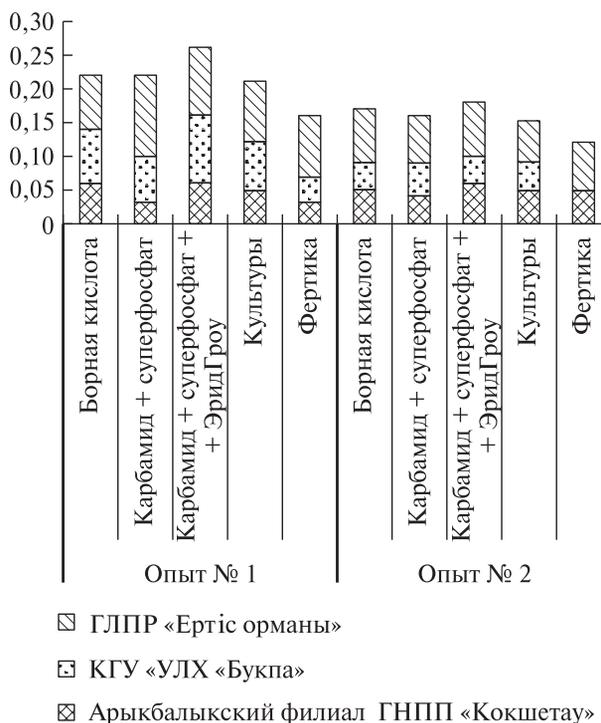


Рис. 1. Масса (г) абсолютно сухих стволиков однолетних сеянцев сосны обыкновенной по вариантам опыта

Fig. 1. The mass (g) of completely dry trunks of the annual seedlings of *Pinus sylvestris* according to variants of experience

Т а б л и ц а 1

Средняя высота однолетних сеянцев сосны обыкновенной, см

The average height of annual seedlings of *Pinus sylvestris*, cm

Наименование удобрения	Доза внесения	ФСР «РЛССЦ»	Арыкбалыкский филиал ГНПП «Кокшетау»	КГУ «УЛХ «Букпа»	ГЛПР «Ертіс орманы»
Опыт 1. Закрытый грунт: внесение удобрений в почву, посев семян, обработанных цирконом и трихоцином, укрытие агротексом в коробах					
Борная кислота	0,2 г/л	3,15 ± 0,07	2,73 ± 0,13	2,29 ± 0,06	3,58 ± 0,11
Карбамид + суперфосфат	3 г + 2 г/м ²	3,00 ± 0,05	1,78 ± 0,23	1,99 ± 0,17	4,27 ± 0,13
Карбамид + суперфосфат + ЭридГроу	3 г + 2 г/м ² + 100 мл/10 л	3,90 ± 0,10	2,01 ± 0,08	2,07 ± 0,14	3,64 ± 0,13
Культуры	100 мл/10 л	3,87 ± 0,09	1,88 ± 0,07	1,50 ± 0,08	3,58 ± 0,14
Фертика	50–70 г/м ²	3,27 ± 0,13	1,71 ± 0,10	1,43 ± 0,09	4,68 ± 0,18
Опыт 2. Открытый грунт: внесение удобрений в почву, посев семян, обработанных цирконом и трихоцином, без укрытия агротексом					
Борная кислота	0,2 г/л	2,69 ± 0,09	1,24 ± 0,07	1,29 ± 0,04	3,13 ± 0,12
Карбамид + суперфосфат	3 г + 2 г/м ²	2,1	1,12 ± 0,07	1,70 ± 0,19	3,74 ± 0,11
Карбамид + суперфосфат + ЭридГроу	3 г + 2 г/м ² + 100 мл/10 л	1,4	1,14 ± 0,08	0,90 ± 0,11	3,63 ± 0,14
Культуры	100 мл/10 л	1,6	1,08 ± 0,07	1,25 ± 0,06	4,24 ± 0,14
Фертика	50–70 г/м ²	1,8	1,05 ± 0,08	1,21 ± 0,10	4,35 ± 0,14
Контроль	–	1,8	0,82 ± 0,08	1,18 ± 0,04	4,14 ± 0,13

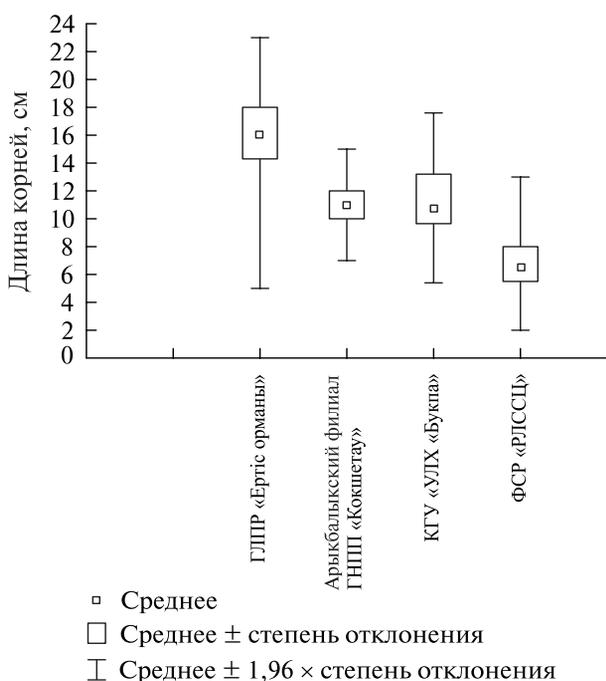


Рис. 2. Размах показателей длины корней однолетних сеянцев сосны обыкновенной по регионам исследований
 Fig. 2. The range of indicators of root length of annual seedlings of *Pinus sylvestris* by research regions

В однолетнем возрасте лучший рост по высоте показали сеянцы сосны обыкновенной в ГЛПР «Ертіс орманы» Павлодарской обл., причем отличились варианты опыта с применением одновременно азотного и фосфорного удобрения, а также

фертики. В двух регионах (Северо-Казахстанская и Акмолинская области) использование борной кислоты для полива почвы увеличило высоту сеянцев по сравнению с другими вариантами соответственно в 1,4–1,6 и 1,1–1,6 раза.

Абсолютно сухая масса стволиков изменялась от 0,03 до 0,10 г в двух изученных регионах, только в Павлодарской обл. наблюдался наибольший показатель — от 0,6 до 0,12 г (рис. 1, табл. 1).

Масса корней по регионам исследований также имела небольшие значения — от 0,01 до 0,03 г. В ГЛПР «Ертіс орманы» данный показатель колебался от 0,04 до 0,07 г. Для этого питомника можно отметить вариант опыта с внесением фертики, минеральных удобрений и ЭридГроу. Причем в открытом грунте масса корней была больше, чем в закрытом. Наибольшей фитомассой наземных органов сеянцев отличились варианты опыта с одновременным внесением карбамида, суперфосфата и ЭридГроу, причем этот вариант лидировал как в закрытом, так и в открытом грунте.

Высокий показатель высоты сеянцев в определенном варианте опыта не всегда характеризовал увеличение фитомассы. Только в Арыкбалыкском филиале «ГНПП «Кокшетау» вариант с внесением борной кислоты отличался наибольшей высотой и массой стволиков. В других регионах масса стволиков была наибольшей в тех вариантах, где высота занимала второе место. Немаловажным признаком является длина корней сеянцев. Из рис. 2 видно, что средний показатель у сеянцев из ГЛПР «Ертіс орманы»

был самым большим, но изменялся на высоком уровне. Значительно отставали по анализируемому показателю сеянцы из питомника ФСР «РЛССЦ», в остальных длина корней сеянцев была примерно одинаковой. Если рассматривать длину корней по вариантам опытов видно, что в ГЛПР «Ертіс орманы» на увеличение показателя повлияло внесение препарата «Культуры» (18,5 см) в закрытом грунте и фертики (18,9 см) — в открытом. В питомниках северного региона (СФ «РЛССЦ», Арыкбалыкском филиале ГНПП «Кокшетау» и КГУ «УЛХ «Букпа») лучшие показатели имели сеянцы в открытом и закрытом грунте с использованием борной кислоты, а также с одновременным внесением азотного и фосфорного удобрений. Превышение длины корней над длиной стволиков в 3,1–5,6 раз наблюдалось у вариантов опыта в ГЛПР «Ертіс орманы», в Арыкбалыкском филиале ГНПП «Кокшетау» и КГУ «УЛХ «Букпа» указанная разница составила соответственно 3,7–6,2 и 2,3–7,7 раз, у контроля — 3,3 раза. Следовательно, сеянцы по всем вариантам опытов развивались органично и корневая масса вполне соответствовала пропорциям растений.

В результате кластерного анализа для питомника ГЛПР «Ертіс орманы» выявлено, что варианты опытов по трем показателям роста разделились на четыре кластера (рис. 3). В табл. 2 приведена разбивка вариантов по кластерам и евклидово расстояние (расстояние до центра кластера).

Дисперсионный анализ показал достоверное различие между высотой в другими признаками ($p < 0,005$). Для определения лучших вариантов опытов была проведена описательная статистика (табл. 3).

Установлено, что лучшими вариантами опыта, в которых сеянцы отличались наибольшими показателями, были первые два кластера (см. табл. 2), в которые вошли практически все варианты опыта № 1 (закрытый грунт), кроме использования препарата культуры. Следовательно, применение укрывания посевов агротексом и внесение различных удобрений благоприятно воздействует на увеличение роста сеянцев сосны обыкновенной в ГЛПР «Ертіс орманы».

Аналогичные кластерные анализы были проведены для других питомников. В Арыкбалыкский филиал ГНПП «Кокшетау» варианты опытов также разделились на четыре кластера и лучшими из них были все варианты в закрытом грунте, в открытом — с применением борной кислоты и минеральных удобрений. В питомнике КГУ «УЛХ «Букпа» также лидирующими были варианты с использованием всех удобрений в закрытом грунте. Дисперсионный анализ показал достоверное различие между опытами ($p < 0,005$).

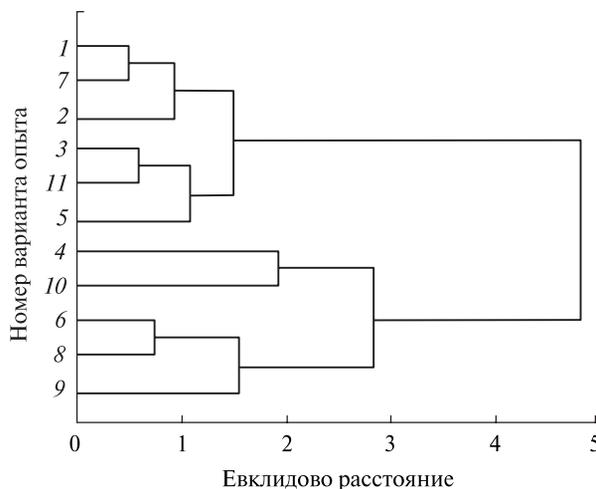


Рис. 3. Разбивка вариантов опыта по кластерам (ГЛПР «Ертіс орманы»): 1 — борная кислота (закрытый грунт); 2 — карбамид+суперфосфат (закрытый грунт); 3 — карбамид + суперфосфат + ЭридГроу (закрытый грунт); 4 — «Культуры» (закрытый грунт); 5 — фертика (закрытый грунт); 6 — борная кислота (открытый грунт); 7 — карбамид + суперфосфат (открытый грунт); 8 — карбамид + суперфосфат + ЭридГроу (открытый грунт); 9 — «Культуры» (открытый грунт); 10 — фертика (открытый грунт), 11 — контроль

Fig. 3. Breakdown of experiment options into clusters (GLPR «Ertis Ormany»): 1 — boric acid (closed ground); 2 — carbamide + superphosphate (closed ground); 3 — carbamide + superphosphate + AridGrow (closed ground); 4 — «Culture» (closed ground); 5 — girder (covered ground); 6 — boric acid (open ground); 7 — carbamide + superphosphate (open ground); 8 — carbamide + superphosphate + AridGrow (open ground); 9 — «Culture» (open ground); 10 — side (open ground), 11 — control

Т а б л и ц а 2

Элементы кластеров и евклидово расстояние по результатам кластерного анализа в лесном питомнике ГЛПР «Ертіс орманы»
Elements of clusters and Euclidean distance based on the results of cluster analysis in the forest nursery of the State Forest Natural Reserve «Yertis ormany»

Номер кластера	Номер опыта	Наименование удобрения	Евклидово расстояние
1	1	Фертика	0
2	1	Борная кислота	0,185824
	1	Карбамид + суперфосфат	0,409549
	1	Карбамид + суперфосфат + ЭридГроу	0,311305
3	2	Карбамид + суперфосфат	0,269995
	2	Борная кислота	0,420973
	2	Карбамид + суперфосфат + ЭридГроу	0,065461
	2	Культуры	0,472166
		Контроль	0,233974
4	1	Культуры	0,376154
	2	Фертика	0,376154

Т а б л и ц а 3

Статистические показатели основных признаков роста по кластерам на примере ГЛНР «Ертіс орманы»

Statistical indicators of the main signs of growth by clusters on the example of the State Forest Natural Reserve «Yertis ormany»

Номер кластера	Признак	Среднее значение, см	Стандартное отклонение	Дисперсия
1	Высота	4,68	0,00	0,00
	Длина стволика	5,04	0,00	0,00
	Длина корня	15,22	0,00	0,00
2	Высота	3,87	0,31	0,096
	Длина стволика	4,52	0,33	0,11
	Длина корня	15,71	0,33	0,109
3	Высота	3,67	0,55	0,30
	Длина стволика	3,26	0,10	0,01
	Длина корня	16,68	0,53	0,28
4	Высота	3,96	0,54	0,29
	Длина стволика	3,88	0,67	0,45
	Длина корня	18,74	0,31	0,10

Выводы

На основании сравнения показателей роста однолетних сеянцев в закрытом и открытом грунте в трех регионах Казахстана выявлено, что использование укрывного материала совместно с различными удобрениями значительно улучшает рост по высоте и длину корней. Для каждого региона необходим определенный набор удобрений. Наибольший отклик дает применение азотных и фосфорных удобрений, так как в почве всех изученных питомников имеется их острая нехватка. Также хорошие результаты получены при поливе почвы борной кислотой в дозе 2 г/л и расходом на 1 м². Кроме защиты посевов от неблагоприятных погодных условий, закрытый грунт предохранил семена и всходы от склевывания их птицами.

Список литературы

- [1] Брынцев В.А., Заре А. Оптимизация применения азотных удобрений при выращивании сеянцев сосны обыкновенной // Вестник Алтайского государственного университета, 2016. № 3 (137). С. 73–78.
- [2] Мухаметшина А.Р., Сабиров А.М., Хазиахметов Р.Х. Влияние азотных удобрений на накопление биомассы ели европейской в лесном питомнике Республики Татарстан // Междунар. исследовательский журнал, 2018. № 3 (69). С. 60–63.

- [3] Сафина А.Р. Эффективность внесения различных норм аммиачной селитры при выращивании сеянцев ели европейской в условиях Предкамья Республики Татарстан // Вестник Казанского ГАУ, 2012. № 1 (23). С. 152–155.
- [4] Brown K.R., Driessche R.V.D. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on the growth and nutrition of hybrid poplars on Vancouver Island // New Forests, 2005, v. 29, pp. 89–104.
- [5] DeHayes D. H., Ingle M. A. Waite C. E. Nitrogen fertilization enhances cold tolerance of red spruce seedlings // Canadian J. Forest Research, 1989, v. 19(8), pp. 1037–1043.
- [6] Балков В.В. Совершенствование агротехники выращивания сеянцев хвойных пород с применением удобрений в лесных питомниках Пермской области // Лесохозяйственная информация, 2002. № 5. С. 10–20.
- [7] Заре А. Применение удобрений при выращивании сеянцев хвойных пород с учетом морфогенеза: дис. канд. с-х. н. Москва, 2007. 144 с.
- [8] Галдина Т.Е., Самошин С.Е. Влияние нетрадиционных удобрений на выращивание посадочного материала в лесных питомниках // Успехи современного естествознания, 2018. № 11. С. 24–29.
- [9] Романчук А.В., Юренин А.В. Создание лесных культур сеянцами, выращенными с применением комплексных минеральных удобрений пролонгированного действия // Труды БГТУ, 2018. № 2. С. 103–108.
- [10] Хузиахметов Р.Х., Сабиров А.М., Сафина А.Р. Технология пролонгированного азотного удобрения и оценка его влияния на биометрические показатели сеянцев хвойных пород // Вестник Казанского технологического университета, 2011. № 17. С. 113–116.
- [11] Середич М.О., Ярмолович В.А., Якимов Н.И. Повышение устойчивости сеянцев сосны к фомозу путем применения удобрений // Лесохозяйственная информация, 2017. № 1. С. 34–41.
- [12] Кабанова С.А., Данченко М.А., Кочегаров И.С., Кабанов А.Н. Опыт интенсивного выращивания однолетних сеянцев сосны обыкновенной в Павлодарской области Республики Казахстан // ИВУЗ, Лесной журнал, 2019. № 6. С. 104–117.
- [13] Данченко А.М., Кабанова С.А., Данченко М.А. Древоводство. М.: Юрайт, 2019. 249 с.
- [14] Кабанова С.А., Данченко М.А., Мироненко О.Н., Кабанов А.Н. Результаты предпосевной обработки стимуляторами семян сосны обыкновенной в Северном Казахстане // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, 2016. № 3 (44). С. 99–106.
- [15] Острошенко В.Ю., Острошенко Л.Ю. Влияние стимулятора роста фитозонт на проращивание семян сосны густоцветковой (*Pinus densiflora* Siebold et Zucc.) // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2019. № 54. С. 138–143.
- [16] Острошенко В.Ю., Чекушкина Т.Н. Влияние стимулятора роста на посевные качества семян сосны обыкновенной (*Pinus Silvestris* L.) // Аграрный вестник Приморья, 2017. № 4 (8). С. 58–61.
- [17] Егорова А.В., Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В. Способ получения стимулятора роста сосны обыкновенной / Патент на изобретение RU 2662999 С1, 31.07.2018. Заявка № 2017118750 от 29.05.2017.
- [18] Скозарева И.А., Чернодубов А.И. Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании сеянцев сосны обыкновенной // Лесотехнический журнал, 2019. Т. 9. № 3 (35). С. 87–95.
- [19] Стеценко С.К., Андреева Е.М., Терехов Г.Г., Хуршкайнен Т.В., Кучин А.В. О регламенте совместного применения стимуляторов роста и пестицидов в лесовыращивании // Экология и промышленность России, 2019. Т. 23. № 1. С. 66–71.

Сведения об авторах

Кабанова Светлана Анатольевна — канд. биол. наук, ассоциированный профессор, заведующая отделом воспроизводства лесов и лесоразведения, Казахский науч.-исслед. институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, kabanova.05@mail.ru

Кабанов Андрей Николаевич — магистр экологии, науч. сотр. отдела воспроизводства лесов и лесоразведения, Казахский науч.-исслед. институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, ankabn@mail.ru

Кириллов Виталий Юрьевич — канд. хим. наук, ассоциированный профессор, заместитель генерального директора по науке, Казахский науч.-исслед. институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, vitaliy.kirillov.82@mail.ru

Данченко Матвей Анатольевич — канд. геогр. наук, доцент, Биологический институт Томского государственного университета, кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства, mtd2005@sibmail.com

Поступила в редакцию 31.01.2020.

Принята к публикации 03.04.2020.

EMPLOYMENT OF FERTILIZERS IN FOREST NURSERIES OF KAZAKHSTAN

S.A. Kabanova¹, A.N. Kabanov¹, V.Yu. Kirillov¹, M.A. Danchenko²

¹Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58, Kirov st., Shchuchinsk, 021704, Kazakhstan

²Biological Institute Tomsk State University, 36, Lenin st., Tomsk, 634050, Russia

kabanova.05@mail.ru

The aim of the research was to determine the technology of growing the planting stock of *Pinus sylvestris* in conditions of closed and open ground with the employment of various fertilizers. Annual seedlings of *P. sylvestris* in forest nurseries of Pavlodar, North Kazakhstan and Akmola Regions in closed and open ground with the employment of different fertilizers were studied. The best height growth showed seedlings of *P. sylvestris* in annual age in the Pavlodar Region, and the variants of experience simultaneously with the employment of nitrogen and phosphate fertilizers, as well as fertilizer Fertika, were highlighted. Increase of the height of seedlings at the employment of boric acid for watering of soil in two regions of North Kazakhstan and Akmola Regions in comparison with other variants has been shown. The change in the absolutely dry mass of stalks in the three studied regions, in particular in the Pavlodar Region, was revealed, what was the highest indicator. Mass of roots was determined by the regions from 0,01 to 0,03 g; in the Pavlodar Region — from 0,04 to 0,07 g. The conclusion about the proportional ratio of the length of the root system to the length of the stalks of seedlings in all variants of experiments was made. Based on the comparison of growth indicators of annual seedlings, it was revealed that the use of covering material together with various fertilizers significantly improves the growth in height of seedlings and increases the length of the roots. A specific set of fertilizers, including nitrogen and phosphorous fertilizers, should be used for each region, since there is an urgent need for fertilizers in the soils of all the studied nurseries. Good results were obtained when watering the soil with boric acid at a dose of 2 g/l and a flow rate of 1 m².

Keywords: fertilizers, *Pinus sylvestris*, closed and open ground

Suggested citation: Kabanova S.A., Kabanov A.N., Kirillov V.Yu., Danchenko M.A. *Primenenie udobreniy v lesnykh pitomnikakh Kazakhstana* [Employment of fertilizers in forest nurseries of Kazakhstan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 52–58. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-52-58

References

- [1] Bryntsev V.A., Zare A. *Optimizatsiya primeneniya azotnykh udobreniy pri vyrashchivanii seyantsev sosny obyknovnoy* [Optimization of the employment of nitrogen fertilizers in the cultivation of *Pinus sylvestris* seedlings]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Altai State University], 2016, no. 3 (137), pp. 73–78.
- [2] Mukhametshina A.R., Sabirov A.M., Khaziakhmetov R.Kh. *Vliyanie azotnykh udobreniy na nakoplenie biomassy eli evropeyskoy v lesnom pitomnike Respubliki Tatarstan* [Influence of nitrogen fertilizers on the accumulation of biomass of *Picea abies* in the forest nursery of the Republic of Tatarstan]. *Mezhdunarodnyy issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2018, no. 3 (69), pp. 60–63.
- [3] Safina A.R. *Effektivnost' vnoseniya razlichnykh norm ammiachnoy selitry pri vyrashchivanii seyantsev eli evropeyskoy v usloviyakh Predkam'ya Respubliki Tatarstan* [Efficiency of application different standards of ammonium nitrate at growing seedlings of *Picea abies* in the conditions of the Kama area of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kazanskogo GAU* [Bulletin of Kazan State Agricultural University], 2012, no. 1 (23), pp. 152–155.
- [4] Brown K.R., Driessche R.V.D. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on the growth and nutrition of hybrid poplars on Vancouver Island. *New Forests*, 2005, v. 29, pp. 89–104.

- [5] DeHayes D.H., Ingle M.A., Waite C.E. Nitrogen fertilization enhances cold tolerance of red spruce seedlings. *Canadian J. Forest Research*, 1989, v. 19(8), pp. 1037–1043.
- [6] Balkov V.V. *Sovershenstvovanie agrotekhniki vyrashchivaniya seyantsev khvoynykh porod s primeneniem udobreniy v lesnykh pitomnikakh Permskoy oblasti* [Improvement of agricultural techniques for growing softwood seedlings with employment of fertilizers in forest nurseries of the Perm Region]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], 2002, no. 5, pp. 10–20.
- [7] Zare A. *Primenenie udobreniy pri vyrashchivanii seyantsev khvoynykh porod s uchetom morfogeneza* [The employment of fertilizers in the cultivation of seedlings of coniferous breeds, taking account of morphogenesis]. *Dis. Sci. (Agric.)*. Moscow, 2007, 144 p.
- [8] Galdina T.E., Samoshin S.E. *Vliyanie netraditsionnykh udobreniy na vyrashchivanie posadochnogo materiala v lesnykh pitomnikakh* [Influence of non-traditional fertilizers on cultivation of planting stock in forest nurseries]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Science], 2018, no. 11, pp. 24–29.
- [9] Romanchuk A.V., Yurenka A.V. *Sozdanie lesnykh kul'tur seyantsami, vyrashchennymi s primeneniem kompleksnykh mineral'nykh udobreniy prolongirovannogo deystviya* [Creation of forest cultures by seedlings grown with the employment of complex mineral fertilizers of prolonged action]. *Trudy BGTU* [Proceedings of the Belarusian State Technical University], 2018, no. 2, pp. 103–108.
- [10] Khuziakhmetov R.Kh., Sabirov A.M., Safina A.R. *Tekhnologiya prolongirovannogo azotnogo udobreniya i otsenka ego vliyaniya na biometricheskie pokazateli seyantsev khvoynykh porod* [Technology of prolonged nitrogen fertilizer and assessment of its impact on biometric indicators of coniferous seedlings]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Technological University], 2011, no. 17, pp. 113–116.
- [11] Seredich M.O., Yarmolovich V.A., Yakimov N.I. *Povyshenie ustoychivosti seyantsev sosny k fomozu putem primeneniya udobreniy* [Increasing of resistance of pine seedlings to phomosis by employment of fertilizers]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], 2017, no. 1, pp. 34–41.
- [12] Kabanova S.A., Danchenko M.A., Kochegarov I.S., Kabanov A.N. *Opyt intensivnogo vyrashchivaniya odnoletnikh seyantsev sosny obyknovennoy v Pavlodarskoy oblasti Respubliki Kazakhstan* [The experience of intensive cultivation of one-year-old seedlings of *Pinus sylvestris* L. in Pavlodar Region of the Republic of Kazakhstan]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2019, no. 6, pp. 104–117.
- [13] Danchenko A.M., Kabanova S.A., Danchenko M.A. *Drevovodstvo* [The arboriculture]. Moscow: Yurayt, 2019, 249 p.
- [14] Kabanova S.A., Danchenko M.A., Mironenko O.N., Kabanov A.N. *Rezultaty predposevnoy obrabotki stimulyatorami semyan sosny obyknovennoy v Severnom Kazakhstane* [The results of presowing treatment with stimulants of seeds of common pine in Northern Kazakhstan]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova* [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy. V.R. Filippova], 2016, no. 3 (44), pp. 99–106.
- [15] Ostroshenko V.Yu., Ostroshenko L.Yu. *Vliyanie stimulyatora rosta fitozont na prorashchivanie semyan sosny gustotsvetkovoy (Pinus densiflora Siebold et Zucc.)* [The influence of the growth stimulator phytozont on the germination of densely flowered pine seeds (*Pinus densiflora* Siebold et Zucc.)]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2019, no. 54, pp. 138–143.
- [16] Ostroshenko V.Yu., Chekushkina T.N. *Vliyanie stimulyatora rosta na posevnye kachestva semyan sosny obyknovennoy (Pinus silvestris L.)* [The influence of growth stimulant on the sowing quality of the seeds of common pine (*Pinus silvestris* L.)]. *Agrarnyy vestnik Primor'ya* [Agrarian Bulletin of Primorye], 2017, no. 4 (8), pp. 58–61.
- [17] Egorova A.V., Chernobrovkina N.P., Robonen E.V. *Sposob polucheniya stimulyatora rosta sosny obyknovennoy* [A method of obtaining a growth stimulator of Scots pine]. Patent for invention RU 2662999 C1, 07/31/2018. Application No. 2017118750 dated 05/29/2017.
- [18] Skozareva I.A., Chernodubov A.I. *Effektivnost' primeneniya stimulyatorov rosta pri vyrashchivanii seyantsev sosny obyknovennoy* [The effectiveness of the use of growth stimulants in the cultivation of seedlings of Scots pine]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry magazine], 2019, v. 9, no. 3 (35), pp. 87–95.
- [19] Stetsenko S.K., Andreeva E.M., Terekhov G.G., Khurshkaynen T.V., Kuchin A.V. *O reglamente sovmestnogo primeneniya stimulyatorov rosta i pestitsidov v lesovyrashchivanii* [On the regulation of the joint use of growth stimulants and pesticides in forest cultivation]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2019, v. 23, no. 1, pp. 66–71.

Authors' information

Kabanova Svetlana Anatolievna — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Head of the Department of Forest reproduction and afforestation of the Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, kabanova.05@mail.ru

Kabanov Andrey Nikolaevich — Masters in Ecology, Researcher of the Department of Forest reproduction and afforestation of the Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, ankabn@mail.ru

Kirillov Vitaly Yurievich — Cand. Sci. (Chemical), Associate Professor, Deputy Director General on Research of the Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, vitaliy.kirillov.82@mail.ru

Danchenko Matvey Anatolyevich — Cand. Sci. (Geographical), Associate Professor, Biological Institute of Tomsk State University, Department of Forestry and Landscape construction, mtd2005@sibmail.com

Received 31.01.2020.

Accepted for publication 03.04.2020.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРИГОДНОСТИ ЛЕСА К ВЫРУБКЕ С УЧЕТОМ ФЛОРЫ И ФАУНЫ

В.С. Осипик, А.И. Говоров, К.Е. Щаникова

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49

leraosipik@mail.ru

Рассмотрено влияние вырубки леса на представителей флоры и фауны. По результатам анализа актуальных источников и примеров последствий массовых рубок на территории России и в мире, сделан вывод об отрицательном воздействии вырубки леса на флору и фауну. Доказано, что одним из последствий обезлесения планеты может быть исчезновение редких видов животных и растений. Показана важность контроля вырубки, так как бесконтрольная вырубка лесов кардинально изменяет лесные экосистемы. Почеркнуто большое значение для сохранения редких видов животных расчета критериев оценки значимости флоры и фауны, определяющего возможность (либо невозможность) рубки леса. Приведена разработанная методика расчета параметра, отражающего влияние наличия различных представителей флоры и фауны на возможность вырубки лесов. Расчет проведен в рамках масштабного проекта, посвященного разработке системы по определению экологически оптимальных территорий для вырубки лесов. Представлены различные критерии, которые могут влиять на выбор района для вырубки лесов, в дальнейшем используемые для расчета единого показателя, определяющего возможность рубки. Кроме того, проект нацелен на создание графического отображения мест, наиболее пригодных для рубок. Определены также показатели, на основе которых разработана математическая модель, отражающая пригодность леса к вырубке, исходя из перечня представителей флоры и фауны, которая учитывает количество краснокнижных представителей фауны и наличие растительности, занесенной в Красную книгу России или Красные книги субъектов Российской Федерации на рассматриваемой территории.

Ключевые слова: экологическая проблема, обезлесение, вырубка лесов, вымирающие виды животных

Ссылка для цитирования: Осипик В.С., Говоров, А.И., Щаникова К.Е. Методика расчета пригодности леса к вырубке с учетом флоры и фауны // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 59–64. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-59-64

В системе мировых приоритетов экологические проблемы все более приближаются к первостепенным, поскольку экология — один из важнейших факторов развития человечества. Актуальный вопрос современности — обеспечение гармонии между индустриальным развитием и окружающей человека природной средой.

XXI в. — век прогрессивно растущего потребления. Людей больше интересует материальная выгода, нежели вытекающие из этого последствия. По причине этого происходит только ухудшение всех показателей, характеризующих окружающую среду. Так, одной из самых острых проблем в России на сегодняшний день является обезлесение [1].

Проблему обезлесения Земли ученые поднимали со второй половины XX в. Одним из его побочных явлений признана гибель множества видов растений и животных с уничтожением деревьев. Лес — это слаженная экологическая система, в основе которой лежит взаимодействие флоры и фауны, и любое внедрение в нее влечет за собой непоправимые изменения.

Массовая вырубка лесов является проблемой мирового масштаба, поскольку в результате вырубки нарушается естественная среда обитания животных, птиц и насекомых, уменьшается чис-

ленность популяции рыб и земноводных, как указано в работе [2], сокращение площади лесов имеет тенденцию нарастать.

В России за год вырубается около 1,2 млн га леса. По данным организации по защите окружающей среды «Гринпис», с 2000 г. по 2013 г. Россия утратила 6,5 %, или 17,8 млн га, дикого леса. Однако в последующие три года скорость исчезновения первозданных лесов на территории страны возросла почти в 2 раза, что является самым высоким показателем исчезновения лесов в мире [3].

Такая глобальная проблема требует разностороннего подхода и использования различных методов, одним из которых является разработка проекта по созданию системы определения экологически оптимальных территорий для вырубки лесов. Таким проектом должно предусматриваться влияние рубок лесов на различные элементы окружающей среды и способы преодоления их негативных последствий.

Цель работы

Цель работы — рассмотрение глобальных и локальных задач проекта по созданию системы определения экологически оптимальных территорий для рубок леса.

Задачи проекта

К **глобальным задачам проекта** относятся:

- поиск параметров, оказывающих влияние на определение возможности вырубки лесов;
- построение математических моделей в целях оценивания всех параметров, влияющих на определение возможности вырубки на рассматриваемой территории;
- определение взаимозависимостей в выбранных параметрах для выведения общего коэффициента, отображающего возможность вырубки лесов на рассматриваемой территории;
- разработка метода определения неизвестных для соседних территорий параметров с использованием известных параметров на основе методов машинного обучения;
- разработка программной системы для построения интерактивной карты, отображающей экологически оптимальные территории для вырубки лесов.

Для рассмотрения одного из аспектов — влияния вырубки леса на представителей флоры и фауны — были поставлены следующие **локальные задачи проекта**:

- анализ предметной области в целях рассмотрения возможности вырубки лесов с учетом влияния обезлесения на представителей флоры и фауны;
- поиск и определение показателей, на основе которых возможна разработка математической модели;
- разработка математической модели, отражающей пригодность леса к вырубке с точки зрения представителей флоры и фауны.

Актуальность рассматриваемой проблемы

Актуальность проблемы доказывает множество примеров отрицательного влияния вырубок леса на представителей растительного и животного мира. В качестве одного из примеров можно привести ситуацию, сложившуюся на Мадагаскаре, который оказался на грани экологической катастрофы вследствие стремительной вырубки лесов, повлекшей за собой исчезновение уникальных видов деревьев. По итогам проведенных исследований, Международный союз охраны природы добавил к списку исчезающих видов 83 % разновидностей растущих на острове деревьев, поскольку 80 % представителей растительного и животного мира Мадагаскара эндемичны [4], а уничтожение среды обитания угрожает эндемичным видам [5] или обрекает их на вымирание. Сокращение численности коал, например, произошло в связи с вырубкой эвкалиптовых деревьев,

которые являются источником питания для этих животных. Также было отмечено и резкое сокращение численности популяций шимпанзе на этом острове [6].

Наряду с этим вырубка леса, ведущая к уничтожению естественной среды обитания, поставила под угрозу исчезновения дальневосточного амурского тигра в России. Помимо этого вырубка леса в бассейне нерестовых рек оказала существенное влияние на воспроизводство лососевых рыб в том же регионе России [7].

По А.Н. Формозову, вырубка леса существенно сказывается на условиях обитания многих видов животных, лишая их убежищ, изменяя кормовые условия местообитаний [8]. Исследованиями доказано, что в Центральной Сибири на площадях концентрированных вырубок обилие глухаря сократилось не менее чем в 19 раз, рябчика — в 11,2 раза. В окрестностях горного хребта Тукурингра при концентрированных вырубках на больших площадях в ходе естественного возобновления образуются однообразные по возрастной структуре и породному составу леса длительно малоприспособленные для обитания кабарги [9].

В Тюменской обл. установлено отрицательное влияние сплошных рубок на численность глухаря [10]. Концентрированные вырубки существенно изменяют фауну мелких млекопитающих Восточной Фенноскандии [8].

В Предбайкалье лесопромышленное освоение негативно влияет на численность белок [11, 12]. В целом же на Байкальской природной территории лесозаготовки оказывают выраженное отрицательное воздействие на продуктивность охотничьих угодий по пушнине [13].

Таким образом, приведенный обзор литературных источников подтверждает отрицательное влияние промышленных рубок леса на представителей флоры и фауны [14].

В целях охраны и учета редких и находящихся под угрозой исчезновения растений, животных и других организмов ведется Красная книга Российской Федерации (далее — Красная книга) и Красные книги субъектов Российской Федерации.

Для вида или подвида, занесенного в Красную книгу, обычно указывается его примерная численность и причины ее сокращения, распространение по территории (ареал) в прошлом и в настоящее время, предпринимаемые и необходимые меры для охраны и другие сведения.

Списки видов Красных книг постоянно изменяются. Виды, численность которых удалось восстановить до значений, обеспечивающих их существование, из списков исключаются. Списки пополняются видами, жизненный статус которых изменился в худшую сторону.

Все виды, заносимые в Красные книги, обычно подразделяются на категории (по степени угрозы их потери) [15–21]:

I — вероятно, исчезнувшие;

II — находящиеся под угрозой исчезновения (требуется специальные меры строгой охраны);

III — сокращающиеся (еще встречаются в количествах, достаточных для выживания, но численность их быстро уменьшается);

IV — редкие (не находящиеся под угрозой вымирания, но встречающиеся в небольшом количестве или на ограниченных территориях, где они могут быть легко уничтожены);

V — неопределенные (есть основания заботиться об их судьбе, но о них сведения пока недостаточны);

VI — восстанавливаемые и восстанавливающиеся (численность и распространение которых под воздействием естественных причин или в результате принятых мер охраны начали восстанавливаться и приближаются к состоянию, когда не будут нуждаться в срочных мерах по сохранению и восстановлению).

Методика расчета пригодности леса к вырубке

В результате проведенного анализа была предложена методика для применения математической модели, отражающей пригодность рассматриваемого леса к вырубке, исходя из перечня представителей флоры и фауны. В основе предлагаемой методики лежит проверка их отношения к одному из подразделений Красной книги.

Данная методика состоит из четырех этапов:

1) расчет суммарной значимости представителей флоры;

2) расчет суммарной значимости представителей фауны;

3) расчет общей значимости для представителей флоры и фауны;

4) расчет пригодности вырубки леса в процентах.

Каждой категории (I–VI) присваивается определенный удельный вес в баллах, отражающий значимость указанных групп представителей флоры и фауны:

1) виды, находящиеся под угрозой вымирания — 10;

2) сокращающиеся виды — 8;

3) редкие виды — 6;

4) неопределенные по статусу виды — 4;

5) восстанавливаемые виды — 3;

6) виды, жизнь которых не находится в зоне риска — 2.

Следует учесть возможность миграции представителей фауны, которая зачастую отсутствует

у представителей флоры. Оценка вероятности приживаемости животных на близлежащих территориях требует дополнительных исследований.

Для представителей фауны предложен полином:

$$N = 10n_1 + 8n_2 + 6n_3 + 4n_4 + 3n_5 + 2n_6,$$

где N — сумма удельных весов представителей фауны, отражающая их общую значимость;

$n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6$ — число видов животных соответствующей категории.

Аналогично проведен расчет с представителями флоры. У растений отсутствует возможность перемещения, поэтому в данной работе выделены категории (1–2), имеющие следующие присвоенные им значения удельного веса:

1) виды, занесенные в Красную книгу — 10;

2) прочие виды — 2.

Для представителей флоры предложен полином:

$$P = 10p_1 + 2p_2,$$

где P — сумма удельных весов представителей флоры, отражающая их общую значимость;

p_1, p_2 — число видов растений соответствующей категории.

Далее необходимо найти сумму удельных весов для представителей флоры и фауны:

$$S = N + P,$$

где S — суммарная значимость флоры и фауны;

N — сумма весов представителей фауны, отражающая их общую значимость;

P — сумма удельных весов представителей флоры, отражающая их общую значимость.

Примеры расчета по сценариям

Сценарий 1. Рассматривается спелый лес эксплуатационной категории (по ст. 10 Лесного Кодекса Российской Федерации) в области города Х. Необходимо выяснить его пригодность к вырубке, исходя из перечня представителей флоры и фауны, рассмотрев данные об этих представителях.

Известно, что в нем обитают следующие представители фауны: тигр амурский, кабан, олень пятнистый, колонок, норка американская, белка обыкновенная.

Представители флоры: виды, занесенные в Красную книгу — отсутствуют, прочие составляют 200 особей.

Расчет. Тигр по этому сценарию пройдет по категории 1 (виды, находящиеся под угрозой вымирания) и будет иметь удельный вес 10 баллов. Остальные виды отнесены к категории 6 (виды, жизнь которых не находится в зоне риска) и будут

суммарно иметь удельный вес 10 баллов. В итоге на зверей приходится 20 баллов. Флора будет иметь удельный вес 400 баллов. Итого: фауна и флора — 420 баллов. Несмотря на такой удельный вес, вырубка на ограниченной действующими правилами вырубок площади будет возможна, поскольку тигр и другие виды (пока не появится возобновление) уйдут, а отсутствие краснокнижной растительности вырубку позволяет.

Далее необходимо рассчитать параметр H , отражающий степень непригодности вырубки леса, исходя из перечня представителей флоры и фауны. Исходя из предположения, что наиболее непригодным для вырубки будет лес, в котором все представители флоры и фауны пройдут по категориям 1 соответственно, составляется уравнение:

$$H = \frac{S \cdot 100\%}{10n_1 + 10p_1},$$

$$H = \frac{420 \cdot 100\%}{2060} = 20\%,$$

где n_1 — суммарное количество представителей фауны;

p_1 — суммарное количество представителей флоры;

S — общий вес флоры и фауны, полученный при расчете по сценарию.

Таким образом: рассмотренный лес будет на 80 % (100 % – 20 %) пригоден к вырубке.

Сценарий 2. Рассматривается спелый лес эксплуатационной категории (по ст. 10 Лесного Кодекса Российской Федерации) в области города Х. Требуется выяснить его пригодность к вырубке, рассмотрев данные о живущих в нем представителях флоры и фауны.

Известно, что в нем обитают следующие представители фауны: тигр амурский, кабан, олень пятнистый, колонок, норка американская, белка обыкновенная.

Представителей флоры: краснокнижных — 10; прочих — 200 особей.

Расчет. Тигр по этому сценарию пройдет по категории 1 и будет иметь удельный вес 10. Остальные виды отнесены к категории 6 и будут иметь удельный вес 10 баллов. Итого на зверей будет приходиться 20 баллов. На флору — 500 баллов (100 — краснокнижные и 400 — прочие остальные). Итого фауна и флора: 520 баллов. При таком удельном весе вырубка на ограниченной действующими правилами вырубок площади будет невозможна, так как тигр и другие виды (пока не появится возобновление) уйдут, а наличие краснокнижной растительности вырубку не позволяет.

Выводы

Проанализировано воздействие вырубок лесных массивов на жизнедеятельность представителей растительного и животного мира. Выявлено их отрицательное воздействие. Для решения проблемы предложены методика расчета пригодности рассматриваемого леса к вырубке с учетом его обитателей и параметры для оценивания. Математическая модель в дальнейшем может использоваться при расчете общего параметра, определяющего возможность вырубки лесных массивов на рассматриваемых территориях. При его расчете учитывается множество факторов, влияющих на установление пригодности территории к вырубке.

Список литературы

- [1] Егикян М.А. Экологические проблемы РФ и способы их решения // Ломоносовские чтения на Алтае: Фундаментальные проблемы науки и образования, Барнаул, 20–24 октября 2015 г. Барнаул: Алтайский государственный университет, 2015. С. 184–188.
- [2] Тулохонов А.К. Киотский протокол: проблемы и решения // Аналитический обзор. Сер.: Экология, 2009. № 89. С. 8.
- [3] ОМННО «Совет Гринпис». URL: <https://greenpeace.ru>. (дата обращения 04.07.2019)
- [4] В таинственной стране Мадагаскар. Год 2008 / Сост. Л.А. Каргашова. М.: Экон-информ, 2012. С. 132–137.
- [5] Yoder A.D., Campbell C.R., Blanco M.B. Geogenetic patterns in mouse lemurs (genus *Microcebus*) reveal the ghosts of Madagascar's forests past // Proceedings of the National Academy of Sciences, 2016, no. 29, pp. 8049–8056.
- [6] Бенитсиафантука Э.У. Экологические проблемы острова Мадагаскар // Молодой ученый, 2019. № 2. С. 69–72.
- [7] Кордюков А.В. Водоохранная роль лесов бассейнов малых горных рек Сахалина // Вестник ДВО РАН, 2014. № 3. С. 62–68.
- [8] Формозов А.Н. Изменение фауны человеком // Русский орнитологический журнал, 2009. Т. 18. Экспресс-выпуск № 532. С. 2163–2184.
- [9] Рогозин М. Ю., Картамышева Е. С. Вырубка лесов — экологическая катастрофа // Молодой ученый, 2017. № 51. С. 20–32.
- [10] Леонтьев Д.Ф. Влияние лесопромышленного освоения на состояние численности соболя и белки Предбайкалья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1990. 20 с.
- [11] Леонтьев Д.Ф. Лесопромышленное и охотпромысловое использование Байкальской природной территории: аспект связи лесозаготовок с охотничьим промыслом // Живые и биокосные системы, 2013. № 4. С. 33–42.
- [12] Леонтьев Д.Ф. Ландшафтно-видовой подход к оценке размещения промысловых животных юга Восточной Сибири: дис. ... д-ра биол. наук. Красноярск, 2009. 377 с.
- [13] Токарев Д.В., Кашеутов М.Д. Экологическая безопасность Российской Федерации // Вестник современных исследований, 2019. № 1.11 (28). С. 161–163.
- [14] Ревуцкая О.Л. Количественный численности охотничьих животных // Региональные проблемы, 2014. № 2. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23339849> (дата обращения 02.09.2019).

- [15] Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / под ред. Ю.П. Трутнева, сост. Р.В. Камелина. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.
- [16] Красная Книга Российской Федерации (Животные). URL: <http://redbookrf.ru/zhivotnye> (дата обращения 04.07.2019).
- [17] Михеев А.В. Позвоночные животные Приволжско-Дубнинского государственного заповедника // Экосистемы: экология и динамика. 2018. Т. 2. № 3. С. 79–168.
- [18] Куликова О.В. Устойчивое управление лесами как инструмент реализации государственной политики в области экологии // Вестник Саратовской государственной юридической академии, 2013. № 3 (92). С.201–206.
- [19] Хлебосолов Е.И. Роль поведения в экологии и эволюции животных // Русский орнитологический журнал, 2005. Т. 14. № 277. С. 49–55.
- [20] Белаенко А.П. Экономика, экология, лес: современные реалии // Лесное хозяйство, 2007. № 6. С. 10–13.
- [21] Мартынов А.Н. Основы лесного хозяйства. Экология леса. Санкт-петербург: СПбГЛТА, 2003. 63 с.

Сведения об авторах

Осипик Валерия Сергеевна — студент, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, leraosipik@mail.ru

Говоров Антон Игоревич — ассистент факультета инфокоммуникационных технологий, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, antongovorov@gmail.com

Щаникова Каролина Евгеньевна — студент, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, karolina-99@mail.ru

Поступила в редакцию 12.11.2019.

Принята к публикации 18.02.2020.

CALCULATING METHOD OF FOREST CUTTING CONSIDERING FLORA AND FAUNA

V.S. Osipik, A.I. Govorov, K.E. Shchanikova

ITMO University, 49, Kronverkskiy pr., 197101, St. Petersburg, Russia

leraosipik@mail.ru

The article discusses the impact of deforestation on representatives of flora and fauna. The results of the analysis of relevant sources and examples of the consequences of mass logging in Russia and in the world indicate the negative impact of deforestation on the flora and fauna. It is proved that one of the consequences of deforestation of the planet may be the extinction of rare species of animals and plants. Thus, the article describes the importance of the need to control deforestation, since uncontrolled deforestation has a great impact on forest ecosystems. An important role in the conservation of rare animal species can be played by the calculation of criteria for assessing the importance of flora and fauna, which determines the possibility (or impossibility) of logging. The authors provide their own methodology for calculating the parameter, reflecting the influence of the presence of various representatives of flora and fauna on the possibility of deforestation in this region. This calculation is carried out as part of a large-scale project dedicated to the development of a system for determining environmentally optimal territories for deforestation in this area. This project discusses various criteria that may affect the choice of area for deforestation, which will be further used to calculate a single indicator that determines the possibility of cutting. In addition, the project aims to create a graphical display of places most suitable for logging. The article defines the indicators on the basis of which a mathematical model is developed that reflects the suitability of the forest for felling, based on the list of representatives of flora and fauna. This model considers the number of Red Book representatives of the fauna and the presence of vegetation listed in the Red Book of Russia or the Red Books of the constituent entities of the Russian Federation in the considered territory.

Keywords: ecological problem, deforestation, endangered species, red book

Suggested citation: Osipik V.S., Govorov A.I., Shchanikova K.E. *Metodika rascheta prigodnosti lesa k vyrubke s uchetom flory i fauny* [Calculating method of forest cutting considering flora and fauna]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 59–64. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-59-64

References

- [1] Egikyan M.A. *Ekologicheskie problemy RF i sposoby ikh resheniya* [Ecological problems of the Russian Federation and methods for their solution] *Lomonosovskie chteniya na Altae: Fundamental'nye problemy nauki i obrazovaniya* [Lomonosov Readings in Altai: Fundamental Problems of Science and Education]. Barnaul, October 20–24, 2015. Barnaul: Altai State University, 2015, pp. 184–188.
- [2] Tulokhonov A.K. *Kiotskiy protokol: problemy i resheniya* [Kyoto Protocol: Problems and Solutions]. *Analiticheskiy obzor. Ser.: Ekologiya* [Analytical Review. Ser.: Ecology], 2009, no. 89, p. 8.
- [3] *OMNNO «Sovet Grinpis»* [ONE Greenpeace Council]. Available at: <https://greenpeace.ru>. (accessed 07.04.2019).

- [4] *V tainstvennoy strane Madagaskar. God 2008* [In the mysterious country of Madagascar. Year 2008] Comp. L.A. Kartashova. Moscow: Econ-inform, 2012, pp. 132–137.
- [5] Yoder A.D., Campbell C.R., Blanco M.B. Geogenetic patterns in mouse lemurs (genus *Microcebus*) reveal the ghosts of Madagascar's forests past. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2016, no. 29, pp. 8049–8056.
- [6] Benitsiafantuka E.U. *Ekologicheskie problemy ostrova Madagaskar* [Ecological problems of the island of Madagascar]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist], 2019, no. 2, pp. 69–72.
- [7] Kordyukov A.V. *Vodookhrannaya rol' lesov basseynov malyykh gornykh rek Sakhalina* [The water-protective role of forests in the basins of small mountain rivers of Sakhalin] *Vestnik DVO RAN* [Vestnik FEB RAS], 2014, no. 3, pp. 62–68.
- [8] Formozov A.N. *Izmenenie fauny chelovekom* [Changes in fauna by humans]. *Russkiy ornitologicheskiy zhurnal* [Russian Ornithological Journal], 2009, v. 18, express issue no. 532, pp. 2163–2184.
- [9] Rogozin M. Yu., Kartamyshva E. S. *Vyrubka lesov — ekologicheskaya katastrofa* [Deforestation — an ecological disaster]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2017, no. 51, pp. 20–32.
- [10] Leont'ev D.F. *Vliyaniye lesopromyshlennogo osvoeniya na sostoyaniye chislennosti sobolya i belki Predbaykal'ya* [The influence of forestry development on the state of abundance of sable and squirrel in the Prebaikal region]. *Dis. ... Cand. Sci. (Agric.)*. Moscow, 1990, 20 p.
- [11] Leont'ev D.F. *Lesopromyshlennoe i okhotpromyslovoe ispol'zovanie Baykal'skoy prirodnoy territorii: aspekt svyazi lesozagotovok s okhotnich'im promyslom* [Forestry and hunting use of the Baikal natural territory: an aspect of the relationship between logging and hunting] *Zhivye i biokosnyye sistemy* [Living and biocos systems], 2013, no. 4, pp. 33–42.
- [12] Leont'ev D.F. *Landshafino-vidovoy podkhod k otsenke razmeshcheniya promyslovykh zhivotnykh yuga Vostochnoy Sibiri* [Landscape-species approach to assessing the distribution of game animals in the south of Eastern Siberia]. *Dis. ... Dr. Sci. (Biol.)*. Krasnoyarsk, 2009, 377 p.
- [13] Tokarev D.V., Kashutov M.D. *Ekologicheskaya bezopasnost' Rossiyskoy Federatsii* [Ecological safety of the Russian Federation]. *Vestnik sovremennykh issledovaniy* [Bulletin of modern studies], 2019, no. 1.11 (28), pp. 161–163.
- [14] Revutskaya O.L. *Kolichestvennyy chislennosti okhotnich'ikh zhivotnykh* [The quantitative number of game animals]. *Regional'nye problemy* [Regional Problems], 2014, no. 2. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23339849> (accessed 02.09.2019).
- [15] *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii (rasteniya i griby)* [Red Book of the Russian Federation (plants and mushrooms)] Ed. Yu.P. Trutnev, comp. R.V. Kamelina. Moscow: Partnership of scientific publications of KMK, 2008, 855 p.
- [16] *Krasnaya Kniga Rossiyskoy Federatsii (Zhivotnye)* [Red Book of the Russian Federation (Animals)]. Available at: <http://redbookrf.ru/zhivotnye> (accessed 04.07.2019).
- [17] Mikheev A.V. *Pozvonochnye zhivotnye Privolzhsko-Dubninskogo gosudarstvennogo zapovednika* [Vertebrate animals of the Volga-Dubna State Nature Reserve]. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika* [Ecosystems: ecology and dynamics], 2018, v. 2, no. 3, pp. 79–168.
- [18] Kulikova O.V. *Ustoychivoye upravleniye lesami kak instrument realizatsii gosudarstvennoy politiki v oblasti ekologii* [Sustainable forest management as a tool for implementing state policy in the field of ecology]. *Vestnik Saratovskoy gosudarstvennoy yuridicheskoy akademii* [Bulletin of the Saratov State Law Academy], 2013, no. 3 (92), pp. 201–206.
- [19] Khlebosolov E.I. *Rol' povedeniya v ekologii i evolyutsii zhivotnykh* [The role of behavior in the ecology and evolution of animals]. *Russkiy ornitologicheskiy zhurnal* [Russian Ornithological Journal], 2005, v. 14, no. 277, pp. 49–55.
- [20] Belaenko A.P. *Ekonomika, ekologiya, les: sovremennye realii* [Economy, ecology, forest: modern realities]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2007, no. 6, pp. 10–13.
- [21] Martynov A.N. *Osnovy lesnogo khozyaystva. Ekologiya lesa* [[Fundamentals of forestry. Ecology of the forest]. St. Petersburg: SPbGLTA, 2003, 63 p.

Authors' information

Osipik Valeria Sergeevna — Student of the St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, leraosipik@mail.ru

Govorov Anton Igorevich — Assistant of the St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, antongovorov@gmail.com

Shchanikova Karolina Evgenievna — Student of the St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, karolina-99@mail.ru

Received 12.11.2019.

Accepted for publication 18.02.2020.

УДК 630.187

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-65-81

ЛЕСНАЯ ТИПОЛОГИЯ И БОТАНИКА. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Е.С. Мигунова

Украинский НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г.Н. Высоцкого, Украина, 61024, Харьков, ул. Пушкинская, д. 86

migunova-e-s@yandex.ua

Кратко охарактеризованы принципы, методы и результаты исследований созданного Г.Ф. Морозовым учения о типах насаждений, получившего позднее название лесной типологии. Его основу составляет сопряженное изучение лесных сообществ и их среды — климата и почвогрунтов как лесных экосистем. Показаны перспективы такого сопряженного изучения. Выявлена особая роль лимитированных ресурсов среды — тепла, влаги и пищи, повсеместно определяющих состав и продуктивность растительности и позволяющих прогнозировать эти их характеристики. Данные факторы формируют в единстве уровень плодородия среды, определяя биоразнообразие разных природных объектов.

Ключевые слова: лесная типология, экология, экосистема, среда, фитоиндикация, лимитированные ресурсы среды, биоразнообразие

Ссылка для цитирования: Мигунова Е.С. Лесная типология и ботаника. Экологическая оценка факторов природной среды // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 65–81.

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-65-81

Одним из крупных достижений естественных наук последнего времени является обоснование экосистемного строения природы, наличия жесткой связи живой и неорганической ее составляющих, формирующих единства, получившие название *экосистем*. Общеизвестным основоположником учения об экосистемах считается английский геоботаник А. Тэнсли [1]. Однако к пониманию этого единства отечественные лесоводы пришли значительно раньше, в связи с тем, что их объект — лес — вследствие многолетнего, а нередко многовекового роста, очень ярко демонстрирует свою тесную взаимосвязь со средой. Именно поэтому лесоводы издавна оценивают насаждения и почвы, на которых они произрастают, одним классом бонитета. Другой причиной было осуществленное лесоводами обобщение народных природоведческих знаний. В процессе этого обобщения было выявлено, что в отличие от официальной науки, в народной среде сформировался взгляд на природу в единстве всех ее составляющих.

Учения о типах насаждений

Лесоводы сразу оценили перспективность такого подхода и в начале XX в. их глава Г.Ф. Морозов сформулировал основные положения учения о типах насаждений как единстве леса и его среды, прежде всего почвогрунтов [2]. «Необходим синтез. Необходимо уметь сразу смотреть и на лес, и на занятую им среду; такое обобщение давно уже живет в вековой мудрости народа, крылатыми словами отметившего совокупность и территории, и ее лесного населения, степень их соответствия друг другу, в таких терминах,

как *рамень, сурамень, суборь, согда и т. д.*» [3]. Морозов предложил также классификацию типов насаждений на базе генетических типов почв: дубравы на серых, темно-серых лесных почвах, солонцах и др. [4], но они не всегда сопрягались друг с другом. К разработке классификации типов насаждений подключился также А.А. Крюденер.

Созданное российскими лесоводами — Г.Ф. Морозовым и его соратником, крупным деятелем лесохозяйственного производства России А.А. Крюденером по материалам широкого обобщения народных природоведческих знаний учение о типах насаждений, названное позднее *лесной типологией*, представляет собой крупное исследование экологической взаимосвязи лесов с абиотической средой. Основной принцип этих исследований — признание единства природы и жесткой обусловленности лесов средой. «Лес находится под влиянием климата и под властью земли» [3]. А далее выявление конкретных данных, характеризующих эту обусловленность. Отметим, что основоположники учения никогда не замыкались на лесе как таковом. Об этом свидетельствует данное А.А. Крюденером определение основного таксона лесной типологии — типа насаждения как *единства климата, почвогрунта и растительного сообщества* [5].

Это положение представляет собой первое в истории мировой науки определение нового понятия — *экосистема*, данного на 20 лет ранее А. Тэнсли. Кстати, Тэнсли не определил этот таксон. Он только сформулировал общеизвестное, но ранее не высказывавшееся никем положение о том, что живое не может существовать без среды. Крюденер же назвал три главные составляющие

экосистемы — климат, почвогрунт (почва и горная порода, из которой она образовалась) и растительность. При этом он сразу выделил ведущую роль растительности в образовании экосистем. Он не указал «единство климата, почвогрунта и растительности», но указал «и растительного сообщества», подчеркивая этим, что экосистему формируют и определяют ее границы *растительные сообщества*, понимаемые как первичные ячейки растительности, характеризующиеся, как известно, большим разнообразием.

Создавая классификацию типов насаждений, Крюденер, следуя народному опыту разделения разных участков леса, положил в ее основу *плодородие земель*, разместив насаждения в таблице по *нарастанию увлажнения почвогрунтов*, которое он оценивал по положению в рельефе и видовому составу напочвенного покрова (15 групп) и *их богатства пиццей*, связывая его с утяжелением их механического состава (7 групп). При этом, признавая полную обусловленность растительности средой, Крюденер подразделил почвогрунты на типы не по присущим им самим свойствам, как это общепринято, а по изменению состава и продуктивности (типа) насаждений на них, определяемых пределами толерантности к тем или иным свойствам почв входящих в их состав видов растений. Этот прием *позволил объединить среду и приуроченный к ней древостой в один тип, дать им единый объем*, отражающий экосистемную сущность их взаимосвязей. Крюденер отмечал, что в народе не говорят сосновый, еловый лес. Сосновые насаждения на относительно сухих песках называют бором, в заболоченных низинах — мшарой, ельники на суглинистых равнинах — раменью, на переувлажненных низинах — согрой. Впервые классификация была опубликована Крюденером в 1914 г. в «Лесном журнале» (№ 5), затем, в 1916 г., в монографии «Основы классификации типов насаждений» [5].

Единая сопряженная классификация разных природных объектов

Это совершенно новый принцип классификации — *единая сопряженная классификация разных природных объектов* — почвогрунтов и приуроченных к ним лесных насаждений. Для типов почвогрунтов и лесов на них ученый сохранил народные названия (боры, субори, рамени, согры и др.), которыми широко пользовались типологи «морозовского периода». Но в его классификации эти типы размещены в системе по нарастанию богатства и увлажнения субстрата. Так появился координатный принцип оценки качества почвогрунтов по двум главным составляющим

их плодородия — обеспеченности элементами питания и влагой, ставший основной характеристикой местообитаний во всех последующих классификационных построениях лесных типов морозовской школы.

Выделение ведущих признаков почвогрунтов — обеспеченности пищей и уровнем увлажнения, положенных в основу классификации, и принцип ее построения — система координат — позволили привести в строгую систему все разнообразие насаждений лесной зоны — от чисто сосновых древостоев на бедных песчаных землях (боры) до раменей и дубрав — на богатых суглинках. При этом общее количество типов насаждений оказалось относительно небольшим, значительно меньшим, чем количество выделяемых географами фаций, ботаниками — ассоциаций и почвоведом — видов почв.

Классификацию начали использовать при лесоустройстве. Крюденер был немецкого происхождения, имел титул барона и высший в России гражданский чин действительного тайного советника, поэтому в 1918 г. он был вынужден эмигрировать в Германию. В связи с этим в СССР его труды, в том числе лесотипологическая классификация, были изъяты из употребления и преданы забвению. При широкомасштабных работах по инвентаризации лесов и лесоустройству, начавшихся в середине 1920-х гг., ориентировались на ботаническую, точнее, фитоценологическую классификацию В.Н. Сукачева (в частности, сосняки белошники, ельники черничники и др.), не опирающуюся на почвогрунты, как классификации Морозова и Крюденера. На ее основе впоследствии в отличие от изначально сугубо *экологического* сформировалось *фитоценологическое* направление лесной типологии Морозова — Крюденера.

Благодаря усилиям Г.Н. Высоцкого классификация Крюденера сохранилась в Украине как классификация Е.В. Алексеева, использовавшего разработки Крюденера после переезда из Петербурга в Киев и создавшего на их основе сокращенный вариант его классификации применительно к украинским лесам [6]. Алексеев начал также определение основного таксона типологии по типу леса. Ученик Высоцкого П.С. Погребняк [7], продолжая использовать подход Алексеева, преобразовал центральный фрагмент таблицы Крюденера в компактную классификационную модель в координатах четырех типов богатства (трофности) и шести типов увлажнения земель (табл. 1), получившую название *эдафической сетки* (от лат. edaphos — почва, земля), вскоре ставшую теоретической основой украинской школы лесной типологии. При этом Погребняк объединил кислоперегнойные и наземистые типы

Крюденера, переводя их в категорию вариантов — ацидифильных и кальциефильных. Горизонтальный ряд эдафической сетки получил название трофогенного, вертикальный — гигрогенного. Соответственно, отдельные звенья этих рядов названы *трофотопами* и *гигротопами*.

В связи с тем, что почвоведными-генетиками значение механического состава к тому времени было низведено только до показателя крупности фракций, а оценка по нему плодородия почв считалась ненаучной и устаревшей, Погребняк полностью перешел на определение плодородия **методом фитоиндикации** — по составу и продуктивности всех ярусов насаждений, использованным Крюденером [8].

Метод фитоиндикации весьма объективен. При огромном многообразии высших растений в природе нет двух видов, полностью тождественных по своим экологическим характеристикам [9]. При этом растения дают обобщенную, усредненную оценку экологических режимов, так как и любое сообщество, и отдельный индивид обладают значительной инерцией и отзываются только на продолжительные направленные изменения режимов, а не на их кратковременные и периодические пульсации. Особое значение имеют растения-индикаторы, наличие которых часто весьма невелико. Так, появление в покрове орляка, грушанки, земляники четко отделяет свежие суборы (B_2) от боров. Свежий бор (A_2) отличается от влажного (A_3) наличием чабреца, типчака, сырой (A_4) — появлением андромеды, сфагнома [10]. Это позволяет по составу, структуре и продуктивности естественной растительности оценивать качество и степень однородности среды с такой точностью, какую не могут обеспечить самые детальные обследования и самые совершенные приборы.

Шкала трофности

Шкала трофности эдафической сетки подразделена на четыре типа в зависимости от преобладания в составе всех ярусов растительности видов с разной требовательностью к условиям почвенного питания: **A. Бедные**, при господстве олиготрофов. Из древесных пород практически только сосна обыкновенная, причем даже в благоприятных условиях увлажнения пониженной продуктивности (II–III класс бонитета). Тип леса — **боры**. **B. Относительно бедные**, при значительно лучшем росте сосны (I–Ia класс бонитета) наличие второго яруса мезотрофов (ели — на севере, дуба — на юге). Тип леса — **суборы**. **C. Относительно богатые** в высокопродуктивных насаждениях сосны (Ia–Ib класс бонитета) со вторым ярусом ели и дуба удовлетворительного роста имеется третий ярус мезотрофов (липа,

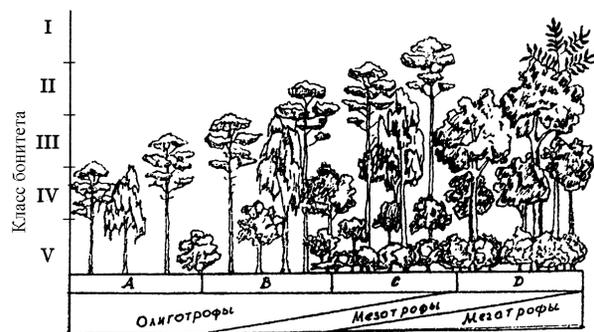
Т а б л и ц а 1

Сопряженная классификационная модель лесов и их местообитаний — эдафическая сетка Крюденера — Погребняка (с дополнениями автора)

The conjugate classification model of forests and their habitats — edaphic grid of Kruedener — Pogrebnyak (with additions of the author)

Типы леса		A Боры	B Суборы	C Сугрудки	D Груды*
Типы местообитаний — эдаптопы		Подтипы богатства — трофотопы			
		Бедные	Относительно бедные	Относительно богатые	Богатые
Подтипы влажности — гигротопы	0. Очень сухие	A_0	B_0	C_0	D_0
	1. Сухие	A_1	B_1	C_1	D_1
	2. Свежие	A_2	B_2	C_2	D_2
	3. Влажные	A_3	B_3	C_3	D_3
	4. Сырые	A_4	B_4	C_4	D_4
	5. Мокрые	A_5	B_5	C_5	D_5

Примечание. * — принят как таксон, объединяющий все леса на богатых землях.



Изменение состава, структуры и бонитета насаждений по мере повышения трофности местообитаний (в условиях достаточной обеспеченности влагой, Погребняк [12])

Changes in the composition, structure, and growth class of stands as habitat nutrient status increases (in conditions of sufficient moisture supply, Pogrebnyak [12])

лещина и др.). Тип леса — **сугрудки**. **D. Богатые**, в которых более теневыносливые мезо- и мезотрофы вытесняют светолюбивую сосну и становятся господствующими. Тип леса — **груды (рамени, дубравы и др.)**.

Такое выделение обеспечивает вполне определенное место в классификационной системе смешанным древостоям, образование которых связано с входжением требовательных древесных пород, в зависимости от богатства местообитаний, в разные ярусы насаждений (типы B и C, рисунок).

Т а б л и ц а 2
**Типы богатства (трофности) земель
 эдафической сетки**
 Types of wealth (nutrient status) of the land
 of the edaphic grid

Тип местообитания		Насаждение	Класс бонитета	Напочвенный покров
А. Бедные Боры	Пески	I. Сосна	II–III	Олиготрофы
В. Относительно бедные Субори	Супеси	I. Сосна II. Ель, дуб	I–Ia III–IV	Олиготрофы + мезотрофы
С. Относительно богатые Сугрудки	Пески и супеси, подстилаемые сугликами	I. Сосна II. Ель, дуб III. Липа, лещина	Ia–Ic II–III	Олиго-, мезо- и мегатрофы
Д. Богатые Груды	Суглинки, глины	I. Ель, дуб со спутниками Сосны нет	I–Ia	Только мегатрофы

В фитоценотической классификации выделяются только чистые древостои (сосняки, ельники) без учета среды. Смешанные двухъярусные насаждения понимают как временные, возникающие в процессе смены пород. Так, С.И. Коржинский [11] утверждал, что если под пологом светолюбивой породы поселяется теневыносливая, то она неминуемо вытеснит светолюбивую. В лесной типологии названные особенности роста разных древесных пород, давно известные в народе, приняты в качестве главного критерия при выделении основного классификационного таксона — типа насаждения. Определяющая роль механического состава почвогрунтов при таком разделении проявляется весьма четко (табл. 2). Напомним, что на протяжении XIX в. во многих странах Западной Европы почвы подразделяли на подобные четыре группы богатства — *ржаные* (песчаные), *овсяные* (суглинисто-песчаные), *ячменные* (песчано-суглинистые) и *пшеничные* (суглинистые). Это выделение утратило силу лишь после того, как на пашне начали интенсивно вносить удобрения.

Геоморфология

В зависимости от геоморфологических особенностей (наличия плакоров, террас, пойм), строения рельефа и водно-физических свойств почвогрунтов формируется шесть уровней увлажнения земель — от 0. *Очень сухие* до 4. *Сырые* и 5. *Мокрые*, — обуславливающих прежде всего разную продуктивность насаждений, в покрове — виды от ксерофитов (0) до гигрофитов (5). Земли, различные по богатству и увлажнению

образуют **24 типа местообитаний**, *эдатопа* (A₂. Бедные свежие, D₃. Богатые влажные и др.), плюс их подтипы (бедноватые, влажноватые), варианты (пойменные, кальциефильные, засоленные и др.), характеризующиеся строго определенным уровнем плодородия. К ним приурочены разнообразные *типы насаждений*, по которым исходно выделены типы местообитаний. Их единства представляют *типы леса*.

Типы леса в эдафической сетке представляют собой результат, продукт того или иного сочетания типа богатства (трофотопа) и типа влажности (гигротопы) местообитаний. *К разным типам относят относительно однородные внутри себя участки насаждений, различающиеся либо составом и структурой коренных древостоев (появлением или выпадением древесных пород, обладающих разной требовательностью к условиям среды, их переходом из подчиненных ярусов в верхний полог и наоборот), либо продуктивностью (как правило, на один класс бонитета).*

В принципиальном плане основные типологические таксоны — *тип местообитания* и *тип леса* — четко соответствуют экосистемному уровню дифференциации природы, поскольку ее разделяет высшая растительность, формируя на разных по плодородию участках различные типы сообществ — сухие и свежие боры и дубравы, влажные и сырые пойменные луга, травяные и сфагновые болота, сухие полынники, солончаковые пустоши.

В эдафической сетке учтены все земли, различающиеся по уровню богатства и увлажнения. В разных природных зонах различаются площади этих эдатов и их положение в рельефе. Так, свежий тип (2) в лесостепи распространен на плато (зональный), в лесной зоне — на южных склонах, в степи — в неглубоких понижениях. На севере отсутствуют сухие и богатые типы, на юге появляются засоленные (E — H) и особо сухие (–1, –2). Мы продолжили трофогенный ряд эдафической сетки, дополнив его четырьмя типами засоленных местообитаний — галотопами (hals — соль) — от E. Загрудовые слабозасоленные до H. Злостно-засоленные, как это уже предлагалось ранее некоторыми авторами. Такая сетка применима не только в лесной, но и в более засушенных зонах [13, 14].

Лесные типологи, вслед за Крюденером, оперируют не почвами и даже не почвогрунтами, а всем комплексом факторов, влияющих на рост насаждений. В расчет принимается приуроченность объектов к тем или иным геоморфологическим элементам, положение в рельефе, степень дренированности территории, уровень и проточность грунтовых вод. Этот комплекс факторов можно определить

Т а б л и ц а 3

Сопряженная классификационная модель типов климата и зональных типов леса Восточно-Европейской равнины (климатическая сетка)

The conjugate classification model of climate types and zonal forest types of the East European Plain (climate grid)

Климат	Зоны, подзоны	А. Относительно мягкий	В. Слабо-континентальный	С. Средне-континентальный
I. Крайне холодный	Лесотундра	Ia	Iв	Ic
II. Очень холодный	Северная тайга	IIa	IIв	IIc
III. Холодный	Средняя тайга	IIIa	IIIв	IIIc
IV. Относительно холодный	Южная тайга	IVa	IVв	IVc
V. Умеренный	Хвойно-широколиственная	Va	Vв	Vc
VI. Относительно умеренный	Широколиственная	VIa	VIв	VIc
VII. Относительно теплый	Лесостепь	VIIa	VIIв	VIIc

понятием «земли». В ботанике ему соответствуют термины «местообитания» и «эдатоны».

Позднее типологами были разработаны климатические сетки: Д.В. Воробьевым [15] — в координатах теплоты и влажности климата, Д.Д. Лавриненко [16] — в координатах теплоты и континентальности. В общепринятой на Украине климатической сетке Д.В. Воробьева в качестве основного таксона выделен **климат зональных эдатов** (местообитаний). Ни зоны тепла, ни зоны влажности не увязаны с зональностью лесов европейской части РФ, для которой составлена сетка (табл. 3).

Создавая новый вариант климатической сетки, мы положили в ее основу главный лесотипологический принцип — сопряженность лесов и их среды, в данном случае лесов и климата. Сетка построена в координатах **теплоты и континентальности климата**, как это предлагал П.С. Погребняк, первым выдвинувший идею создания климатической сетки. На вертикальной шкале сетки нанесены основные природные зоны и подзоны Восточно-Европейской равнины, представляющие главное свойство ее растительного покрова — **зональность**, и общая оценка климата этих зон, прежде всего уровень обеспеченности теплом: от I. Очень холодный в лесо-

тундре до VII. Относительно теплый в лесостепи (см. табл. 3).

Горизонтальная шкала климатической сетки отражает подразделение зон и подзон на области, различающиеся степенью континентальности климата. Типологи выделяют эти области по изменению зональных (приуроченных к суглинистым водоразделам) типов леса. **Территория, на которой представлен один зональный тип леса, принята как основной климатический таксон — тип климата (климатон) или климатическая область.** В качестве примера можно привести лесостепь, на западе которой зональные **грабовые дубравы**, к востоку, за Днепром, их сменяют **кленово-липовые**, а за Волгой **липовые дубравы**. За Уралом на смену **дубовой лесостепи** приходит **березовая**. В лесной зоне на западе произрастает ель европейская, в центре преобладает ель сибирская, на востоке появляется примесь западносибирских видов (кедра, пихты). Это служит основанием для выделения трех зональных типов климата (**от А. Относительно мягкий до С. Среднеконтинентальный**), определяемых по изменению зональных типов леса так же, как это принято при выделении типов местообитаний на эдафической сетке.

Климатические области или территории с одним типом климата — таксон, применяемый при разработке разнообразных районирований. На аналогичных по трофности и увлажнению землях в разных климатах произрастают различные по теплолюбию и морозоустойчивости виды, близкие по требовательности к пище и влаге; в частности, на богатых суглинистых землях (эдатоны D₂–D₄) **дубравы** в умеренном свежем климате (лесостепь), **бучины** — в мягком влажном (зона широколиственных лесов), **рамени** (сложные ельники) — во влажном холодном (тайга). На бедных песчаных землях разных зон господствует сосна (эдатоны A₁₋₅, B₁₋₅; боры, субори), что отражает одну из основных закономерностей природы Земли: **ее биоразнообразие расширяется в благоприятных почвенно-климатических условиях и становится минимальным — в экстремальных.**

При отсутствии растительности трофность местообитаний можно достаточно точно оценить по механическому составу и сложению почвогрунтов до глубины 1,0...1,5 м для травянистой растительности, 2...2,5 м — для широколиственных древесных пород и 3...3,5 м — для сосны в южных районах и до грунтовых вод — в северных, а также по степени минерализации грунтовых вод (ГВ), при их близком залегании. Водообеспеченность местообитаний в пределах разных зон обусловлена положением в рельефе. Ее хорошо отражает генетический тип почв, глубина весеннего промачивания, глубина залегания ГВ.

В Украине эти экологические (в единстве местообитаний и насаждений) принципы классификации лесов, получившие название классификации Алексева — Погребняка, широко используются в научных исследованиях и являются *теоретической базой* лесного хозяйства.

На протяжении многих лет мы вели сопряженное изучение лесов и всего комплекса их местообитаний — рельефа, почв, почвообразующих, а при залегании выше 3 м также подстилающих пород и грунтовых вод на огромной территории — от Закарпатья до Якутии и от Архангельска до Ашхабада. В результате обработки собранных материалов (более 1,5 тыс. пробных площадей) установлено, что трофность лесных местообитаний повсеместно определяют *наибольшие в пределах корнедоступного слоя* (для сосны до 3...3,5 м) *общие (валовые) количества* двух важнейших для жизнедеятельности растений элементов — *фосфора и калия*, исключая практически недоступный растениям калий кристаллических решеток полевых шпатов. 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) [17]. Количество азота в почвах обусловлено содержанием фосфора, необходимого для его фиксации из атмосферы [18].

Почвообразующие породы, соответственно, и почвы на них существенно различаются по содержанию этих элементов. В пределах природных зон, сформированных климатом, особенности растительности обусловлены наличием в почвогрунтах элементов питания и влаги: *от разных по составу лесов, степей и лугов из требовательных видов растений на богатых биоэлементами суглинистых почвогрунтах, особенно на лёссах, имеющих нейтральную реакцию, при которой биоэлементы наиболее доступны, а также на минерализованных грунтовых водах, до почти лишенных растительности перевеянных кварцевых песков (практически 100 % бесплодного кварца) и верховых сфагновых болот на ультрапресных дождевых водах и зарослей солероса на злостно-засоленных почвах*. Причем последний растет на них как в Присивашье, так и в Якутии.

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 «элементами жизни растений» назвал Г.Н. Вы-

соцкий [19]. Позднее два «космических» (тепло и свет) и два «земных» (пища и влага) фактора жизни растений выделил В.Р. Вильямс. Из типологов П.С. Погребняк неоднократно отмечал особую роль этих факторов для формирования разных типов леса. Однако ученые не оценивали их как лимитирующие жизнь. Между тем эти факторы представляют важнейшие составляющие плодородия среды и определяют все разнообразие природы нашей планеты. Тепло выступает в качестве ограничителя жизнедеятельности в приполярных областях и на высокогорьях, элементы питания — в тропических лесах, на грунтах легкого механического состава, 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, эдафическая — по увеличению запасов пищи и доступной влаги в почвогрунтах. Все они уже оценены типологами количественно. Сумма положительных средних месячных температур (сумма тепла) в холодном климате — 24...44°, в теплом — 124...144° [15]. В бедных типах местообитаний в пределах корнеобитаемого слоя количество валовых P_2O_5 и K_2O (без калия полевых шпатов) меньше 0,02 и 0,03 %, в богатых типах по всему профилю больше — 0,06 и 0,80 %. Количество доступной влаги в очень сухих типах местообитаний 150...200, во влажных — 400...500 мм [13, 20]. Высказывавшиеся в разные годы предложения включить свет в качестве классификационного параметра так и остались нереализованными, поскольку свет, поступая на Землю в огромном количестве, не лимитирует жизнедеятельность и продуктивность биоты, выступая в качестве ограничителя лишь по отношению к подчиненным ярусам растительного покрова. Засоленность четче всего отражает глубина залегания токсичных количеств хлора ($> 0,03 Cl^1$) и соды ($> 0,01 CO_3$) [21].

Проведенные нами исследования показали также, что координаты эдафической сетки (системы) — водо- и пищеобеспеченность местообитаний — интегрально отражают изменение *состава и строения (рельефа) грунтов, поверхностных отложений*, а также *глубин залегания, режима и минерализации грунтовых вод*, обуславливающих разнообразие *растительности и почв* в пределах однородных по климату территорий или их *внутризональное разнообразие*. Богатство почв биоэлементами зависит от их исходного

содержания в почвообразующих породах, от их химического (минерального) состава и в целом растёт по мере утяжеления их механического состава, а также от минерализации. Различия водообеспеченности почвогрунтов при одинаковом количестве атмосферных осадков внутри зон связаны с перераспределением влаги вследствие особенностей рельефа и механического состава поверхностных отложений, определяющих их водно-физические свойства, в частности водопроницаемость и водоудерживающую способность, а также с глубиной залегания и режимом ГВ. Шкала трофности эдафической сетки отражает утяжеление механического состава поверхностных отложений (А. Боры — пески, В. Субори — глинистые пески и супеси, С. Сугруды — супеси, неглубоко подстилаемые суглинками, D. Груды — суглинки и глины) и повышение минерализации ГВ, приводящее в конечном итоге к засолению почв, шкала гигрогенности — понижение рельефа и приближение к поверхности ГВ. Поэтому данная сетка может называться также *оро-петрографической* (оро — рельеф, петро — горная порода). Установлена очень большая роль широко распространенных внутрипочвенного и внутригрунтового стоков. С ними, в частности, связано формирование лесостепного ландшафта, в котором дубравы приурочены к местам концентрации этих стоков.

Единство климатопы и эдатопы формирует *эко-топ, тип среды*, в лесах — *тип лесорастительных условий* (ТЛУ), характеризующийся строго определенным содержанием и соотношением лимитированных экологических ресурсов — *тепла, влаги и пищи*. К каждому экотопу приурочен свой биоценоз (растительность, животный мир) и свои почвы, формирующие в единстве *экосистему*; в лесах — *тип леса*. Мы называем эту элементарную ячейку природы *биоэкосистемой* и определяем как *однородный по плодородию (экологически однородный) участок суши или мелководья вместе со сформировавшимся на нем в процессе длительной эволюции биоценозом, строго соответствующим по своим экологическим потребностям определенному уровню его плодородия и потому наиболее полно его использующим, самовосстанавливающимся после уничтожения стихийными и антропогенными факторами*.

Разработано удобное индексирование лесных экосистем, например III_dD₂ — Дкл-лп, т. е. относительно континентальный (III) умеренный (d) климат, богатое (D) свежее (2) местообитание, кленово-липовая дубрава (Дкл-лп) или сокращенно: свежая кленово-липовая дубрава центральной лесостепи Русской равнины.

Поскольку экосистемы, как на это первым указал Крюденер, слагаются из трех основных компонентов — климата, почвогрунтов и рас-

Т а б л и ц а 4

Классификационные таксоны лесных экосистем

Classification taxa of forest ecosystems

Единицы среды	Ведущие факторы	Единицы растительности
Климатоп (тип климата)	Теплота, увлажнение и континентальность климата	Зональный комплекс типов леса (биоценозов)
Эдатоп, геотоп (тип местообитания)	Богатство и водообеспеченность почвогрунта	Массивы типов-аналогов (боров, суборей, грудов) в разных зонах
Экотоп (тип среды, тип лесорастительных условий)	Сочетание климатопы и эдатопы	Тип насаждения, травостоя (коренные биоценозы) Тип древостоя, с.х. культур (производные и искусственные биоценозы)
Тип экосистемы (биоэкосистемы) — Тип леса, луга, степи коренной — экотоп + тип насаждения производной — экотоп + тип древостоя		

тительных сообществ — для их классификации целесообразно выделение таксонов (табл. 4).

Климатоп или **тип климата** — отражает уровень обеспеченности теплом (термотоп+контрастотоп) и объединяет территории, в пределах которых изменение климата существенно не проявляется в характере растительности. Объективным показателем такой однородности является **формирование одного типа леса (степи) на сушинках плакоров**. В соответствии с лесотипологическими принципами — это **территория однородная** (в пределах толерантности высших растений) **по плодородию** в условиях данного климата так же, как **типы местообитаний однородны по плодородию земель**.

Эдатоп, геотоп или тип местообитания, тип земель (трофотоп или галотоп + гигротоп) — отражают разнообразие состава и строения (рельефа) поверхностных отложений, определяющих их различное потенциальное плодородие внутри однородного в климатическом отношении региона, объединяют земли, близкие по трофности-засоленности (богатству биоэлементами, в первую очередь фосфором и калием, или количеству легкорастворимых солей — хлоридов, соды) и водообеспеченности (запасам доступной влаги).

Экотоп, тип среды, или тип условий произрастания, в приложении к лесной растительности ТЛУ представляет сочетание определенного типа климата и определенного типа местообитания (климатоп + эдатоп).

Тип биоценоза — основной таксон живого населения той или иной территории, по которому определяется объем экотопа, типа среды и всей экосистемы. Устанавливается по его главному компоненту — фитоценозу. В лесной типологии нет специального таксона для лесного фитоценоза. За термином «тип леса» прочно утвердилось понимание его как лесной экосистемы. Полагаем, что для ее растительной компоненты может быть восстановлен термин **«тип насаждения»**, широко применявшийся в «морозовский период».

Тип экосистемы (биоэкосистемы), тип леса — сочетание типа биоценоза (типа насаждения) и экотопа. В лесах экотоп — это ТЛУ, а тип насаждения — лесорастительный эффект этих условий.

Типы насаждений сопряжены с определенными типами поверхностных отложений, различающимися прежде всего механическим (гранулометрическим), а следовательно, и минеральным составом. Это — пески (тип А), глинистые пески и супеси (тип В), пески и супеси, подстилаемые суглинками (тип С), суглинки и глины (тип D), распространенные повсеместно в разных зонах, и во всех зонах на них произрастают сходные по трофности виды растений: от олиготрофов на бедных до требовательных мезо- и мегатрофов — на богатых отложениях, различающиеся теплолюбием и морозоустойчивостью. При этом их почвы существенно различаются генетически, что обусловлено преимущественно уровнем увлажнения.

Глобальная климатическая (географическая) сетка с вложенными в нее эдафическими (оро-петрографическими) сетками отдельных регионов, характеризующими их внутризональное разнообразие, представляет собой своеобразную **«периодическую систему» экосистем как элементарных ячеек природы**. Координатами такой эдафоклиматической сетки являются главные **абиотические факторы — климат, поверхностные отложения и грунтовые воды**, их лимитирующие жизнь параметры, зависимиыми переменными — **биотические и биокосные — растительность, животные, почвы**. Одинаковые типы экосистем, как следует из этой классификации, формируются в одном климате на близких по потенциальному плодородию (биологически равноценных) поверхностных отложениях. Такая модель экологически оценивает среду, ее пригодность для жизни, и прежде всего для произрастания растительности.

Так, лесоводами-типологами еще в начале XX в. была установлена очень важная географическая закономерность, а именно: поверхностные отложения суши на Земле разного минерального состава обладают определенным уровнем потен-

циального плодородия, который проявляется в характере приуроченной к ним растительности повсеместно, в разных зонах, нередко перекрывая роль климата.

Пестрота поверхностных отложений не беспорядочна, а представляет собой закономерно повторяющееся на определенной территории чередование то более близких, то более контрастных местоположений и местообитаний, к которым приурочены родственные растительные сообщества — сухие и свежие боры, свежие и влажные луга, сырые и мокрые ольсы (ольшаники) и т. п. Такие комплексы типов, создавая разные по площади массивы сходных сообществ, которые Крюденер называл «семействами» типов — нагорные дубравы, боры на песчаных террасах рек, заливные луга, сфагновые болота — являются наиболее типичными составляющими природы, соответствующими тому, что автор термина «экосистема» А. Тэнсли вкладывал в это понятие, назвав их **«основными единицами природы»**. Полагаем, что определение «сложные экосистемы», в отличие от «элементарных» или просто «экосистем», по отношению к таким компактно расположенным на местности родственными сообществам, обычно достаточно четко отграниченным, в наибольшей степени отвечает сути этого понятия. На наш взгляд, их можно определить как **типы природы**. В этом случае элементарные экосистемы (свежая дубово-сосновая суборь, влажный белоусовый луг) можно квалифицировать как ее **виды**.

Термин «сетка» не соответствует огромному объему сведений, которые в них содержатся. Предположительно для таких серьезных классификационных построений более подходит определение **«сопряженные классификационные модели»**. Вместе эти модели мы называем **«лесотипологической классификационной системой»**.

Разработанный А.А. Крюденером принцип систематизации лесов по нарастанию плодородия их местообитаний, их обеспеченности лимитированными экологическими ресурсами — теплом, влагой и пищей — основополагающий не только для лесной типологии, но в целом для понимания закономерностей взаимосвязей между живой и неорганической природой, поскольку эти ресурсы определяют уровень биоразнообразия, состав, структуру и продуктивность всего живого на нашей планете. Наибольшие продуктивность и видовое разнообразие, с преобладанием самых требовательных видов, наблюдается при оптимальном соотношении этих ресурсов. При недостатке или избытке хотя бы одного из них разнообразие и продуктивность биоты резко снижаются, а с определенного этапа жизнь вообще становится невозможной.

Т а б л и ц а 5

**Совмещенная классификационная система (эдафическая сетка) лугов
Погребняка — Раменского и наиболее характерные виды растений разных типов
(пойма среднего течения р. Северский Донец)**

**Combined classification system (edaphic grid) of the Pogrebnyak — Ramensky meadows and the most characteristic
types of plants of different types (floodplain of the middle course of the Seversky Donets river)**

Гигротопы по Погребняку, типы почв	Трофотопы, по Погребняку				Типы увлажнения по Раменскому и их баллы
	В. Относительно бедные	С. Относительно богатые	Д. Богатые	Е. Слабозасоленные	
2. Свежие Дерновые и дерново-луговые	В ₂ . Кострец безостый, цмин песчаный	С ₂ . Мятлик, лисохвост и овсяница луговые	Д ₂ . Кострец безостый, пырей ползучий, лисохвост луговой, ежа сборная	Е ₂ . Кермек донецкий, типчак, василек луговой	Свежелуговое 53...63
3. Влажные Луговые и черноземовидно-луговые	В ₃ . Типчак, василек песчаный, кострец безостый	С ₃ . Полевица собачья, кострец безостый, клевер луговой	Д ₃ . Мятлик, лисохвост, тимофеевка луговые, клевер луговой	Е ₃ . Кермек донецкий, типчак, девясил иволистный	Влажнолуговое 64...70
4. Сырые Лугово-болотные	В ₄	С ₄ . Тростник обыкновенный, полевица гигантская, ситник Жерара	Д ₄ . Овсяница и мятлик луговые, ежа сборная, осока острая, манник плавающий	Е ₄	Влажносыро-луговое 71...76
Типы и баллы богатства-засоленности по Раменскому					
—	Бедные 4...9	Довольно богатые 10...13	Богатые 14...16	Слабосолончаковые 17...19	—

Весьма примечательно, что практически полностью аналогичные приемы изучения и классификации лугов предложил крупный геоботаник Л.Г. Раменский [9, 22]. Это особенно убедительно выявляется в классификации лугов, опубликованной в его посмертной работе [23], которая очень легко и полно сопрягается с эдафической сеткой Крюденера — Погребняка (табл. 5).

Раменский неуклонно отстаивал и обосновывал ведущую роль среды, экологических факторов в жизни растений. В процессе многолетних исследований, завершившихся экологической характеристикой более 1,5 тыс. видов растений, прежде всего луговых, ученый предложил классификацию лугов в координатах богатства и увлажненности их местообитаний. Уникальность случая, когда представители разных научных направлений пришли к практически полностью тождественным выводам и обобщениям. Близость не только сути, но и судьбы разработок лесных типологов и геоботаника-луговеда объясняется тем, что Раменский и лесоводы-типологи признавали ведущую роль среды в жизни растений и использовали для ее оценки метод фитоиндикации. К сожалению, исключительно перспективные обобщения Л.Г. Раменского, так же, как и принципы и методы экологической школы лесной типологии, до сих пор не получили широкого признания у научной общественности. Однако то, что представителями разных наук — лесоводами

и геоботаником — разработаны практически тождественные принципы классификации экосистем свидетельствует о том, что эти принципы намечают правильный, а возможно и единственный путь решения этой проблемы.

Известно, что наука о растениях — ботаника — является одним из древнейших отделов естествознания. Однако на протяжении более полуторатысячелетней истории ее развития (после первых натуралистов Древней Греции) внимание исследователей концентрировалось на изучении отдельных представителей растительного мира, особенностей их строения, роста и развития, т. е. ограничивалось *«организменным» уровнем*, без связи со средой обитания. При этом в буквальном смысле *за деревьями не видели леса*. Между тем «отец» ботаники Теофраст (III в. до н. э.) утверждал, что главное для растения — *«место»*. От него, по-видимому, возникло «место обитания», трансформировавшееся в последующем в современное *«местообитание»*. В новое время сложившийся стереотип изучения растительности взломал выдающийся немецкий естествоиспытатель *Александр Гумбольдт*. Впервые после античных мыслителей он дал целостную картину мира в его единстве и взаимообусловленности. Ученый выделил различные жизненные формы растений (деревья, кустарники, травы, эфемеры) и описал основные растительные формации Земли (леса, саванны, степи, пустыни), увязав их распространение

с климатом и создав тем самым не только учение о горизонтальной и вертикальной зональности растительности, но и новую научную дисциплину — *ботаническую географию* (1807, 1845).

Геоботаника

Следующим этапом было становление *геоботаники* — науки о связях растительности с землей, прежде всего с почвами. Термин «геоботаника» предложен в середине XIX в. Ф.И. Рупрехтом. Примечательно, что наряду с выполнением большого объема работ по изучению растительности разных регионов России во взаимосвязи с их геологией и многолетним руководством Центральным ботаническим музеем Академии наук, Рупрехт выдвинул гипотезу «растительно-наземного» происхождения черноземов [24] в противовес господствовавшим в тот период морской и болотной гипотезам, а В.В. Докучаев, начиная работы по изучению почв с черноземов, обосновал их гипотезой Рупрехта. Он обобщил эти работы в монографии «Русский чернозем», признанной началом новой науки о почвах — генетического почвоведения. Докучаев при классификации почв использовал также термины Рупрехта — «растительно-наземные», «сухопутно-болотные».

Крупными геоботаниками на рубеже XIX–XX вв. в России были Г.И. Танфильев, А.Н. Краснов, Г.Н. Высоцкий, А.Я. Гордягин, Б.А. Келлер. А.Н. Краснов определил геоботанику как «учение о зависимости между характером ботанических формаций растительного царства и жизнью и историей горных пород, служащих этим формациям почвою», мы бы сказали, «из которых они создают почвы». В результате проведенных исследований было выявлено наличие тесной взаимосвязи между различными видами организмов и между организмами и средой, что послужило основанием воспринимать природу в гармонии формирующих ее компонентов [25].

Развивая свое эволюционное учение, Ч. Дарвин выдвинул в качестве основной движущей силы поступательного развития природы совершенно новый фактор, а именно борьбу за существование между различными видами и разными особями внутри одного вида и выживание в процессе естественного отбора наиболее приспособленных. Одним из первых против этих идей выступил В.В. Докучаев, утверждавший, что в мире господствует не только закон великого Дарвина, но и другой закон — закон любви, содружества и сопомощи [26]. Обращаясь к сформулированным Докучаевым положениям о ведущей роли содружества и взаимопомощи в природе, можно трактовать преобладание в ней сложных, а не чистых сообществ, *не вынужденным приспособлением разных видов друг к другу, а отбором* в процес-

се эволюционного развития *видов, способных к тесному сотрудничеству*, цель которого — максимальное освоение ресурсов среды.

Это — генеральная стратегия всего живого на Земле, стратегия жизни любого сообщества, основа достижения им возможно большей устойчивости как единого целого. Тесную упаковку, определенную скученность растений в сообществах в таком случае можно объяснять не как конкуренцию, а как результат «притирания», пригнанности видов друг к другу. Каждый вид и каждая особь при этом уступают часть своей ниши экологически близким видам в качестве своего рода страховки на случай выпадения каких-то видов и, главное, на случай появления избытка ресурсов (чаще всего влаги после сильных дождей). Этот избыток не мог бы быть потреблен, если бы численность растений в сообществе точно соответствовала средним количествам того или иного ресурса, не имела бы определенного запаса потенциальных возможностей. Каждый индивид в сообществе, таким образом, не использует часть своего потенциала, от чего сообщество в целом выигрывает. На это в начале XX в. обратил внимание И.К. Пачоский, утверждавший, что *«в основе растительного сообщества заложен принцип, имеющий в виду выгоду целого, а не составляющих его элементов»* [27]. Поэтому деревья подчиненных классов роста (III–V классы Крафта) рассматриваются нами не как подавляемые деревьями господствующих классов, а как заполняющие просветы в их пологе. Это позволяет значительно увеличить его общую поверхность, обращенную к свету.

Однако под влиянием идей великого Дарвина, ломавших все прежние представления о развитии жизни на Земле, в биологии произошло определенное смещение акцентов. Даже тот, кто вначале воспринимал его теорию в штыки, в дальнейшем придал ей настолько универсальный характер, что все взаимоотношения между организмами стали сводить к борьбе между ними за место под Солнцем и выживание наиболее сильных, наиболее конкурентоспособных. При этом существенно снижалось значение среды обитания.

Одним из первых проводников этого направления в России был С.И. Коржинский, выступивший с идеей о лесе как наиболее мощной растительной формации, которая теснит степь даже при неизменных климатических условиях и разрушает созданные ею богатые черноземные почвы (1888). Затем в его развитие включился И.К. Пачоский, предложивший выделить изучение «социальных» отношений внутри растительных сообществ в особый раздел ботаники — *фитосоциологию* [27]. Вскоре такое направление оформилось и его возглавил В.Н. Сукачев. На протяжении не-

скольких десятилетий он, его сотрудники и соратники в процессе полевых исследований в разных регионах РФ и путем постановки специальных экспериментов пытались доказать главенствующую роль конкурентных отношений в строении и эволюции растительного покрова, при которых более сильные особи и сообщества подавляют и вытесняют слабые. Довольно скоро эта школа заняла лидирующие позиции как фитоценологическое направление в лесной типологии.

Под влиянием этих идей традиционная геоботаника из науки о взаимосвязях растительности с землей, почвами, трансформировалась в фитоценологию, науку о взаимосвязях биоты внутри растительных сообществ [28, 29]. И такое положение сохраняется уже многие годы. Между тем вследствие прикрепленного образа жизни растительность очень тесно привязана к земле. Поскольку поверхностные отложения нашей планеты весьма разнообразны, в течение продолжающейся миллионы лет эволюции сформировались группы растений, способные устойчиво произрастать на разных по обеспеченности элементами питания и влагой почвогрунтах (олиго- и мегатрофы, ксеро- и гигрофиты). В связи с тем, что растения не способны активно перемещаться и подыскивать подходящую им среду, попадая на непригодные для них местообитания, они гибнут. С этим связано присущее растительности обильное плодоношение и механизмы широкого распространения семян. Очень жестко обусловлены почвогрунтами и все другие особенности морфологического строения и функционирования растений.

Среда, как основное, первичное условие существования организмов, понятие сугубо экологическое. Она не существует без живого. В этом случае это уже не среда. Что же касается биоты, то ее жизнь без среды абсолютно невозможна. Растения создают себя из среды — из углекислого газа воздуха, воды и зольных элементов, потребляемых из почвы. Из этих неорганических соединений в процессе фотосинтеза образуется новое органическое вещество, обеспечивающее бесконечность жизни. Стратегия растений — возможно более полное освоение всех доступных для жизни территорий (природа не терпит пустоты) и потребление всех имеющихся на них ресурсов, предел которому ставит ресурс, находящийся в первом минимуме. Чаще всего им бывает влага и такие элементы, как азот, фосфор, калий и кальций. Строение и все физиологические функции растений направлены на то, чтобы возможно полнее осуществить эту свою миссию на Земле.

С таких позиций находит объяснение наличие у древесных растений высокого прочного ствола, необходимого для потребления доступной влаги там, где имеются ее значительные количества.

Именно в процессе эволюции в таких благоприятных условиях сформировались наиболее крупные растения с мощным одревесневшим многолетним стволом, поскольку только такое строение позволяет *создавать, поддерживать и легко воспроизводить огромный ассимиляционный аппарат*, способный потреблять всю имеющуюся влагу. Этому же служат длительный, а там, где возможно, и непрерывный ход вегетации (в тропических лесах) и наличие вечнозеленых форм, в том числе на севере (в тайге), где вследствие короткого вегетационного периода при ежегодном обновлении ассимиляционного аппарата насаждения не успевали бы использовать всю влагу.

Необходимость потребления больших количеств воды определяет особенности строения корневых систем растений, в том числе древесных. Как известно, чем суше местообитание, тем большую корневую систему формируют растения. В сухих степях и пустынях масса корней достигает 70...80 % всей биомассы. У деревьев она значительно меньше, всего 18...25 %. Это значит, что в условиях обильного увлажнения корни растений способны перекачивать из почвы огромные массы воды.

Исключительная роль влаги в жизни растений приводит к тому, что их различные жизненные формы связаны не только с общим количеством влаги, поступающим с атмосферными осадками, но и с их распределением по сезонам года. На территориях с большим количеством атмосферных осадков при отсутствии сухих периодов произрастают вечнозеленые леса, при непродолжительном сухом периоде — жестколистные леса. При длительном засушливом периоде леса уступают место лесостепям и саваннам. На Восточно-Европейской равнине лес уступает место степям ввиду возрастания к югу засушливости климата, вследствие чего во вторую половину вегетации в почвах исчерпывается вся доступная влага. Травянистая растительность в этот период прекращает вегетацию.

Огромное значение в жизни растений имеют ГВ при их залегании на корнедоступной глубине. По таким позициям — по поймам рек — леса проникают далеко на юг, в том числе в пустыни (тугайные леса). В замкнутых понижениях на водоразделах, когда грунтовые воды не имеют стока, формируются верховые болота, для которых характерны резкие перепады глубин залегания ГВ от весны к осени и бедность элементами питания (сфагновые болота).

В результате многолетних исследований нами было выявлено довольно широко распространенные в природе *внутрипочвенный* и *внутригрунтовый стоки*. В местах их концентрации на корнедоступной глубине постоянно поддержива-

ется оптимальный для древесной растительности водный режим, исключающий периоды истощения доступной влаги. Этим обусловлено 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 Санкт-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 пушча.

Большой сложностью для растений является извлечение зольных элементов из почвы. С этим связаны огромные массы воды, затрачиваемые растительностью на транспирацию. Мы рассматриваем ее как своеобразный насос, пассивное «сердце» растительного организма. Как сердце «перегоняет» кровь в живом организме, так огромная всасывающая сила, возникающая в процессе интенсивного расходования влаги на транспирацию, обеспечивает засасывание корнями растений, не имеющими для этого никаких специальных органов (типа устьиц в листьях), и подтягивание ко всем клеткам растения на высоту до 20...40 и даже 100 м, против силы тяжести, почвенных растворов, представляющих своего рода аналог крови животных. Содержащиеся в этих растворах макро- и микроэлементы являются обязательными компонентами фотосинтетического аппарата, обеспечивающими главное действие, совершающееся в растениях, а именно: превращение лучистой энергии Солнца в энергию химических связей органических веществ, трансформацию простых неорганических соединений в живое вещество.

Трансформация геоботаники из науки о взаимосвязях и взаимообусловленности растений с почвогрунтами в фитоценологию, науку о взаимоотношениях между растениями внутри сообществ, не позволяет выявить и понять многие стороны жизнедеятельности растений. К этому нужно добавить и тот факт, что и взаимосвязи между растениями, как на это обратил внимание Л.Г. Раменский [9], в значительной мере совершаются через почву. Организмы, и в первую очередь растения, влияют друг на друга главным образом через изменение ими условий среды. Нет конкуренции вообще, а есть упреждение во времени и развитии, преимущества в полноте использования ресурсов среды (воды, пищи), преимущества в

энергии роста и развития, большая устойчивость к различным неблагоприятным условиям, вредителям, болезням и т. д. [9, с. 145].

Как следует из приведенного выше, лесная типология очень объективно оценила и систематизировала огромный пласт сведений об обусловленности растительности средой. В ее классификационной модели — эдафической сетке, построенной в координатах двух основных факторов плодородия почв, — обеспеченности элементами питания (трофности) и увлажнения, размещаются в единстве почвы разного плодородия и виды растений, произрастающих на них. Эдафические сетки систематизируют разнообразие растительности внутри однородных по климату территорий, их внутризональное разнообразие, обусловленное прежде всего особенностями почвенно-грунтовых условий.

Проблема восстановления и сохранения биологического разнообразия природы рассматривается многие последние годы как одна из наиболее актуальных. Однако основным направлением ее разработки являются мероприятия по достижению возможно большей численности видов высших растений и других организмов на разных объектах. При этом остается без ответа вопрос о том, сколько и каких видов могут устойчиво сосуществовать в тех или иных условиях среды и, соответственно, какое их количество можно считать оптимальным.

Биоразнообразие природы жестко обусловлено *плодородием среды*, ее климатом и почвогрунтами, прежде всего количеством и режимом поступления трех основных *лимитированных экологических ресурсов — тепла, влаги и пищи*. Поэтому численность видов растений на разных местообитаниях различается весьма существенно — от нескольких десятков на бедных сухих песках и двух видов деревьев в резкоконтинентальных условиях Якутии до многих сотен — на богатых оптимально увлажненных землях в условиях мягкого теплого климата.

Лесотипологическая классификационная система — *эдафоклиматическая сетка* построена в координатах этих трех экологических факторов (климатическая, зональная — в координатах тепла и атмосферных осадков, эдафическая, внутризональная — в координатах пищи и влаги в почвогрунтах). Эдафоклиматическая сетка с местообитаниями четырех групп трофности и шести уровней увлажнения отражает разнообразие разных природных зон (А — бедные, в основном песчаные, В-С — супесчаные, слоистые, D — богатые, суглинистые; 0 — сухие, возвышенные, 5 — пониженные, заболоченные). В разных зонах различаются площади этих трофо- и гигротопов. Поэтому данная сетка представляет основу, ко-

торая может обеспечить возможность получения строгих количественных параметров биоразнообразия, характерного для того или иного объекта. **Метод фитоиндикации** позволяет достаточно достоверно оценивать уровень обеспеченности среды названными ресурсами. Никакие другие научные направления не опираются на плодородие среды и поэтому не могут решить поставленную задачу.

Следует обратить внимание на неправомерность широко распространенного оборота «требования, предъявляемые тем или другим организмом среде». Действительно, организмы никаких требований к среде не предъявляют и не могут предъявлять, они просто выживают там, где есть соответствующие для этого условия среды.

В науке давно утвердился предложенный Э. Кантом и поддержанный другими философами принцип классификации объектов по их «внутренним», присущим самим этим объектам свойствам: растительность — по признакам растений, почвы — по свойствам и т. д. При этом различные науки используют в своих классификациях разнообразные свойства своих объектов. Растения систематизируются по особенностям строения репродуктивных органов, почвы — по генезису, горные породы — по минералогическому составу и т. д. Совместить, состыковать подобные классификации не только трудно, но и невозможно. В этих условиях проблема систематизации сложных природных объектов, таких, как экосистемы, представляется очень трудно реализуемой.

Весьма совершенным опытом решения проблемы являются разработки лесоводов-типологов. Учение о типах насаждений создавалось лесоводами как естественно-научная классификационная система лесов. В основу объединения лесов в типы Г.Ф. Морозов положил принцип единства условий их произрастания, в первую очередь единство почвенно-грунтовых условий [2]. Разделение климата и почв на типы не по их «внутренним» свойствам, а по изменению характера произрастающей на них растительности, которую А.А. Крюденер [5] принял за главный критерий, как мерило качества среды, позволило ему увязать воедино абиотическую и живую природу и составить их единую сопряженную классификацию.

Фитоценологи, и в первую очередь Сукачев, под влиянием критики в адрес этого направления со стороны представителей философской науки, считающих социальные отношения присущими только человеческому обществу, и украинских типологов, прежде всего Погребняка, постепенно переводил свое учение через **фито-**, **био-** и, наконец, **биогеоценологию** на экологические основы, к признанию ведущей роли среды в жизни растений, определению типа леса как **биогеоценоза**

(единства насаждения и его среды) и к организации серии биогеоценологических стационаров для изучения взаимосвязей леса и среды. По результатам этих исследований предполагалось разработать биогеоценологическую классификацию лесов, построенную на учете материально-энергетического обмена в биогеоценозах. Однако методов его изучения пока нет.

Главный постулат украинской школы лесной типологии, воспринятый через Морозова и Крюденера от народа, а именно **единство типа среды и типа леса, их одинаковый объем**, не был взят на вооружение ни Сукачевым, ни его последователями. При изучении разных экологических факторов фитоценологи пользуются методологией и классификациями, принятыми в соответствующих частных науках, а их далеко не всегда можно совместить. Поэтому хотя представители этой школы и накопили большой материал по характеристике разных сторон взаимодействия лесной растительности со средой, их классификация типов леса по-прежнему основывается на доминантах древостоя и травяного покрова, т. е. остается фитоценологической, не опирающейся на среду. Между тем в классификации Каяндера [30, 31] за основу принималось выделение биологически равноценных земель.

Но такие суждения, в частности, Б.М. Миркина [32], настойчиво убеждающего при комплексных почвенно-геоботанических обследованиях почвоведов и геоботаников картировать и классифицировать свои объекты, не контактируя друг с другом, поскольку это ведет к появлению «теорий» о тесной сопряженности растительности и почв, могут вызывать только недоумение.

Назовем главные, на наш взгляд, закономерности взаимосвязей между живой и неорганической природой.

1. Жесткая, буквально «железная» обусловленность живого условиями абиотической среды, что связано с очень ограниченным интервалом условий, в которых жизнь может возникнуть и устойчиво существовать. Одно из фундаментальных свойств живой природы — цикличность большинства происходящих в ней процессов, обусловленная изменением среды.

2. Определяющая роль жизненно необходимых факторов, особенно тех, количество которых ограничивает жизнь.

3. Стратегия органической материи заключается в возможно более совершенном приспособлении к среде и в наиболее полном освоении ее экологических ресурсов. Одним из основных приемов адаптации высших растений к среде является их строение, габитус. Особенно четко формообразующая роль среды проявляется в условиях разной обеспеченности влагой.

4. Основная форма приспособления биоты к возможно более полному потреблению ресурсов среды — создание огромного многообразия живых организмов, различающихся по своим экологическим потребностям и приемам их удовлетворения.

5. Нацеленность живого на максимально полное освоение имеющихся экологических ресурсов — плодородия среды в широком смысле — обуславливает тот факт, что эволюция органической жизни идет в направлении возможно более тесного приспособления каждого отдельного вида к среде и к совместному с другими видами освоению ее ресурсов.

6. В результате взаимодействия биоценозов и среды формирование их единства — биоэкосистем, открытых динамических природных систем, пронизанных бесчисленным количеством взаимосвязей.

7. Устойчивость, т. е. способность выдерживать изменения, вызываемые извне, и восстанавливаться после них, как главное свойство природных биоэкосистем.

8. Присущие большинству видов живого массовое размножение и воспроизводство значительно большего количества особей, чем это позволяют имеющиеся экологические ресурсы и процессы последующего естественного отпада или вытеснения части ослабленных особей, а в исторической перспективе и менее приспособленных видов по мере исчерпания того или другого ресурса — как основной механизм, обеспечивающий стабильность не только отдельных экосистем, но и жизни на планете в целом.

9. Способность влиять на среду своего обитания, изменяя и приспособляя ее в благоприятном для своей жизнедеятельности направлении, как один из механизмов достижения устойчивости. Однако эти возможности весьма ограничены.

Произошедшая трансформация геоботаники в фитоценологию не уникальна. Мы уже отмечали, что сформировавшаяся в 1920-х гг. фитоценологическая школа лесной типологии В.Н. Сукачева полностью вытеснила в России экологическую типологию Морозова — Крюденера, и нам пришлось приложить немалые усилия, для того чтобы вернуть из забвения имя создателя экологической классификации лесов [33].

Что-то подобное произошло и в отечественном почвоведении. Последователи В.В. Докучаева так увлеклись его идеями о почве как особом природном теле, отраженном в ее морфологическом строении (чернозем, подзолистые и серые лесные почвы и др.), что признали устаревшими и ненаучными все накопленные на протяжении многих веков знания о почвах как среде обитания растений, при которых почвы изучались в свя-

зи с произрастающей на них растительностью. А эти знания свидетельствуют об определяющем значении для плодородия почв не их морфологии, а состава, наследуемого от исходных почвообразующих пород (лёссы, пески), обуславливающего многие особенности почв, в том числе количество в них элементов питания, хорошо отражаемого их механическим составом.

Н.М. Сибирцев, ближайший соратник В.В. Докучаева, утверждал, что только вместе эти два направления могут составить цельное естественно-научное почвоведение. Однако почвоведы новой генетической школы отказались от полученных ранее данных, в том числе от оценки плодородия почв по их механическому составу (чем легче механический состав почв, чем больше в них песка, тем меньше в них элементов питания растений). Это очень затруднило поиск ответов на вопросы, связанные с использованием почв как основного объема сельскохозяйственного производства.

Единственными, кто продолжает прежнее направление изучения почв, являются лесные типологи экологической школы. Их работы подтверждают многие положения догенетического почвоведения и прежде всего определяющую роль *состава* (механического, а значит, и минерального, химического) для роста растений, а не их строения, морфологии. Однако это направление, созданное более 100 лет назад, многие годы существует на уровне региональной лесоводственной школы, хотя его разработки представляют безусловный интерес для многих естественных наук. Одной из причин этого является давно сложившаяся в научных периодических изданиях практика, отсутствия свободного обмена мнениями, дискуссий, и все работы, излагающие материалы, идущие вразрез с общепринятыми на данный момент положениями, просто отклоняются.

Мы много думали над тем, как восстановить приоритет отечественных лесоводов в обосновании экосистемного строения природы. Однако согласно Д.И. Менделееву, автором открытия является не тот, кто его первым обнаружил, а тот, кто его обосновал и сделал достижением научной общественности. Отечественные лесоводы восприняли понимание народом жесткой связи растительности со средой. А.А. Крюденер положил его в основу своей сопряженной классификации лесов и почвогрунтов [5]. Однако лесоводы не обосновали понимание этой связи как одного из основных законов природы, хотя были очень близки к этому. А далее классификация Крюденера была изъята из употребления, и в конечном итоге его идеи и разработки, в том числе и понимание таксона «тип насаждения» как экосистемы, были полностью забыты. И только нами, в связи с желанием восстановить авторство лесотипологи-

ческой классификации, можно сказать, случайно, было восстановлено и понимание экосистемной сути классификации Крюденера. Напомним, что с момента создания этой классификации прошло 100 лет, и нет гарантии, что этот факт получит широкое признание. Доработанная классификация Крюденера в видоизмененном виде, при этом авторе, более 70 лет применяется на Украине, давно став теоретической основой научного лесоводства и лесохозяйственного производства. К сожалению, на экосистемной сущности этой классификации внимание долго не акцентировалось. Напомним, что на протяжении многих лет ее очень жестко критиковали отечественные ботаники, прежде всего В.Н. Сукачев, за то, что она основана не на признаках собственно растительных сообществ, а на их среде.

Время все ставит на свои места. Полагаем, что отечественным ботаникам и экологам нужно не только широко использовать классификационные разработки П.С. Погребняка [7, 12] и Л.Г. Раменского [22, 23], но и выступить с обоснованием приоритетности этих первых подлинно экологических (в единстве растительности и среды) классификаций, развивших и усовершенствовавших пионерные разработки А.А. Крюденера, впервые в мировой истории обосновавшего экосистемное строение природы и создавшего первую классификацию лесов как экосистем. Поэтому мы называем эдафическую сетку, систематизирующую леса по нарастанию плодородия среды, в координатах увеличения в них количества пищи и влаги, оцениваемых методом фитоиндикации, классификационной моделью типов леса или лесных экосистем Крюденера — Погребняка. Существенный вклад в создание этой классификации внесли работы Г.Ф. Морозова, Е.В. Алексева, Г.Н. Высоцкого, Д.В. Воробьева, А. Гумбольдта, В.В. Докучаева, В.Н. Сукачева [2, 6, 15, 33–38].

Принятые в ботанике определения «сосняки», «дубняки» и др. характеризуют растительность без учета среды, причем в основном чистые древостой. Особенно важно обоснование понятия *экотоп* или *тип среды*, как единства типа климата и типа местообитаний. **Природная экосистема представляет собой единство, равенство биопотенциала среды и биопродукции, которая ею создается.**

По нашему мнению, использование ботаниками и экологами принципов лесной типологии может значительно повысить обоснованность создаваемых ими разработок. Можно также порекомендовать назвать академическую науку о взаимосвязях биоты и среды *биоэкологией*, отдав название «*экология*» прикладной науке о среде и ее охране, тем более что она им уже очень прочно завладела.

Список литературы

- [1] Tansley A.G. The use and abuse of vegetation concepts and terms // Ecology, 1935, v. 16, no. 3.
- [2] Морозов Г.Ф. О типах насаждений и их значении в лесоводстве // Лесной журнал, 1904. Вып. 1. С. 6–25.
- [3] Морозов Г.Ф. Основания учения о леса. Симферополь, 1920. 137 с.
- [4] Морозов Г.Ф. Исследование лесов Воронежской губернии // Лесной журнал, 1913. Вып. 3, 4. С. 463–481.
- [5] Крюденер А.А. Основы классификации типов насаждений и их народнохозяйственное значение в обиходе страны. Петроград, 1916–1917. Ч. I–I. 318 с.
- [6] Высоцкий Г.Н. Биологические, почвенные и фенологические наблюдения и исследования в Велико-Анадолу. 1901–1902 // Избр. соч. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 159–497.
- [7] Погребняк П.С. Основи типологічної класифікації та методика складати її // Сер. наук. вид. ВНДЛГА. Харків: ВНДЛГА, 1931. Вип. 10. С. 180–189.
- [8] Крюденер А.А. Опыт группировки почвенного покрова в связи с местоположением, почвою, инсоляцией и возобновлением под пологом и на лесосеках // Лесн. журнал, 1903. Вып. 6. С. 1430–1468.
- [9] Раменский Л.Г. О некоторых принципиальных положениях современной геоботаники // Ботанический журн., 1952. Т. 37. № 2. С. 181–201.
- [10] Воробьев Д.В. Типы лесов европейской части СССР. Киев: АН УССР, 1953. 450 с.
- [11] Иванов И.В. История отечественного почвоведения. Кн. I. 1870–1947 гг. М.: Наука, 2003. 397 с.
- [12] Погребняк П.С. Основы лесной типологии. Киев: АН УССР, 1955. 456 с.
- [13] Мигунова Е.С. Леса и лесные земли (количественная оценка взаимосвязей). М.: Экология, 1993. 364 с.
- [14] Мигунова Е.С. Типы леса и типы природы. Экологические взаимосвязи. Saarbücken: Palmarium Academic Publishing, 2014. 295 с.
- [15] Воробьев Д.В. Лесотипологическая классификация климатов // Тр. Харьковского СХИ, 1961. Т. 30; 1972. 169 с.
- [16] Лавриненко Д.Д. Основы лесной экологии. Киев: УСХА, 1978. 35 с.
- [17] Гинзбург К.Е. Методы определения фосфора в почвах // Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 118 с.
- [18] Пошон Ж. де Баржак. Почвенная микробиология. М.: Иностраниздат, 1960. 438 с.
- [19] Высоцкий Г.Н. О карте типов местопроизрастаний // Современные вопросы русского сельского хозяйства. СПб, 1904. С. 81–94.
- [20] Мигунова Е.С. Лесоводство и естественные науки (ботаника, география, почвоведение). Харьков, 2000. 1-е изд.; М.: МГУЛ, 2007. 2-е изд. 592 с.
- [21] Мигунова Е.С. Лесонасаждения на засоленных почвах. М.: Лесн. пром-ть, 1978. 144 с.
- [22] Раменский Л.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М.-Л.: Сельхозгиз, 1938. 620 с.
- [23] Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипин Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз, 1956. 470 с.
- [24] Рупрехт Ф.И. Геоботанические исследования о черноземе, с картой распространения чернозема в Европейской России // Прил. к 10-му тому Зап. Акад. наук, № 6. СПб.: Тип. Акад. наук, 1866.
- [25] Бекетов А.Н. Гармония в природе // Русский вестник. Т. 30. 1860.

- [26] Докучаев В.В. К учению о зонах природы: горизонтальные и вертикальные почвенные зоны. 1898 // Сочинения. М.; Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1951. Т. VI. С. 398–414.
- [27] Пачоский И.К. Основы фитоценологии. Херсон: Вторая государственная типография, 1921. 346 с.
- [28] Работнов Т.А. Фитоценология. М.: МГУ, 1983. 294 с.
- [29] Ярошенко П.Д. Геоботаника. М.: Просвещение, 1969. 200 с.
- [30] Каяндер А.К. Сущность и значение типов леса. М.: Голстехиздат, 1933. 36 с.
- [31] Миркин Б.М. Теоретические основы современной фитоценологии. М.: Наука, 1985. 136 с.
- [32] Мигунова Е.С. Итоги. Харьков: Русское слово, 2012. 232 с.
- [33] Алексеев Е.В. Типы украинского леса. Правобережье. Киев, 1928. 120 с.
- [34] Гумбольдт А. География растений / под ред. Н. И. Вавилова. М.; Л.: Сельхозгиз, 1936. 232 с.
- [35] Гумбольдт А. Космос: Опыт физического мироописания: пер. с нем. Н. Фролова. 2-е изд. М.: Типография А. Семена, 1862–1863. Ч. 1, 1862; ч. 2, 1862; ч. 3, 1863.
- [36] Докучаев В.В. Русский чернозем. 1883 // Сочинения. М.; Л.: Акад. наук СССР, 1949. Т. III. С. 23–528.
- [37] Докучаев В.В. Место и роль современного почвоведения в науке и жизни // Сочинения. Т. VI. М.: АН СССР, 1951. С. 415–424.
- [38] Сукачев В.Н. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Избр. тр. Т. 1. Л.: Наука, 1972. 420 с.

Сведения об авторе

Мигунова Елена Сергеевна — д-р с.-х. наук, профессор, гл. науч. сотр. УкрНИИЛХА, migunova-e-s@yandex.ua

Поступила в редакцию 23.10.2019.

Принята к публикации 29.01.2020.

FOREST TYPOLOGY AND BOTANICS. ENVIRONMENT FACTORS ASSESSMENT

E.S. Migunova

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

mail@bgita.ru

Briefly characterized are the principles, methods and research results created by G.F. Morozov practice on the types of plantings, later called the forest typology. Its basis is a coupled study of forest communities and their environment - climate and soil as forest ecosystems. The prospects of such a coupled study are shown. A special role of the limited resources of the environment such as heat, moisture, and food has been revealed, which everywhere determine the composition and productivity of vegetation and make it possible to predict their characteristics. These factors form in unity the level of environmental fertility, determining the biodiversity of various natural objects

Keywords: forest typology, ecology, ecosystem, environment, phytoindication, limited environmental resources, biodiversity

Suggested citation: Migunova E.S. *Lesnaya tipologiya i botanika. ekologicheskaya otsenka faktorov prirodnoy sredy* [Forest typology and botanics. Environment factors assessment]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 65–81. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-65-81

References

- [1] Tansley A.G. The use and abuse of vegetation concepts and terms. *Ecology*, 1935, v. 16, no. 3.
- [2] 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.
- [3] Morozov G.F. *Osnovaniya ucheniya o lesa* [Foundations of the doctrine of the forest]. Simferopol, 1920, 137 p.
- [4] Morozov G.F. *Issledovanie lesov Voronezhskoy gubernii* [Investigation of the forests of the Voronezh province]. *Lesnoy zhurnal*, 1913, v. 3–4, pp. 463–481.
- [5] Kryudener A.A. *Osnovy klassifikatsii tipov nasazhdeniy i ikh narodnokhozyaystvennoye znachenie v obikhode strany* [The basis for the classification of plantation types and their national economic importance in the country's everyday life]. Ptg, 1916–1917, p. I–I, 318 p.
- [6] Vysotskiy G.N. *Biologicheskie, pochvnyye i fenologicheskie nablyudeniya 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.
- [7] Pogrebnyak P.S. *Osnovy tipologichnoy 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.
- [8] Kryudener A.A. *Opyt gruppirovki pochvennogo pokrova v svyazi s mestopolozheniem, pochvoyu, insolyatsiey i vobnovleniem pod pologom i na lesekokakh* [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 Journal*, 1903, iss. 6, pp. 1430–1468.

- [9] Ramenskiy L.G. *O nekotorykh printsipial'nykh polozheniyakh sovremennoy geobotaniki* [About some fundamental provisions of modern geobotany]. *Botanicheskii zhurnal* [Botanical journal], 1952, v. 37, no. 2, pp. 181–201.
- [10] Vorob'ev D.V. *Tipy lesov evropeyskoy chasti SSSR* [Types of forests in the European part of the USSR]. Kiev: Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1953, 450 p.
- [11] Ivanov I.V. *Istoriya otechestvennogo pochvovedeniya. Kn. I. 1870–1947 gg.* [History of domestic soil science. Prince I. 1870–1947]. Moscow: Nauka, 2003, 397 p.
- [12] Pogrebnyak P.S. *Osnovy lesnoy tipologii* [Basics of forest typology]. Kiev: Academy of Sciences of the Ukrainian SSR Publ., 1955, 456 p.
- [13] Migunova E.S. *Lesa i lesnye zemli (kolichestvennaya otsenka vzaimosvyazey)* [Forests and forest lands (a quantitative assessment of mutual relations)]. Moscow: Ecology, 1993, 364 p.
- [14] Migunova E.S. *Tipy lesa i tipy prirody. Ekologicheskie vzaimosvyazi* [Types of forests and types of nature]. Ecological relationships. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, Germany Publ., 2014, 295 p.
- [15] Vorob'ev D.V. *Lesotipologicheskaya klassifikatsiya klimatov* [Lesitopologicheskaya classification of climates] Tr. Kharkov Agricultural Institute, 1961, t. 30, pp. 23–43; 1972, t. 169, pp. 51–62.
- [16] Lavrinenko D.D. *Osnovy lesnoy ekologii* [Fundamentals of forest ecology]. Kiev: USHA, 1978, 35 p.
- [17] Ginzburg K.E. *Metody opredeleniya fosfora v pochvakh* [Methods for determination of phosphorus in soils] Agrochemical methods of soil investigation. Moscow: Nauka, 1975, p. 118.
- [18] Poschon J. de Barjac *Pochvennaya mikrobiologiya* [Soil microbiology]. Moscow: Inostranizdat, 1960, 438 p.
- [19] 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.
- [20] Migunova E.S. *Lesovodstvo i estestvennye nauki (botanika, geografiya, pochvovedenie)* [Forestry and natural sciences (botany, geography, soil science)]. Kharkov, 2000. 1st ed.; Moscow: MGUL, 2007. 2nd ed. 592 p.
- [21] Migunova E.S. *Lesonasazhdeniya na zasolennykh pochvakh* [Afforestation on saline soils]. Moscow: Lesn. prom-t' [Forest industry], 1978, 144 p.
- [22] Ramenskiy L.G. *Vvedenie v kompleksnoe pochvenno-geobotanicheskoe issledovanie zemel'* [Introduction to a comprehensive soil-geobotanical study of land]. Moscow-Leningrad: Selkhozgiz, 1938, 620 p.
- [23] Ramenskiy L.G., Tsatsenkin I.A., Chizhikov O.N., Antipin N.A. *Ekologicheskaya otsenka kormovykh ugodiy po rastitel'nomu pokrovu* [Ecological assessment of forage land by vegetation]. Moscow: Selkhozgiz, 1956, 470 p.
- [24] Ruprekht F.I. *Geobotanicheskie issledovaniya o chernozeme, s kartoy rasprostraneniya chernozema v Evropeyskoy Rossii* [Geobotanical studies of chernozem, with a map of the distribution of chernozem in European Russia] Pril. k 10-mu tomu Zap. Akad. nauk [App. to the 10th volume of Zap. Acad. Sciences], no. 6. S.Petersburg: Acad. Sciences, 1866.
- [25] Beketov A.N. *Garmoniya v prirode* [Harmony in nature]. *Russkiy vestnik* [Russian Bulletin], 1860, t. 30.
- [26] Dokuchaev V.V. *K ucheniyu o zonakh prirody: gorizontallye i vertikal'nye pochvennye zony. 1898* [To the study of nature zones: horizontal and vertical soil zones. 1898] Sochineniya [Works]. Moscow; Leningrad: Acad. Sciences of the USSR, 1951, t. VI, pp. 398–414.
- [27] Pachoskiy I.K. *Osnovy fitotsenologii* [Fundamentals of phytocenology]. Kherson: Vtoraya gosudarstvennaya tipografiya [Second State Printing House], 1921, 344 p.
- [28] Rabotnov T.A. *Fitotsenologiya* [Phytocenology]. Moscow: Moscow State University, 1983, 294 p.
- [29] Yaroshenko P.D. *Geobotanika* [Geobotany]. Moscow: Education, 1969, 200 p.
- [30] Caiander A.K. *Sushchnost' i znachenie tipov lesa* [The nature and significance of forest types]. Moscow: Goslestekhzdat, 1933, 36 p.
- [31] Mirkin B.M. *Teoreticheskie osnovy sovremennoy fitotsenologii* [Theoretical foundations of modern phytocenology]. Moscow: Nauka, 1985, 136 p.
- [32] Migunova E.S. *Itogi* [The results]. Kharkov: Russian Word, 2012, 232 p.
- [33] Alekseev E.V. *Tipy ukrainskogo lesa. Pravoberezh'e* [Types of Ukrainian forest. Right-bank]. Kiev, 1928, 120 p.
- [34] Gumbol'dt A. *Geografiya rasteniy* [Plant Geography]. Ed. N.I. Vavilov. Moscow-Leningrad: Selkhozgiz, 1936, 232 p.
- [35] Gumbol'dt A. fon. *Kosmos: Opyt fizicheskogo miroopisaniya* [Cosmos: An Experience of Physical World Description] Transl. N. Frolova. Moscow: Tip. A. Semena, 1862–1863. Part 1, 1862; part 2, 1862; part 3, 1863.
- [36] Dokuchaev V.V. *Russkiy chernozem. 1883* [Russian black soil. 1883] Sochineniya [Works]. Moscow-Leningrad: Acad. Sciences of the USSR, 1949, t. III, pp. 23–528.
- [37] Dokuchaev V.V. *Mesto i rol' sovremennogo pochvovedeniya v nauke i zhizni* [The place and role of modern soil science in science and life]. Sochineniya [Works]. T. VI. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1951, pp. 415–424.
- [38] Sukachev V.N. *Osnovy lesnoy tipologii i biogeotsenologii* [Basics of forest typology and biogeocenology]. Selected works, t. I. Leningrad: Nauka, 1972, 420 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 23.10.2019.

Accepted for publication 29.01.2020.

К ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ПАРКА «КОМСОМОЛЬСКИЙ» В УРОЧИЩЕ АРТЕК

Л.А. Леонов¹, В.А. Леонова²

¹ФГБУ «Международный детский центр «Артек», 298645, Республика Крым, г. Ялта, пгт Гурзуф, ул. Ленинградская, д. 82

²МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

leonovava@bk.ru

Дана краткая историческая справка имения Гартвиса, на территории которого в настоящее время располагается основная часть парка-памятника «Комсомольский». Приведены сведения о графе М.С. Воронцове и о директоре ботанического сада Н.А. Гартвисе, и о роли последнего в акклиматизации интродуцентов Южного берега Крыма. Проанализированы результаты инвентаризации старовозрастных деревьев и сохранившихся древесных композиций, которые создают структуру парка. Материал проиллюстрирован пятью фотографиями, чертежом и таблицей.

Ключевые слова: урочище Артек, парк-памятник, Гартвис, имение, Комсомольский, старовозрастные деревья, типы посадок

Ссылка для цитирования: Леонов Л.А., Леонова В.А. К истории развития парка «Комсомольский» в урочище Артек // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 82–90. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-82-90

Российский историк А. Чубарьян однажды заметил, что в наши дни история все больше превращается в науку о человеке и о человеческих страстях [1]. Трудно сказать, имелись ли достаточные предпосылки для замысла генерал-губернатора Новороссии и Бессарабии М.С. Воронцова — создать на Южном берегу уголок цивилизации средиземноморского типа. Значительные земельные пространства не имели хозяина и рабочих рук. Но в 1824 г. он впервые написал директору Императорского Никитского сада Н.А. Гартвису (далее – Сад) письмо и в его лице встретил своего единомышленника.

О развитии своих планов на Берегу (так именовали тогда Южный берег Крыма граф М.С. Воронцов и директор Сада Н.А. Гартвис) они делились в своих письмах с 1828 по 1841 гг. Сохранилось 49 писем на французском языке, которые позволяют взглянуть на историю развития Сада, хронику событий и отношений между этими двумя пассионарными личностями [2].

За время работы Н.А. Гартвиса, вначале смотрителем (2 года), затем директором (34 года) Сада, коллекции дендрария увеличились в 2,5 раза. Кроме того, было создано Магарачское училище виноделия, а вместе с ним зародилась новая для России отрасль промышленного производства — виноделие. Позднее период 1824–1860 гг. был назван В.Л. Симеренко «золотым веком» в истории Сада [3].

В первую встречу в 1825 г. они определили приоритетные культуры Южного берега — виноград и оливы. Николай Андреевич Гартвис основал плантацию олив, а на следующий год перезаложил коллекцию сортов винограда (Никитский сортимент лоз) для научного изучения, взяв за основу географический принцип.

Созидательный труд М.С. Воронцова и Н.А. Гартвиса, исходя из высоты замысла, требовал от них колоссальных личных усилий. Их объединяло утонченное чувство красоты растительного мира. Возможно, в этом заключается ответ на вопрос: почему был так блистательно реализован их план создания «просвященной роскоши садов» Южного берега...

Благодаря их деятельной любви к крымской земле мы можем сейчас увидеть силу современной красоты Южного берега Крыма, благотворно влияющей на души людей [3]. Воспитывать личность в гармонии с окружающей природой — это важная задача нашего времени для Международного детского центра «Артек» [4], на территории которого сохранился дендрарий Н.А. Гартвиса, носящий в настоящее время название парк-памятник «Комсомольский» (еще он известен как парк Гартвиса — Виннера).

Цель работы

Цель работы — на основании историко-архивной экспертизы и проведенной инвентаризации парка-памятника «Комсомольский» выявить зонирование территории и наиболее ценные типы сохранившихся композиций, которые позволяют оценить общее современное состояние парка.

Методика исследования

Исследование проводилось в три этапа:

1) историко-архивная экспертиза (по общепризнанной методике);

2) инвентаризация существующих насаждений, выявление исторического ассортимента и сохранившихся старовозрастных деревьев (за старовозрастные экземпляры принимались деревья

с диаметром ствола более 45 см, что соответствует возрасту более 100 лет);

3) проведение зонирования территории и выявление типов сохранившихся посадок, которые определяют структуру парка-памятника.

Историко-архивная экспертиза имени Н.А. Гартвиса. Обосновавшись в Никите и войдя в курс дела, Н.А. Гартвис, как смотритель Сада, по примеру многих крымских чиновников того времени, решил обустроить личную дачу, для чего присмотрел участок в урочище Артек, по соседству с землями полковника А.М. Потемкина. В 1825 г. он покупает первый участок, через три года — еще четыре, а в 1832-м — еще один. Таким образом, к середине 1830-х годов территория усадьбы Гартвиса простиралась узкой полосой от моря вверх по урочищу реки Артек. Основную часть земель занимали покосы и лес [3].

Небольшое имение в Артеке Н.А. Гартвис приобретал не только на личные сбережения, но и взял ссуду в банке. Очевидно, он имел с графом М.С. Воронцовым устную договоренность о дополнительном жаловании для Николая Андреевича в связи с устройством Магарача. М.С. Воронцову ежегодно приходилось изыскивать разные источники для дополнительного жалования Гартвиса. Николай Андреевич тратил выделенные средства на расширение посадок виноградных лоз в Артеке, каждый раз сообщая адресату, что именно посажено. За лозы, приобретенные графом для артековского имения, Николай Андреевич расплачивался из личных средств, впрочем, иногда граф объявлял их подарком. Именно в Артеке, а не в Магараче, директор Сада проводил свои опыты с виноматериалами, устраивал зимой раннюю переливку вин, т. е. экспериментировал, рискуя своим добром [5].

В 1860 г. замечательный ученый Николай Андреевич Гартвис вышел в отставку и в тот же год умер в своем имении Артек. Имение в 1860 г. перешло генералу Борису Ивановичу Виннеру, основателю и владельцу порохового и динамитного заводов в Петербурге [6–8]. Известно, что он ничего не изменял в парке. Дочь его умерла, не достигнув совершеннолетия, и была похоронена на территории парка [9]. Есть предположение, что после смерти Гартвиса на склепе находилась беседка [10]. Позднее племянники Гартвиса разделили имение на несколько маленьких землевладений, которые затем были проданы [11].

Историческая справка о парке Гартвиса — Виннера («Комсомольский»). Парк Гартвиса — Виннера имеет статус парка-памятника садово-паркового искусства местного значения. В советское время парк получил название «Комсомольский» [12].

Одно из первых упоминаний парка приведено у А. Безчинского: «Западную часть Артека занимает имение наследников Гартвиса, бывшего директора Никитского сада при князе Воронцове. Поднимаясь от берега моря вдоль правого берега ручейка Артек и перешедши в саж. 25 на левый берег, вы увидите по левую руку ворота, где начинается имение наследников Гартвиса... В парке Е.И. Виннер (жена Б.И. Виннера) покойным Гартвисом было разведено множество редких растений» [13].

Т.А. Брагина пишет: «Въездные ворота на территорию находились на расстоянии 200 шагов от моря, а все постройки — около версты по дороге в гору. Редкий лиственный лес (возраст от 30 до 40 лет) занимавший более 16 десятин, располагался в северной части имения, а кустарник был разбросан по всей площади. Чрезвычайно скромный по современным понятиям дом ученого расположенный в густой зелени вековых деревьев недалеко от горной речушки под названием Артек — один из немногих сохранившихся до наших дней» [14].

В настоящее время парк Гартвиса — Виннера («Комсомольский») площадью 7 га является одним из наиболее ценных артековских парков-памятников, территория которого представляет собой часть дореволюционного имения (рис. 1).

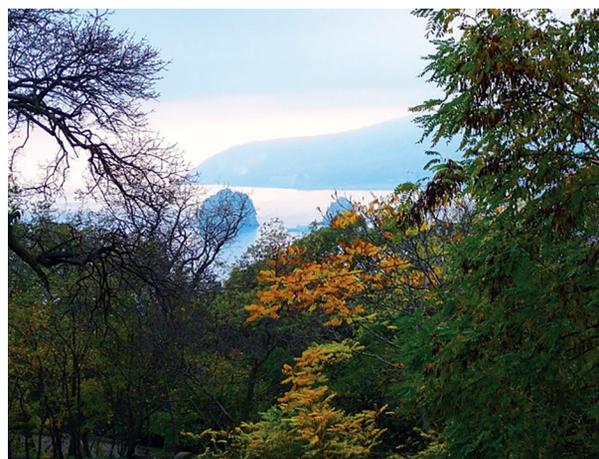


Рис. 1. Вид из парка Гартвиса — Виннера на море [6]
Fig. 1. A view from the park of a Gartvis — Vinner at the sea

Парк находится в северо-восточной части урочища Артек, прилегая к территории лагерей комплекса «Горный». Его северная граница пролегает по автомобильной дороге (ул. Ленинградская), восточная — примыкает к территории артековской школы. Парк начинается выше лагеря «Хрустальный», спускается по руслу речки Артек к лагерю «Морской». Сохранился жилой дом владельцев имения — двухэтажное здание рядом с Большой Костровой площадкой лагеря «Хрустальный». В настоящее время в нем располагается общежитие «Кедр» для сотрудников центра «Артек» [15].



Рис. 2. Кипарис болотный — самый старый в Крыму [6]
Fig. 2. The swamp cypress — the oldest in the Crimea

Н.А. Гартвис при создании парка применял самые передовые методы. Он использовал местный водный источник (речку Артек), провел дренажные водопроводы и высадил большое количество видов деревьев и кустарников из разных стран мира.

При посадке новых растений аборигенные виды не вырубались, а посадки проводились между ними. Их кажущееся неестественным сожительство на одной территории, в действительности, стало уникальным. Многие растения удачно пережили акклиматизацию и позднее распространились по всему побережью. Кстати, доставляемые в Крым из-за границы растения Гартвис вначале высаживал в своем парке и некоторое время наблюдал в так называемой природной лаборатории за особенностями их акклиматизации, а затем только разрешал «прописать» их в Саду [16].

Практически все получаемые из-за границы новые растения, в порядке обмена с европейскими садовыми заведениями, хозяин урочища Артек пытался акклиматизировать в своем имении. Растений с каждым годом поступало все больше, а поскольку площадь сада перед домом была мала, Николай Андреевич решил сажать деревья и кустарники на открытых местах в лесу. Этими посадками Гартвис преследовал еще одну цель: гарантировать большую сохранность с таким трудом доставляемых в Крым интродуцентов. Если вдруг в одном месте растение погибало, то в другом оставался его дубликат.

У его соседей по имению: графини Т.Б. Потемкиной, И. Первушина (следующий хозяин имения графини), у И.И. Фундуклея в Гурзуфе в усадьбах было значительно больше места для парковых насаждений. Эти люди могли позволить себе делать закупки растений большими партиями: кипарисы — сотнями, сосны — десятками, платаны, магнолии, пальмы — подводами. Н.А. Гартвис сажал все в единичных экземплярах, а в больших количествах — лишь виноград. К концу своей жизни он высадил в своем парке более 100 ви-

дов деревьев и кустарников, в том числе: дуб пробковый, железное дерево, камфорное дерево, кипарис болотный (рис. 2), магнолию Суланжа, самшит вечнозеленый и самшит болеарский.

После смерти Гартвиса за садом долгое время никто не ухаживал, он зарос и был запущенным. Однако в нем сохранились превосходные экзоты — пробковый дуб, секвойядендрон, таксодиумы, магнолии, кедры и другие деревья, возраст которых в настоящее время насчитывает 180 лет [3].

Несмотря на то, что площадь парка составляет 7 га, видимый культурный участок едва ли занимает 1,5 га, остальные растения рассредоточены по лесу. Среди чащи с буреломом и оврагами можно неожиданно встретить одинокую магнолию или кедр ливанский, или болотный кипарис. Строительство новой артековской школы, при юридической принадлежности Крыма Украине, нарушило старую дренажную систему, созданную Гартвисом, в результате поверхностные воды затопливают часть насаждений. Стала заброшенной каменная лестница из внутреннего дворика, ведущая в парк, которой почти 200 лет. Средств на ее реставрацию не выделяли.

Таким образом, парк Н.А. Гартвиса в урочище Артек стал полигоном в качестве экспериментального участка для акклиматизации многих древесных видов, продублированных при посадке непосредственно в Саду в связи с особым микроклиматом и более высоким плодородием почв имения.

Как указала Р.Н. Санкина «мы — крымчане, живущие в таком волшебном месте, должны помнить, что окружающей нас природной красоте обязаны не в последнюю очередь неумолимому труженику и замечательному человеку — Н.А. Гартвису» [17].

Результаты и обсуждение

Уникальная личность Н.А. Гартвиса отразилась на его имении, которое, прежде всего, служило науке. Поэтому при его оценке важно помнить, что личность ученого и его постоянная работа с акклиматизацией растений, начиная от виноградных лоз, олив и декоративных растений, и заканчивая селекцией роз, преследовала цель обогатить флору Южного берега Крыма. С этой позиции и следует определять ценность парка и сохранившихся в нем растений.

В настоящее время в парке произрастает 2442 растения, в том числе трахикарпус и пампасская трава. Однако больше всего нас интересуют старовозрастные деревья с диаметром ствола более 45 см и старые кустарники с диаметрами стволиков от 10 см, которые можно отнести к периоду посадок 1825–1860 гг. Таких древесных растений сохранилось 330 шт. (таблица).

Старовозрастные деревья парка-памятника «Комсомольский»

The Old-age trees of Komsomolsky Monument Park

Номер рода	Род и вид деревьев	Семейство	Количество, шт.	Количество, %
1	Род Кедр к. атласский (<i>Cedrus atlantica</i> Endl.) G. Manetti ex Carrière) к. ливанский (<i>Cedrus libani</i> A. Rich.) к. гималайский (<i>Cedrus deodara</i>) (Roxb. Ex D. Don) G. Don f.	Сосновые	51 11 6	20,6
2	Род Сосна с. итальянская (<i>Pinus pinea</i> L.) с. пицундская (<i>Pinus brutia</i> var. <i>pityusa</i> (Steven) Silba) с. Сабина (<i>Pinus sabiniana</i> Douglas in Lamb.) с. крымская (<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>Pallasiana</i> (Lamb.) Holmboe) с. Кальтнера (<i>Pinus coulteri</i> D. Don) с. Монтесума (<i>Pinus montezumae</i> Lamb)	«←»	29 8 3 2 1 1	13,4
3	Род Пихта п. Нордмана (кавказская) (<i>Abies nordmanniana</i> (Steven) Spach), п. нумидийская (<i>Abies numidica</i> de Lannoy ex Carrière)	«←»	3 1	1,2
4	Род Кипарис к. вечнозеленый (<i>Cupressus sempervirens</i> L.) к. лузитанский (<i>Cupressus lusitanica</i> Mill) к. гималайский (<i>Cupressus torulosa</i> D. Don) к. крупноплодный (<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw. & Gordon)	Кипарисовые	46 9 5 5	19,7
5	Род Секвойядендрон с. гигантский (<i>Sequoiadendron giganteum</i> (Lindl.) J. Buchholz)	«←»	5	1,5
6	Род Таксодиум т. двурядный (<i>Taxodium distichum</i> (L.) Rich.)	«←»	4	1,2
7	Род Секвойя с. Вечнозеленая (<i>Sequoia sempervirens</i> (D. Don) Endl.)	«←»	1	0,25
8	Род Дуб д. пушистый (<i>Quercus pubescens</i>) д. каменный (<i>Quercus ilex</i> L.) д. пробковый (<i>Quercus suber</i> L.)	Буковые	41 4 1	14,5
9	Род Бук б. лесной (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	«←»	2	0,6
10	Род Ясень я. обыкновенный (<i>Fraxinus excelsior</i> L.) я. манновый (<i>Fraxinus ornus</i> L.)	Маслиновые	43 1	13,3
11	Род Филлирия ф. узколистная (<i>Phillyrea angustifolia</i> L.)	«←»	1	0,25
12	Род Платан п. восточный (<i>Platanus orientalis</i> L.) п. кленолистный (гибрид) (<i>Platanus hispanica</i> Mill. ex Münchh.)	Платановые	13 2	4,5
13	Род Ликвидамбар л. смолоносный (амбровое дерево) (<i>Liquidambar styraciflua</i> L.)	Камнеломко- вые	5	1,5
14	Род Магнолия м. крупноцветковая (<i>Magnolia grandiflora</i> L.)	Магнолиевые	4	1,2
15	Род Каштан Конский к. обыкновенный (<i>Aesculus hippocastanum</i> L. f. <i>memmingeri</i> (K. Koch) Schelle)	Сапиндовые	3	0,9
16	Род Клен к. полевой (<i>Acer campestre</i> L.)	«←»	1	0,25
17	Род Лапина л. ясенелистная (<i>Pterocarya rhoifolia</i> Kunth.)	Ореховые	3	0,9
18	Род Тис т. ягодный (<i>Taxus baccata</i> L.)	Тисовые	3	0,9
19	Род Фисташка ф. туполистная (<i>Pistacia atlantica</i> subsp. <i>Mutica</i> (Fisch. & C.A. Mey.) Rech. f.)	Анакардиевые	3	0,9
20	Род Граб г. восточный (<i>Carpinus orientalis</i> Mill.)	Березовые	2	0,6

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы

Номер рода	Род и вид деревьев	Семейство	Количество, шт.	Количество, %
21	Род Ольха о. черная (<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.)	Березовые	1	0,25
22	Род Каркас к. голый (<i>Celtis australis</i> L.)	Каркасовые	2	0,6
23	Род Гледичия г. трехколючковая (<i>Gleditsia triacanthos</i> L.)	Бобовые	1	0,25
24	Род Ива и. белая (<i>Salix alba</i> L.)	Ивовые	1	0,25
25	Род Липа л. кавказская (<i>Tilia caucasica</i> Rupr.)	Мальвовые	1	0,25
26	Род Слива с. обыкновенная (<i>Prunus domestica</i> L.)	Розовые	1	0,25
Всего			330	100

По данным таблицы видно, что в парке сохранились старовозрастные древесные растения 17 семейств 26 родов 41 вида. Таким образом, ассортимент старовозрастных насаждений — очень богатый, поэтому можно утверждать, что главная ценность парка — исторический ассортимент сохранившихся насаждений, а сам парк можно отнести к категории дендрариев (рис. 3).

В связи с тем, что организация пространства парка подчинялась целям акклиматизации сортов винограда и дублированию большинства растений из Сада, можно только сожалеть, что не сохранились маточники виноградных лоз и прекрасных сортов роз, селекцией которых Гартвис увлекался. Фактически его парк был научной лабораторией под открытым небом. С учетом сохранившегося здания лаборатории (ныне здание находится в очень плохом состоянии) — это была уникальная опытная площадка великого ученого. Именно такая оценка была ему дана в первую очередь с дендрологической, а не ландшафтной точки зрения.

Если проанализировать данные, представленные в табл. 1, по семействам, то можно увидеть, что представители сем. Сосновых представлены 3 родами и 11 видами, что составляет 35,2 % от общего количества старовозрастных деревьев. Семейство Кипарисовые представляют 4 рода и 7 видов, оно занимает 22,7 %, сем. Буковые — 2 родами 4 видов (14,5 %), сем. Маслиновые — 2 родами 3 видов (13,6 %). Представители данных 4 семейств занимают 86 % всех старовозрастных деревьев.

Если анализировать старовозрастные деревья по родам то выясняется, что 5 родов занимают более 72 % всех древесных растений — это род Кедр — 20,6 %; Кипарис — 19,7 %; Дуб — 14,5 %; Сосна — 13,4 %; Платан — 4,5 %.

На хвойные деревья приходится 3 семейства: Сосновые, Кипарисовые и Тисовые, которые занимают 58,8 %. Если учесть вечнозеленые лиственные виды (магнолия крупноцветковая и т. д.), то на

старовозрастные листопадные деревья приходится около 40 %. Именно они вносят разнообразные краски в весенне-осенний период (рис. 4).

Зонирование территории парка и сохранившиеся типы посадок насаждений. Если рассматривать парк Н.А. Гартвиса как личный дендрарий ученого, то следует отметить, что в настоящее время трудно найти и объяснить какую-то логику в построении пространственной структуры парка, да и вряд ли она была. Однако если проанализировать территорию по функциональному назначению и по прогулочным маршрутам, то можно выявить три основные зоны:

- 1) зона сохранившегося дома;
- 2) центральная часть парка со склепом Гартвиса;
- 3) прибрежная зона парка вдоль речки Артек (рис. 5).

Зона 1 включает композиционное ядро: дом с двумя внутренними дворами с бассейнами (участки 10 и 15) и два композиционных узла: композиционный узел 1 — разворотный круг перед домом с подъездной дорогой (на восточной стороне дома — участки 2 и 3).

Композиционный узел 2 — полукруглая двойная лестница, выходящая из внутреннего двора (находится в плохом состоянии), около которой был розовый садик с маленькой полянкой (южная часть дома — участок 16). В настоящее время ниже бывшего розового садика сохранился маленький романтический грот (рис. 6), который украшает эту часть парка.

Зона 2 представляет основную композиционную парковую ось с двумя площадками: большой — над склепом и малой, которая образуется на перекрестке 4-х садово-парковых дорожек. Перед ней располагаются два малых треугольных участка со старыми тисами (участки 5 и 6), а по бокам две большие поляны (участок 4 и 2-х террасная поляна — участки 8 и 9).

Главная парковая композиционная ось идет от старого кипариса болотного (через участки 5 и 6) в сторону склепа Гартвиса. На запад от нее располагается большая поляна (участки 9 — первая терраса и 8 — вторая терраса), а на востоке проходят две прогулочные дороги (участок 11). Северная и северо-восточная части парка (участки 12, 19) представляют собой большие пространства на достаточно крутом рельефе (очевидно, раньше они были открытые), поскольку там произрастают практически только старовозрастные деревья на достаточно большом расстоянии одно от другого.

Зона 3 включает в себя два маршрута: в юго-западной и северо-западной частях парка (участки 17 и 18). Прибрежный маршрут проходит вдоль речки Артек, левый берег которой имеет перепад высот от крутого до пологого, и с разных его точек открываются виды на воду [18].

Далее мы детально проанализировали схемы посадок сохранившихся старовозрастных растений, начиная от дома Н.А. Гартвиса, исходя из проведенного зонирования. Деревья мы объединяли в типы насаждений по логике их посадок или по функциональному назначению. Следует отметить, что не все сохранившиеся в парке *типы посадок* могут соответствовать современным общепринятым понятиям [19]. Согласно научным целям, которые ставил перед собой Н.А. Гартвис, сохранившиеся схемы посадок мы попытались соотносить с современным понятием «типы посадок».

Типы посадок старовозрастных насаждений, встречающиеся в парке Гартвиса — Виннера. Мы условно выделили восемь типов сохранившихся посадок, некоторые из них могут встречаться одновременно на одном и том же участке парка:

1 тип — условные «солитеры». С учетом того, что Гартвис сажал растения везде, где было свободное место в парке [20], то на сегодняшний день на 14 участках можно увидеть одиночные растения, растущие достаточно далеко от других (если на том же участке есть другие посадки). Мы их назвали «условные солитеры», они встречаются на 13 участках.

2 тип — «остатки рядов». Это сохранившиеся 3–4 дерева, по которым «читается» линия посадки (особенно идущие вдоль горизонталей при изгибе рельефа), их можно встретить на 14 участках.

3 тип — это классические группы из трех растений. Они образуют различные треугольники. Такие группы можно встретить на семи участках.

4 тип — «спаренные посадки». Состоят из двух растений, произрастающих в отдалении от других растений, встречаются на четырех участках.

5 тип — сохранившие четкие рядовые посадки, которые можно увидеть на четырех участках.



Рис. 3. Старовозрастные деревья в парке, обвитые плющом обыкновенным [6]

Fig. 3. Old-age trees in the park, wound with *Hedera helix* L.



Рис. 4. Общий вид парка осенью [6]

Fig. 4. General view of the park in autumn

6 тип — условно «хаотичные посадки». Не имеющие какой-либо логики посадки на сегодняшний день (возможно, это остатки рядов, иногда с загнутыми концами, но они по-разному сгруппированы). Их можно встретить на трех участках.

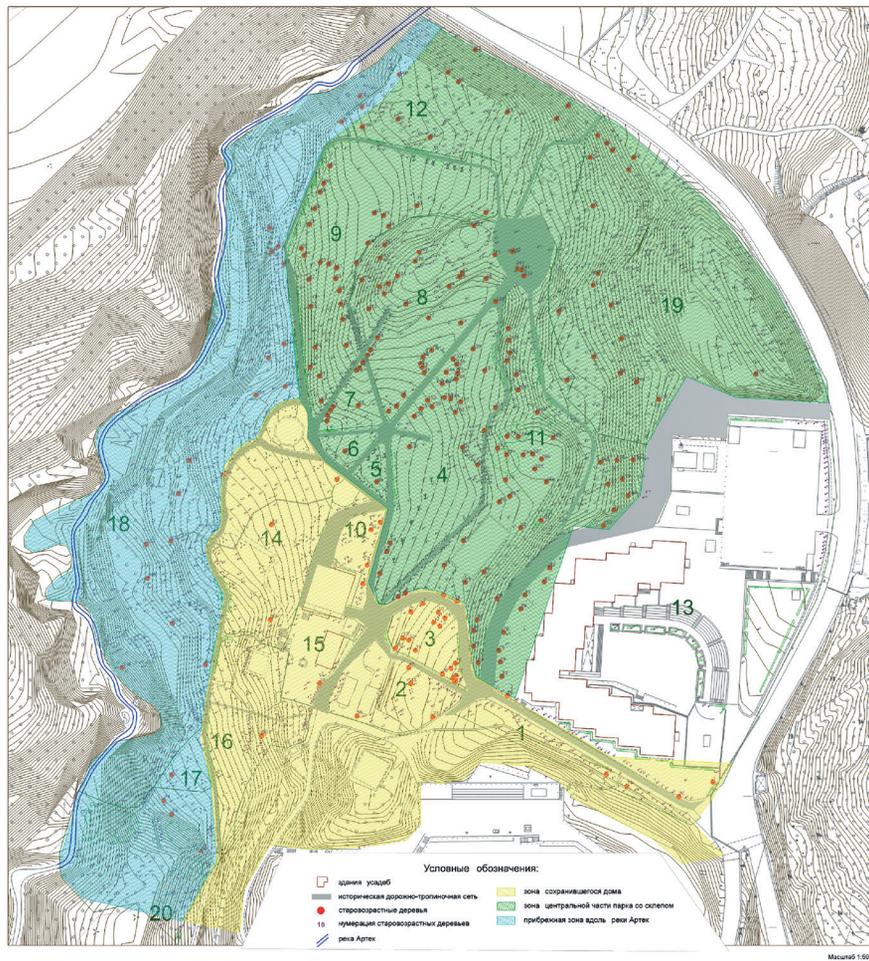


Рис. 5. Зонирование парка «Комсомольский» с сохранившимся старовозрастными деревьями, которые отмечены красными кружочками
Fig. 5. Zoning of the park «Komsomolsky» with preserved old-age trees, which are marked with red circles

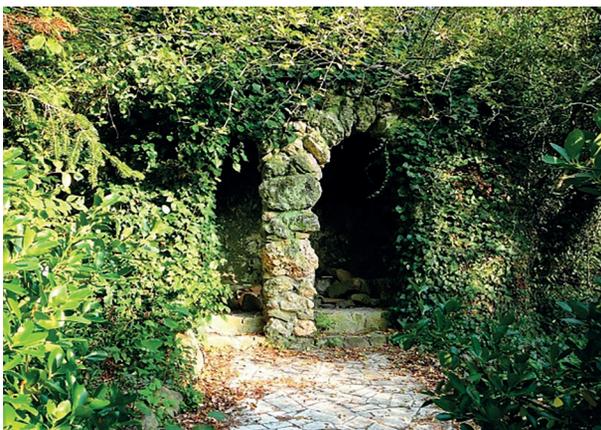


Рис. 6. Маленький романтический грот [6]
Fig. 6. Small romantic grotto

7 тип — посадка кругом в центре композиционной оси парка. Ее можно встретить один раз по композиционной оси.

8 тип — изогнутые линии. Обрамляют контур дороги по обеим сторонам. Их можно увидеть на одном участке.

Выводы

Анализ территории парка-памятника «Комсомольский» и сохранившихся типов посадок показал следующее:

1. Парк-памятник «Комсомольский» можно отнести к категории дендрариев и активно использовать в учебном процессе (по биологическому направлению).

2. В настоящее время на территории сохранившегося парка Гартвиса — Виннера четко выделяются три основных зоны: 1) зона сохранившегося дома; 2) центральная часть парка со склепом; 3) прибрежная зона парка вдоль реки.

3. Парк Гартвиса — Виннера находится в запущенном состоянии, в нем преобладают закрытые пространства из разросшихся деревьев, хотя среди них можно встретить восемь типов сохранившихся посадок.

4. В парке сохранились и подлежат реставрации такие архитектурно-инженерные элементы, как здание лаборатории Н.А Гартвиса, дренажная система, все фонтаны и лестницы, дорожно-тро-

пиночная сеть и склепы, которые также являются характерными приемами паркового строительства начала XX в. на Южном берегу Крыма.

5. Парк-памятник «Комсомольский» как «лаборатория под открытым небом» известного ученого и селекционера Н.А. Гартвиса может стать большим достоянием территории МДЦ «Артек» и точкой притяжения не только для артековцев, но и для студентов, школьников, биологов, специалистов по ландшафтам, искусствоведов, туристов. Поэтому его историческое пространство не должно оставаться без профессионального внимания и требует срочной реконструкции.

Список литературы

- [1] Чубарьян А. О. XX век: взгляд историка. М.: Наука, 2009. 563 с.
- [2] Клепайло А.И. Доклад на XIII Крымских Международ. науч. чтениях «Воронцовы и русское дворянство», Ялта, 3–4 октября 2012 г. // Виноградарство и виноделие, 2013. Т. 43. С. 113–120.
- [3] Юта Арбатская. Сад-призрак (Парк Н. Гартвиса в Артеке). URL: <http://www.kajuta.net/node/2594> (дата обращения 09.07.2019).
- [4] Каспаржак А.А. «У Артека на носу приютился Суук-Су» — 115 лет назад основан знаменитый курорт. URL: <https://crimea-news.com/society/2018/08/01/430184.html> (дата обращения 23.06.2019).
- [5] Письма Н.А. Гартвиса М.С. Воронцову // Российский государственный архив древних актов. Опись 3. Фонд 1261. д. Воронцовых, ед. хран. 1334. Л. 1–60.
- [6] Крым: путеводитель / под ред. К.Ю. Бумбера, Л.С. Вагина, Н.Н. Клепина, В.В. Соколова. Симферополь: Типография Тавр. Губ. Земства, 1914. 109 с.
- [7] Крым. Путеводитель / под ред. К.Ю. Бумбера, Л.С. Вагина, Н.Н. Клепина, В.В. Соколова. Ч. I: Очерки Крыма. Ч. II: Справочная. Симферополь: Тип. Тавр. губ. земства, 1914. Т. VIII, 688 с.
- [8] Николай Андреевич Гартвис — директор НБС и основатель винодельческого предприятия «Магарач» // Крымовед. Путеводитель по Крыму. URL: <http://www.krimoved-library.ru/books/puteshestvie-po-dvoryanskim-imeniyam-krima13.html> (дата обращения 09.09.2019).
- [9] Виртуальная экскурсия по Артеку. Часть 2. «Прибрежный». URL: <http://www.artekovetc.ru/putivnyk/2pu.html> (дата обращения 05.06.2019).
- [10] Валерий Кочнев В. Парад парков // Крымская Ривьера, 2005, № 2–3. URL: <http://suuk.su/knigi/parki.htm> (дата обращения 01.07.2019).
- [11] Вихляев К.А. Сад-призрак // Великоросс, № 115, ноябрь 2018. URL: http://www.velykoross.ru/journals/all/journal_77/article_4598/ (дата обращения 09.09.2019).
- [12] Свиштунов Т.В. Гурзуф. Краеведческие очерки. Гурзуф, 2003. 132 с.
- [13] Безчинский А. Путеводитель по Крыму. М.: Т-во И.Н.Кушнарёв и Ко, 1904. Т. XXII. 468 с.
- [14] Брагина Т.В. Путешествие по дворянским именьям Крыма // Крымовед. Путеводитель по Крыму. URL: <http://www.krimoved-library.ru/books/puteshestvie-po-dvoryanskim-imeniyam-krima.html> (дата обращения 07.08.2019).
- [15] Разиньков П. Гартвиса — Виннера парк. URL: https://vk.com/topic-131784427_36290838 (дата обращения 04.07.2019).
- [16] Кабков С. Парк Комсомольский. URL: <https://ok.ru/artekdruzh/topic/62109672431682> (дата обращения 04.07.2019).
- [17] Санкина Р.Н. Произведения художественной литературы в личной библиотеке Н.А.Гартвиса // Крымский архив, 2016. № 3 (22). С. 34–47.
- [18] Мальгин А. Русская Ривьера. Симферополь: Сонат, 2016, 349 с.
- [19] Боговая И.О., Фурсова Л.М. Ландшафтное искусство. М.: Агропромиздат, 1988. С. 100–101.
- [20] Колесников А.И. Архитектура парков Кавказа и Крыма. М.: Государственное архитектурное издательство, 1949. 175 с.

Сведения об авторах

Леонов Левон Аветисович — главный инженер, Управления по содержанию и развитию рекреационного ландшафта территории ФГБУ «Международный детский центр «Артек», 1006710@mail.ru

Леонова Валентина Алексеевна — канд с.-х. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), leonovava@bk.ru

Поступила в редакцию 20.01.2020.

Принята к публикации 12.02.2020.

HISTORY OF KOMSOMOLSKY PARK IN ARTEK NATURAL BOUNDARY

L.A. Leonov¹, V.A. Leonova²

¹International Children's Center «Artek», 82, Leningrad City Hall, 298645, Gurzuf, Yalta, Republic of Crimea, Russia, 1006710@mail.ru

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

leonovava@bk.ru

Five monument parks have been preserved on the territory of the children's center Artek, which are classified as specially protected areas. The article gives a brief historical reference to the estate of Gartvis, on the territory of which currently there is the main part of the park-monument «Komsomolsky». The text contains information about the column M.S. Vorontsov and about the director of the botanical garden N.A. Gartvis, their role in acclimatization of introducents of the South Bank of Crimea. The results of the inventory of old-age trees and preserved wood compositions, which create the structure of the park, are analyzed. The material is illustrated with 5 photographs, 1 draft and 1 table. Conclusions are drawn at the end of the article.

Keywords: Artek, park-monument, Gartvis, estate, Komsomolsky, old-age trees, types of the landings

Suggested citation: Leonov L.A., Leonova V.A. *K istorii razvitiya parka «Komsomol'skiy» v urochishche Artek* [History of Komsomolsky park in Artek natural boundary]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 82–90. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-82-90

References

- [1] Chubar'yan A.O. *XX vek: vzglyad istorika* [XX century: the view of a historian], Moscow: Nauka, 2009, 563 p.
- [2] Klepaylo A.I. *Doklad na XIII Krymskikh Mezhdunarodnykh nauchnykh chteniyakh «Vorontsovy i russkoe dvoryanstvo»* [Report at the XIII Crimean International Scientific Readings «Vorontsov and the Russian Nobility»], Yalta, October 3–4, 2012. *Vinogradarstvo i vinodelie* [Viticulture and winemaking], 2013, v. 43, pp. 113–120.
- [3] *Yuta Arbatskaya. Sad-prizrak (Park N. Gartvisa v Arteke)* [Utah Arbat. Ghost Garden (N. Hartvis Park in Artek)]. Available at: <http://www.kajuta.net/node/2594> (accessed 09.07.2019).
- [4] Kasparzhak A.A. «*U Arteka na nosu priyutitsya Suuk-Su*» — 115 let nazad osnovan znamenityy kurort [«Suk-Su was nestled in Artek's nose» – the famous resort was founded 115 years ago]. URL: <https://crimea-news.com/society/2018/08/01/430184.html> (accessed 23.06.2019).
- [5] *Pis'ma N.A. Gartvisa M.S. Vorontsovu* [Letters of N.A. Gartvis M.S. Vorontsov] [Russian State Archive of Ancient Acts], inventory 3, fund 1261, d. Vorontsov, units. stored 1334, l. 1–60.
- [6] *Krym. Putevoditel'* [Crimea. Travel Guide]. Eds. K.Yu. Bumber, L.S. Vagin, N.N. Klepin, V.V. Sokolov. Simferopol: Printing house Taurus. Lip. Zemstva, 1914, 109 p.
- [7] *Krym. Putevoditel'* [Crimea. Guide]. Eds. K.Yu. Bumber, L.S. Vagin, N.N. Klepin, V.V. Sokolov. Part I: Essays on the Crimea. Part II: Background. Simferopol: Type. Taurus. lips. Zemstvos, 1914, t. VIII, 688 p.
- [8] *Nikolay Andreevich Gartvis – direktor NBS i osnovatel' vinodel'cheskogo predpriyatiya «Magarach»* [Nikolai Andreevich Gartvis — director of the NBS and founder of the wine-making enterprise «Magarach»] Krymoved. Putevoditel' po Krymu [Crimeologist. Guide to the Crimea]. Available at: <http://www.krimoved-library.ru/books/puteshestvie-po-dvoryanskim-imeniyam-krima13.html> (accessed 09.09.2019).
- [9] *Virtual'naya ekskursiya po Arteku. Chast' 2. «Pribrezhnyy»* [Virtual tour of Artek. Part 2. «Pribrezhnyy»]. URL: <http://www.artekovet.ru/putivnyk/2pu.html> (accessed 05.06.2019).
- [10] Kochnev V. *Parad parkov* [Parade of parks]. Krymskaya Riv'era [Crimean Riviera], 2005, no. 2–3. Available at: <http://suuk.su/knigi/parki.htm> (accessed 01.07.2019).
- [11] Vikhlyayev K.A. *Sad-prizrak* [Ghost Garden]. Velikoross, no. 115, november 2018. Available at: http://www.velykoross.ru/journals/all/journal_77/article_4598/ (accessed 09.09.2019).
- [12] Svistunov T.V. *Gurzuf. Kraevēcheskie ocherki* [Gurzuf. Local history essays]. Gurzuf, 2003, 132 p.
- [13] Bezchinskiy A. *Putevoditel' po Krymu* [Guide to the Crimea]. Moscow: Partnership I.N. Kushnarev & Co., 1904, t. XXII, 468 p.
- [14] Bragina T.V. *Puteshestvie po dvoryanskim imeniyam Kryma* [Journey through the noble estates of Crimea]. Krymoved. Putevoditel' po Krymu [Crimeologist. Guide to the Crimea]. Available at: <http://www.krimoved-library.ru/books/puteshestvie-po-dvoryanskim-imeniyam-krima.html> (accessed 08.08.2019).
- [15] Razin'kov P. *Gartvisa-Vinnera park* [Hartvis-Winner Park]. Available at: https://vk.com/topic-131784427_36290838 (accessed 04.07.2019).
- [16] Kabkov S. *Park Komsomol'skiy* [Park Komsomolsky]. Available at: <https://ok.ru/artekdruzh/topic/62109672431682> (date of access 04.07.2019).
- [17] Sankina R.N. *Proizvedeniya khudozhestvennoy literatury v lichnoy biblioteke N.A. Gartvisa* [Works of fiction in the personal library of N.A. Gartvis]. Krymskiy arkhiv [Crimean Archive], 2016, no. 3 (22), pp. 34–47.
- [18] Mal'gin A. *Russkaya Riv'era* [Russian Riviera]. Simferopol: Sonat, 2016, 349 p.
- [19] Bogovaya I.O., Fursova L.M. *Landshaftnoe iskusstvo* [Landscape art]. M.: Agropromizdat, 1988, pp. 100–101.
- [20] Kolesnikov A.I. *Arkhitektura parkov Kavkaza i Kryma* [The architecture of the parks of the Caucasus and Crimea]. Moscow: State Architectural Publishing House, 1949, 175 p.

Authors' information

Leonov Levon Avetisovich — Chief Engineer, Department for Maintenance and Development of Recreational Landscape of the Territory of FSBU International Children's Center «Artek», 1006710@mail.ru

Leonova Valentina Alekseevna, — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), leonovava@bk.ru

Received 20.01.2020.

Accepted for publication 12.02.2020.

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

И.А. Васильев¹, Г.И. Кольниченко², Я.В. Тарлаков², А.В. Сиротов²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

²МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

g_kolnic@mail.ru

В статье отмечается, что Россия располагает большими запасами традиционных энергоресурсов и занимает одно из ведущих мест среди стран — экспортеров углеводородного сырья. Но ее огромные территории и множество районов, расположенных вдали от централизованного электро- и теплоснабжения, заставляют рассматривать возобновляемые источники энергии (ВИЭ), как автономные источники энергии, которые составляют основу нового интенсивно развивающегося направления электроэнергетики — распределенной генерации. Значительный рост количества электрогенерирующего оборудования на основе ВИЭ и потребителей получаемой энергии приводит к необходимости объединения генерирующих источников, потребителей и управляющих звеньев в автономные энергетические системы. В связи с неравномерностью выработки и потребления энергии из-за влияния внешних условий и факторов (ветра, солнечного излучения и др.) энергия ВИЭ в таких системах резервируется средствами традиционной энергетики (бензиновые, дизельные генераторы и пр.) в так называемом гибридном режиме, когда генератор переменного тока работает совместно с источниками ВИЭ. В этом случае возникает задача создания следящего инвертора, преобразующего постоянный ток в переменный по характеристикам, создаваемым параллельно работающим генератором переменного тока. Разработанный в МГТУ им. Н.Э. Баумана инвертор успешно решает эту задачу и тем самым делает вполне реальным подключение генераторов с целью суммирования их мощностей в одной электрической системе.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, электроснабжение, автономные системы, инверторы

Ссылка для цитирования: Васильев И.А., Кольниченко Г.И., Тарлаков Я.В., Сиротов А.В. Возобновляемые источники энергии в автономных системах электроснабжения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 91–97. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-91-97

За последнее время в мире наблюдается все более широкое применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Их доля в мировом производстве электроэнергии выросла с 2 % в 2003 г. до 10 % в 2019 г. Планы по России заметно скромнее: показатель по выработке электроэнергии на основе ВИЭ составил к 2020 г. менее 1 %, что на порядок ниже среднемировых показателей. Во многих странах, не имеющих в отличие от России существенных запасов углеводородных энергетических ресурсов, планы развития альтернативной энергетики весьма впечатляющие. Так, Германия собирается к 2050 г. генерировать 80 % электроэнергии за счет ВИЭ [1].

Россия сегодня — мощная энергетическая держава, является крупнейшим экспортером энергоресурсов в мире. Но те страны, которые сегодня не занимаются развитием возобновляемой энергетики, через 10–15 лет уже не смогут удерживать свои позиции на энергетическом рынке. Главным доводом развивать альтернативную возобновляемую энергетику в России являются огромные размеры ее территории и труднодоступность многих регионов для централизованного электроснабжения. К настоящему времени более половины территории страны не охвачено централизованным электроснабжением [2]. Однако именно на эти районы приходится значительная часть добычи

сырьевых ресурсов, которые составляют основу экономики России (рис. 1) [3].

Именно поэтому ВИЭ следует рассматривать в первую очередь как автономные источники энергии, которые составляют основу нового интенсивно развиваемого направления — распределенной генерации. Важно отметить, что нет принципиальных препятствий для работы ВИЭ в составе централизованных энергосистем.

Исходя из этих соображений в России учреждена Ассоциация развития возобновляемой энергетики (АРВЭ). В нее вошли пока пять участников, как отечественных, так и зарубежных. Благодаря государственной поддержке ВИЭ в России буквально за несколько лет создан новый технологический кластер, инвестиционный потенциал которого оцениваются в 1 трлн руб. Создание ассоциации — это естественно сформировавшееся и своевременное решение, ведь речь идет о возникшем в стране крупном энергетическом и научно-образовательном комплексе. Поддержка обществом и правительством сектора ВИЭ обусловлена тем, что при этом формируется новая отрасль высокотехнологичного электромашиностроения, растет спрос на образовательные программы и научные разработки.

Сектор ВИЭ в России создавался практически с нуля, но уже к 2024 г. будут построены

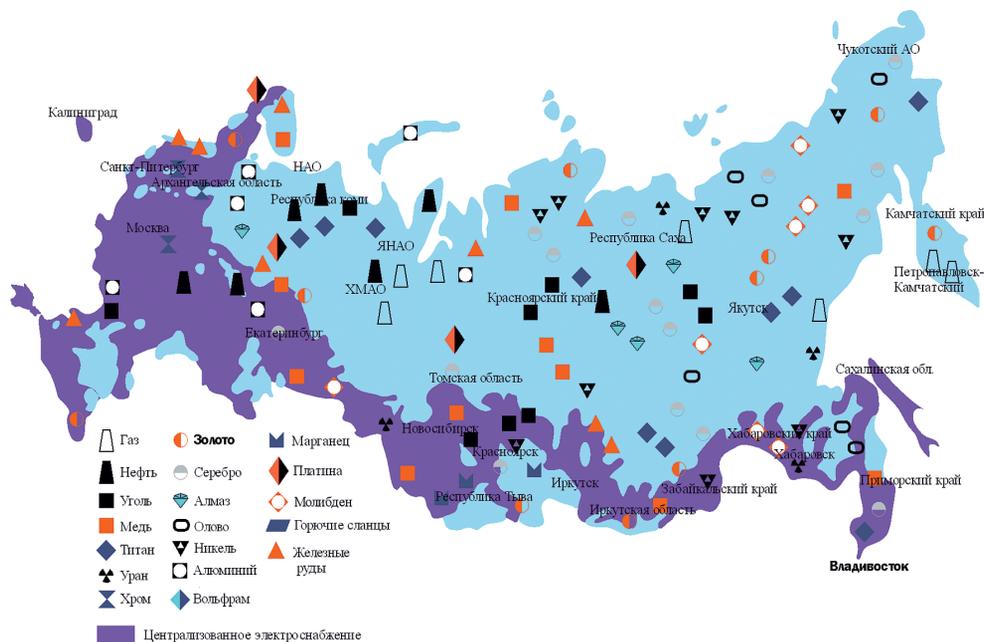


Рис. 1. Соотношение территорий, имеющих централизованное электроснабжение, и мест добычи полезных ископаемых

Fig. 1. The ratio of territories with centralized power supply, and places of mining

солнечные и ветряные электростанции общей мощностью 5 ГВт.

Планы у АРВЭ обширные. Ассоциация планирует подготовить свою концепцию механизма поддержки ВИЭ в предстоящем десятилетии.

Предполагается отстаивание позиции по продолжению помощи сектору ВИЭ через договор на поставку мощности (ДПМ), когда инвестор обязуется в указанные сроки ввести в строй определенный объем генерации, а взамен получает гарантию возврата инвестиций через повышенную стоимость продаваемой мощности в течение длительного периода времени. Отрасль нуждается во множестве законодательных изменений, над чем ассоциация тоже будет работать.

Важнейшей целью ассоциации является обмен опытом с международным сообществом, так как Россия интегрирована в мировую экономику, и обмен опытом с компаниями разных стран очень важен. В последнее время активно разрабатываются стандарты ВИЭ в странах СНГ, взаимодействие с их ассоциациями ВИЭ принесет несомненную пользу.

Эксперты отмечают, что энергия альтернативных источников дороже традиционных, но через 5 лет они в основном сравняются по стоимости. Правительство будет ужесточать требования к эффективности, поэтому Минэнерго РФ будет рассматривать возможность постановки задачи дальнейшего снижения капекса (капитальных вложений) как показателя отбора проектов, не забывая об опеке (операционных издержках). Эти показатели влияют на конечную стоимость

электричества для потребителя и находятся в управляемом режиме. Исходя из этого, электростанции на основе ВИЭ следует строить не там, где определит инвестор, а в тех местах, где существует региональная потребность.

Необходимо отметить, что специфика альтернативной энергетики заключается в ее сильной зависимости от внешних условий. Для каждого региона может быть свой вид возобновляемой энергии. Для регионов с высокой степенью инсоляции уместно использование солнечной энергетики, поскольку солнечные панели можно устанавливать максимально близко к потребителю, что существенно сократит капиталоемкость таких проектов.

В местах с постоянными ветрами (например, на морских побережьях) наиболее эффективными могут быть установки ветроэнергетики, а в районах с развитым сельским хозяйством — биогаз и т. д.

Мировая тенденция складывается так, что стоимость установок ветрогенерации снижается на фоне увеличения стоимости углеводородного топлива, что благотворно влияет на перспективное развитие ветроэнергетики.

Основными барьерами на пути развития объектов альтернативной энергетики является недостаточное развитие производства установок для электростанций ВИЭ, а также неравномерность выработки электроэнергии и потребления вследствие влияния неравномерности внешних факторов и условий ее получения (ветра, солнечного излучения и др.). В связи с этим энергетика ВИЭ резервируется средствами традиционной энергетики.

Для повышения эффективности энергетики ВИЭ необходимы новые технологии накопления электроэнергии, их появление обеспечит технологический прорыв в проблеме применения ВИЭ. В настоящее время во всем мире идут работы по производству накопителей электрической энергии. В деле их создания имеются определенные успехи и в России. В этой связи заслуживают внимания разработки Новосибирского государственного технического университета (НГТУ), где создан комплекс оборудования, позволяющий накапливать электроэнергию в период ее избытка в электрической системе и мгновенно возвращать в сеть в период ее дефицита. Пока разработаны два накопителя: один мощностью 100...500 кВт, другой — 2...32 МВт. Накопитель мощностью 2 МВт может в течение одного часа обеспечивать электроэнергией населенный пункт среднего размера, а устройство мощностью 32 МВт — небольшой город.

Отечественные накопители значительно дешевле зарубежных аналогов. В перспективе НГТУ планирует увеличить мощность разработанных накопителей с помощью высоковольтных полупроводниковых преобразователей.

Создание мощных накопителей позволит повысить эффективность и надежность электроснабжения потребителей, а также улучшить качество электрической энергии, необходимого для снижения износа электрооборудования и потерь в электрических сетях.

Развитие энергетики ВИЭ характеризуется неуклонным ростом объемов получаемой с их помощью электроэнергии, который составляет в среднем 6...9 % в год [1].

Положительная динамика увеличения генерации ВИЭ достигается в основном за счет увеличения коэффициента полезного действия ВИЭ, постоянного снижения стоимости 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии и удешевления производства ВИЭ вследствие увеличения объемов, совершенствования технологии их производства и появления конкуренции среди производителей ВИЭ.

Увеличение количества электрогенерирующего оборудования на основе ВИЭ и потребителей получаемой электроэнергии привело к необходимости объединения генерирующих источников, потребителей и управляющих звеньев в электроэнергетические системы.

Использование электроэнергетических систем на основе ВИЭ требует исследований по повышению эффективности электрогенерации, улучшения управляемости, повышения надежности электроснабжения и энергосбережения. Энергосбережение может быть достигнуто за счет более эффективной электрогенерации путем автоматизации управления работой генерирующих

источников, вводом и выводом их мощностей в зависимости от внешних факторов, а также уменьшением потерь при электроснабжении потребителей за счет оптимизации преобразовательных процессов и сокращения потерь при передаче электроэнергии от источника потребителю [4].

При создании автономных электроэнергетических систем на основе ВИЭ требуется решение некоторых проблем в связи со следующими их чертами и особенностями:

- большим количеством независимых электрогенерирующих единиц;
- разными принципами электрогенерации и отличающимися параметрами получаемого тока;
- удаленностью средств генерации на ВИЭ от потребителей и большими площадями, занимаемыми средствами генерации;
- необходимостью обеспечения стабильной мощности электрогенерации вырабатываемых и передаваемых мощностей ВИЭ [5–9].

Способам получения энергии из ВИЭ посвящено множество работ. Процесс генерации электроэнергии из ВИЭ является только первым этапом в длинной цепочке энергоснабжения конечного потребителя. После получения от ВИЭ электроэнергия должна быть преобразована в целях ее последующего аккумулирования и сохранения. Сложность такого преобразования в первую очередь связана с тем, что различные ВИЭ генерируют электрический ток с отличающимися параметрами [10–15].

Солнечные батареи генерируют постоянный электрический ток. У каждой солнечной панели напряжение и ток различаются ввиду различий их физического состояния, возможных повреждений, места установки и потерь напряжения при передаче электроэнергии. Заметим, что поврежденная солнечная батарея в панели или солнечная панель в системе нескольких панелей могут полностью прекратить выработку электрического тока и начать ее потреблять либо послужить причиной ограничения общей величины силы тока. Для обеспечения возможности заряда аккумулятора от нескольких солнечных батарей требуется установка контролера их работы и зарядного устройства аккумулятора.

Получаемая электроэнергия от ветровых электрогенераторов в корне отличается от вышеописанных солнечных батарей. Самым значительным отличием является то, что ветрогенераторы производят переменный ток, который требует выпрямления для его аккумулирования. Также в связи со своей природой переменный ток каждого ветрогенератора имеет свою частоту и начальный угол сдвига фазы, что вызвано индивидуальной скоростью вращения каждого генератора. Большинство электрогенераторов особенно невысокой

мощности, используемых для электроснабжения удаленных автономных электропотребителей, создано на базе простейшего асинхронного трехфазного электрогенератора. Генерируемый ими переменный ток передается по отдельным проводам от каждой энергоединицы до выпрямителя, после чего выпрямленный ток через зарядное устройство поступает в аккумуляторную батарею. Излишки энергии от ветрогенераторов, которые возникают в случае интенсивного ветра и отсутствия потребителей, как правило, компенсируют подключаемыми высокоомными резисторами, которые переводят излишки электроэнергии в тепло. Это делается в целях недопущения чрезмерной частоты вращения ротора, которое может возникнуть при отсутствии нагрузки, когда слабое магнитное поле недостаточно тормозит ротор генератора. Полученное тепло в резисторах или рассеивается, или используется для подогрева воды в системах тепло- и водоснабжения.

Ситуация, в которой вырабатываемая электроэнергия из ВИЭ превышает необходимые объемы, встречается достаточно редко, чаще отмечается нехватка электроэнергии из ВИЭ для покрытия нужд электропотребления [16–23].

Особенности исследований

В таких ситуациях для обеспечения надежного электроснабжения во всех автономных комплексах предусмотрено наличие генератора, работающего на традиционном энергоносителе: бензине, дизтопливе, газе и т. д. Включение такого генератора происходит в моменты увеличения нагрузки потребления или в периоды отсутствия достаточного поступления электроэнергии из ВИЭ.

Технологический процесс организации электропотребления должен быть гибким за счет включения и отключения различных способов электрогенерации или использования их в гибридном режиме, т. е. в режиме совместной работы традиционных источников и источников электроэнергии из ВИЭ.

Исходя из этих соображений, можно выделить три режима работы электрической системы:

- 1) электрогенерация от ВИЭ отсутствует, и электроснабжение осуществляется от генератора, например, дизельного;
- 2) электроэнергии от ВИЭ достаточно, и электроснабжение осуществляется без участия дизельного генератора;
- 3) гибридный режим работы (дизельгенератор работает совместно с источниками электроэнергии из ВИЭ).

Гибридный режим работы с точки зрения организации электроснабжения является наиболее сложным для электрической системы: он используется при недостаточной электрогенерации от

ВИЭ и в случае необходимости обеспечения очень высокой потребляемой мощности в системе электроснабжения. Высокая мощность потребления возникает во время пуска крупных электродвигателей, при ежесуточных пиковых нагрузках электропотребления, например, вечером, либо вызвана технологическим процессом (например, пропаркой древесины в сушильных камерах).

Большинство промышленных и бытовых электропотребителей работают на переменном электрическом токе, что при наличии уже одного существующего генератора переменного тока в сети вызывает необходимость в согласующем инверторе постоянного электрического тока.

Цель работы

Цель работы — создание следящего инвертора, преобразующего постоянный электрический ток в переменный по характеристикам, которые задает параллельно работающий генератор переменного тока. Основными характеристиками при этом являются напряжение, частота и угол сдвига фаз.

Материалы исследования

Для решения поставленной задачи в МГТУ им. Н.Э. Баумана был создан инвертор, ведомый сетью [3]. На рис. 2 показана схема параллельной работы источника переменного тока E1 и источника постоянного тока E2. Поясним работу следящего инвертора.

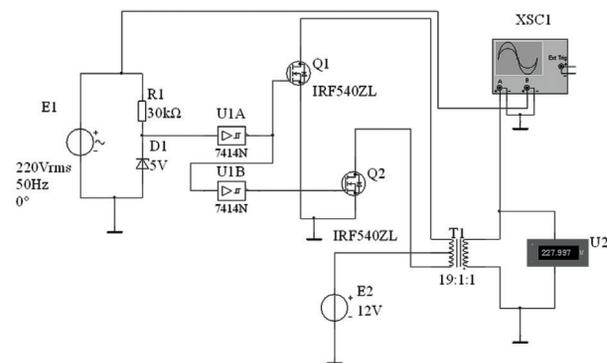


Рис. 2. Принципиальная схема инвертора, ведомого сетью
Fig. 2. Schematic diagram of the inverter driven by the network

Устройство синхронизации (см. рис. 2) состоит из балластного резистора R1, стабилитрона D1 и двух триггеров Шмитта — U1A и U1B. Сигнал синхронизации, проходя через резистор R1 и стабилитрон D1, создает управляющий сигнал, который преобразуется триггером Шмитта и делится на два управляющих противоположных по фазе сигнала с частотой 50 Гц, которые поступают на транзисторы Q1 и Q2 (IRF540). Эти сигналы открывают и закрывают транзисторы с заданной частотой. Входами транзисторов служит контакт с положительным потенциалом аккумулятора 12V,

являющимся накопительным буфером электроэнергии, сгенерированной из ВИЭ, выходом — две обмотки трехобмоточного трансформатора Т1(12V-0-12V), выходная обмотка которого генерирует электрический ток напряжением 220В с частотой и направлением, задаваемыми направлением и частотой напряжений входных обмоток. Таким образом попеременное открытие транзисторов, задаваемое частотой напряжения эталонной сети, поочередно подает ток на первичные обмотки трансформатора, что обеспечивает на выходе электрический ток с напряжением 220В с частотой и сдвигом фазы, равными соответствующим параметрам эталонной сети.

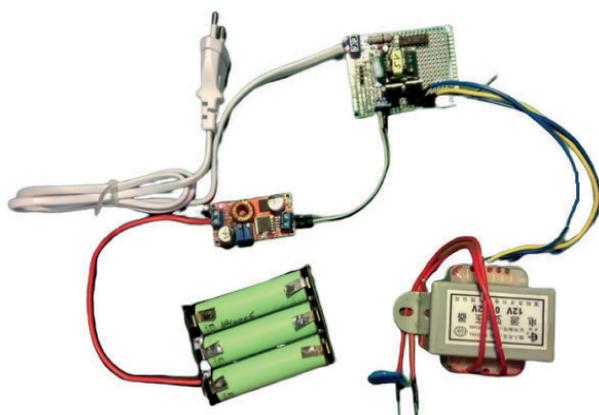


Рис. 3. Экспериментальный образец следящего инвертора, ведомого сетью

Fig. 3. An experimental sample of a tracking inverter driven by a network

Экспериментальный образец следящего инвертора, ведомого сетью, представлен на рис. 3.

Результаты

Предложенное техническое решение позволяет согласовать работу традиционного электрического генератора с генераторами электрической энергии из ВИЭ, т. е. делает вполне реальным подключение двух генераторов (переменного и постоянного тока) в целях суммирования их мощностей в одной электрической системе.

Выводы

1. Возобновляемые источники энергии составляют основу нового интенсивно развивающегося направления в развитии энергетики — распределенной генерации.

2. Создание в России Ассоциации развития возобновляемой энергетики ознаменовало начало формирования в стране крупного энергетического и научно-образовательного комплекса и отрасли высокотехнологичного электромашиностроения.

3. Развитие энергетики возобновляемых источников энергии, увеличение количества генерирующего оборудования на их основе и потребите-

лей получаемой электроэнергии обуславливает необходимость создания автономных электроэнергетических систем, в том числе и в лесном комплексе страны.

4. Для использования электроэнергетических систем на основе возобновляемых источников энергии требуется проведение исследований по повышению эффективности их работы в результате эффективной электрогенерации и автоматизации управления работой генерирующих источников, а также уменьшения потерь энергии во всех ее звеньях.

5. Представленная в настоящей статье инженерная разработка следящего инвертора позволяет согласовывать работу традиционного электрического генератора и генераторов электрической энергии на основе возобновляемых источников энергии, что открывает реальные возможности для надежного электроснабжения потребителей в автономных электроэнергетических системах.

Список литературы

- [1] Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. СПб.: Политехнический ун-т, 2016. 424 с.
- [2] Баланов П.Е., Смотраева И.В., Иванченко О.Б., Хабибуллин Р.Э. Биотехнология и биоэнергетика в решении вопросов экологии // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18. № 5. С. 229–232.
- [3] Васильев И.А., Люминарская Е.С., Селиванов К.В. Гибридная энергетика как способ электрификации географически изолированных потребителей // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2018, № 4–2 (330). С. 154–161.
- [4] Селиванов К.В. Малая распределенная энергетика как средство обеспечения энергобезопасности России // Междунар. конф. «Лесной комплекс сегодня. Экономика. Взгляд молодых исследователей — 2017», Москва, 26–27 мая, 2017 г. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. С. 217–220.
- [5] Селиванов К.В. Анализ способов малого распределенного электроснабжения // International research journal, 2017. № 01 (55). Ч. 4. С. 107–110.
- [6] Чиндяскин В.И., Большаков Е.В. Экспериментальные исследования переходных процессов при подключении возобновляемых источников электроэнергии к электрическим сетям // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2017. № 1 (63). С. 92–96
- [7] Распоряжение Правительства Российской Федерации «Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года» от 9 июня 2017 г. № 1209-р.
- [8] Solar market analyzes. URL: <http://www.bloomberg.com> (дата обращения 01.02.2020)
- [9] Elistratov V.V., Kudryasheva I.G. Principles of an integrated approach to determining the efficiency of stand-alone wind-diesel power systems // Power Technology and Engineering, 2016, no. 49 (6), pp. 1–4. DOI: 10.1007/s10749-016-0647-1
- [10] BP Statistical Review of World Energy 2016. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>. (дата обращения 01.02.2020).
- [11] Безруких П.П. Ветроэнергетика. М.: Энергия, 2010. 320 с.
- [12] Березкин М.Ю. Экологические и технологические стимулы развития возобновляемой энергетики // Фи-

- зические проблемы экологии (Экологическая физика), 2010, № 17. С. 48–54.
- [13] Сидоренко Г.И., Кудряшева И.Г., Пименов В.И. Экономика установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Техничко-экономический анализ. СПбГУ: Политехнический ун-т, 2008. 247 с.
- [14] Федянин В.Я. Мещеряков В.А. Инновационные технологии для повышения эффективности алтайской энергетики: монография. Барнаул: Изд-во Алтайской академии экономики и права, 2010. 192 с.
- [15] Алексеев В.В., Рустамов Н.А., Чекарев К.В., Ковешников Л.А. Перспективы развития альтернативной энергетики. М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 1999. 151 с.
- [16] Возобновляемая энергетика / под ред. В.В. Алексеева. М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 1999. 188 с.
- [17] Николаев В.Г. Ресурсное и технико-экономическое обоснование широкомасштабного развития и использования ветроэнергетики в России. М.: Атмограф, 2011. 502 с.
- [18] Соловьев А.А. Динамические аналогии в нетрадиционной энергетике. М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 1999. 56 с.
- [19] «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.
- [20] Березкин М.Ю., Синюгин О.А. География инноваций и возобновляемая энергетика мира // Малая энергетика, 2011. № 1–2. С. 3–5
- [21] Chiras Laniel D. The Solar House: passive solar heating and colling. White River Junction, Vermont: Chealsea Green Publishing Company, 2002. 274 с.
- [22] WASP. Manual for Wind Farm Design. Wind Monitoring & Analysis and Interpretation of Wind Data. Calculation of Predicted Wind Farm Output. Garrad Hassan. Glasqow, Scotland. 2009.
- [23] Gridasov M.V., Kiseleva S.V. Nefedova L.V., Popel' O.S., Frid S.E., Development of the Geoinfomation System "Renewable Soufces of Russia": Statement of the Problem and Choice of Solution Methods // Thermal Engineering, 2011, v. 58, no. 11, pp. 924–931.

Сведения об авторах

Васильев Игорь Александрович — канд. техн. наук, доцент кафедры ФН-7 «Электротехника и промышленная электроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, ivasiliev@rslab.ru

Кольниченко Георгий Иванович — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), g_kolnic@mail.ru

Тарлаков Яков Викторович — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), tarlakov@mgul.ac.ru

Сиротов Александр Владиславович — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), sirotov@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 02.03.2020.

Принята к публикации 18.03.2020.

RENEWABLE ENERGY SOURCES IN INDEPENDENT SYSTEMS OF POWER SUPPLY

I.A. Vasil'ev¹, G.I. Kol'nichenko², Y.V. Tarlakov², A.V. Sirotov²

¹BMSTU, 5, 2nd Baumanskaya st., 105005, Moscow, Russia

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

g_kolnic@mail.ru

The article notes that Russia has large reserves of traditional energy resources and occupies one of the leading places among the countries exporting hydrocarbons. But its vast territories and many areas located far from centralized electricity and heat supply make it necessary to consider renewable energy sources as Autonomous energy sources, which form the basis of a new rapidly developing direction of the electric power industry — distributed generation. A significant increase in the number of power generating equipment based on RES and consumers of the received energy leads to the need to combine generating sources, consumers and control units in Autonomous energy systems. Due to the uneven generation and consumption of energy due to the influence of external conditions and factors (wind, solar radiation, etc.), RES energy in such systems is reserved by means of traditional energy (gasoline, diesel generators, etc.) in the so-called hybrid mode, when the alternator works together with RES sources. In this case, the problem arises of creating a tracking inverter that converts DC to AC according to the characteristics created by a parallel AC generator. The inverter developed at Bauman Moscow state technical University successfully solves this problem and thus makes it quite possible to connect generators in order to sum their capacities in a single electrical system.

Keywords: renewable energy sources, power supply, independent systems, inverters

Suggested citation: Vasil'ev I.A., Kol'nichenko G.I., Tarlakov Y.V., Sirotov A.V. *Vozobnovlyayemye istochniki energii v avtonomnykh sistemakh elektrosnabzheniya* [Renewable energy sources in independent systems of power supply]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 91–97. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-91-97

References

- [1] Elistratov V.V. *Vozobnovlyayemaya energetika* [Renewable energy]. St. Petersburg: Politekhicheskiy un-t [Polytechnic University], 2016, 442 p.

- [2] Balanov P.E., Smotraeva I.V., Ivanchenko O.B., Khabibullin R.E. *Biotekhnologiya i bioenergetika v reshenii voprosov ekologii* [Biotechnology and bioenergy in solving environmental issues]. Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Technological University], 2015, v. 18, no. 5, pp. 229–232.
- [3] Vasil'ev I.A., Lyuminarskaya E.S., Selivanov K.V. *Gibridnaya energetika kak sposob elektrifikatsii geograficheski izolirovannykh potrebiteley* [Hybrid energy as a way of electrifying geographically isolated consumers]. Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii [Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology], 2018, no. 4–2 (330), pp. 154–161.
- [4] Selivanov K.V. *Malaya raspredelennaya energetika kak sredstvo obespecheniya energobezопасnosti Rossii* [Small distributed energy as a means of ensuring the energy security of Russia]. Mezhdunarodnaya konferentsiya «Lesnoy kompleks segodnya. Ekonomika. Vzglyad molodykh issledovateley – 2017» [International Conference «Forestry Complex Today. Economy. The View of Young Researchers - 2017»], Moscow, May 26–27, 2017. Moscow: MSTU. N.E. Bauman, 2017, pp. 217–220.
- [5] Selivanov K.V. *Analiz sposobov malogo raspredelennogo elektrosnabzheniya* [Analysis of small distributed power supply methods]. International research journal, 2017, no. 01 (55), part 4, pp. 107–110.
- [6] Chindyaskin V.I., Bol'shakov E.V. *Eksperimental'nye issledovaniya perekhodnykh protsessov pri podklyuchenii vozobnovlyaemykh istochnikov elektroenergii k elektricheskim setyam* [Experimental studies of transients when connecting renewable energy sources to electric networks]. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State Agrarian University], 2017, no. 1 (63), pp. 92–96.
- [7] *Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii «General'naya skhema razmeshcheniya ob'ektov elektroenergetiki do 2035 goda»* [Order of the Government of the Russian Federation «General Scheme for the Placement of Electric Power Facilities until 2035»] dated June 9, 2017. No. 1209-r.
- [8] Solar market analyzes. Available at: <http://www.bloomberg.com> (accessed 02.01.2020).
- [9] Elistratov V.V., Kudryasheva I.G. Principles of an integrated approach to determining the efficiency of stand-alone wind-diesel power systems. Power Technology and Engineering, 2016, no. 49 (6), pp. 1–4. DOI: 10.1007/s10749-016-0647-1
- [10] BP Statistical Review of World Energy 2016. Available at: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>. (accessed 02.01.2020).
- [11] Bezrukikh P.P. *Vetroenergetika* [Wind power]. Moscow: Energiya [Energy], 2010, 320 p.
- [12] Berezkin M.Yu. *Ekologicheskie i tekhnologicheskie stimuly razvitiya vozobnovlyaemoy energetiki* [Ecological and technological incentives for the development of renewable energy]. Fizicheskie problemy ekologii (Ekologicheskaya fizika) [Physical problems of ecology (Ecological physics)], 2010, no. 17, pp. 48–54.
- [13] Sidorenko G.I., Kudryasheva I.G., Pimenov V.I. *Ekonomika ustanovok netraditsionnykh i vozobnovlyaemykh istochnikov energii. Tekhniko-ekonomicheskii analiz* [Economics of alternative and renewable energy installations. Technical and economic analysis]. St. Petersburg: St. Petersburg State University, Polytechnic University, 2008, 247 p.
- [14] Fedyanin V.Ya. Meshcheryakov V.A. *Innovatsionnye tekhnologii dlya povysheniya effektivnosti altayskoy energetiki* [Innovative technologies to improve the efficiency of Altai energy]. Barnaul: AAEP, 2010, 192 p.
- [15] Alekseev V.V., Rustamov N.A., Chekarev K.V., Koveshnikov L.A. *Perspektivy razvitiya al'ternativnoy energetiki* [Prospects for the development of alternative energy]. Moscow: Moscow State University, 1999, 151 p.
- [16] *Vozobnovlyaemaya energetika* [Renewable Energy]. Ed. V.V. Alekseev. Moscow: Moscow State University, 1999, 188 p.
- [17] Nikolaev V.G. *Resursnoe i tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie shirokomasshtabnogo razvitiya i ispol'zovaniya vetroenergetiki v Rossii* [Resource and feasibility study of the large-scale development and use of wind energy in Russia]. Moscow: Atmograf, 2011, 502 p.
- [18] Solov'ev A.A. *Dinamicheskie analogii v netraditsionnoy energetike* [Dynamic analogies in alternative energy]. Moscow: Moscow State University, 1999, 56 p.
- [19] «Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda» Uтверждена распоряжением Правитель'stva Rossiyskoy Federatsii ot 13 noyabrya 2009 g. [«Energy Strategy of Russia for the Period until 2030» Approved by Decree of the Government of the Russian Federation of November 13, 2009]. No. 1715-r.
- [20] Berezkin M.Yu., Sinyugin O.A. *Geografiya innovatsiy i vozobnovlyaemaya energetika mira* [The geography of innovation and renewable energy in the world]. Malaya energetika [Small Energy], 2011, no. 1–2, pp. 3–5
- [21] Chiras Laniel D. *The Solar House: passive solar heating and colling*. White River Junction, Vermont: Chelsea Green Publishing Company, 2002, 274 p.
- [22] WAsP. *Manual for Wind Farm Design. Wind Monitoring & Analysis and Interpretation of Wind Data. Calculation of Predicted Wind Farm Output*. Garrad Hassan. Glasqow, Scotland, 2009.
- [23] Gridasov M.V., Kiseleva S.V., Nefedova L.V., Popel' O.S., Frid S.E., Development of the Geoinformation System «Renewable Soufces of Russia»: Statement of the Problem and Choice of Solution Methods. Thermal Engineering, 2011, v. 58, no. 11, pp. 924–931.

Authors' information

Vasil'ev Igor' Aleksandrovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU, ivasiliev@rslab.ru

Kol'nichenko Georgiy Ivanovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), g_kolnic@mail.ru

Tarlakov Yakov Viktorovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), tarlakov@mgul.ac.ru

Siroto Vladislavovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), siroto@mgul.ac.ru

Received 02.03.2020.

Accepted for publication 18.03.2020.

УДК 674.038.16

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-98-109

АНАЛИЗ СКОРОСТИ ЗВУКА В ДРЕВЕСИНЕ ЕЛИ НА ВЫЖЖЕННЫХ УЧАСТКАХ

Е.К. Мугат, Р.А. Дерцени, М.Е. Барти, К. Думитру-Добре

Факультет лесоводства и лесного машиностроения, Трансильванский университет в Брашове, 500036, Брашов, Румыния
derczeni@unitbv.ro

Во всем мире проблема лесных пожаров становится все более актуальной из-за их разрушительного воздействия на экосистемы и увеличения их количества. Последствия лесных пожаров ведут не только к существенным экономическим потерям, но, в долгосрочной перспективе, и к негативному влиянию на окружающую среду из-за выбросов CO₂. Ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) Н. Karst.) является наиболее важной древесной породой в Румынии как по занимаемой лесом площади, так и по объему получаемой древесины. Таким образом, влияние лесных пожаров на качество данной древесины и жизнеспособность растущих деревьев ели является очень важной темой. Цель работы — анализ прохождения звуковых волн через древесину елей (*Picea abies* (L.) Н. Karst.), подвергшихся лесному пожару. Проведены исследования ельника, расположенного в районе гор Постэварул, где в 2012 г. на площади 22,5 га произошел пожар, который тушили почти месяц из-за сложности доступа к нему и особенностей пожара. Необходимые измерения осуществлены с помощью томографа Arbotom. Изучены шесть елей, четыре из которых пострадали от пожара, но выжили, одно дерево превратилось в сухостой и одна ель послужила контрольным деревом, которое было расположено в буферной зоне. Для каждого дерева выполнены два замера: один — на высоте 50 см от уровня земли и второй — на высоте 100 см. Расшифрованы полученные томограммы, показавшие, что пораженная древесина присутствует и по центру, и по краям изучаемого участка. Установлены наиболее заметные изменения на высоте 50 см от уровня земли и отсутствие признаков внутренних повреждений у некоторых деревьев либо пренебрежительно малая площадь пораженных участков. Замечено, что деревья показали разную степень жизнеспособности, многие стали усыхать, что подтверждает высохшая верхушка у некоторых образцов. В результате расшифровки томограмм выяснилось, что контрольное дерево, хотя и не имело каких-либо внешних заметных признаков, но внутренняя обширная область отличалась характеристиками древесины, сходными с таковыми у пострадавших от пожара деревьев. На сухом дереве было выявлено, что пораженный участок древесины располагался ближе к внешней стороне уязвимого места без коры, притом, что неповрежденная древесина хоть и была сухой, но оказалась здоровой.

Ключевые слова: лесные пожары, древесина ели, звуковые волны, томограф Arbotom

Ссылка для цитирования: Мугат Е.К., Дерцени Р.А., Барти М.Е., Думитру-Добре К. Анализ скорости звука в древесине ели на выжженных участках // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 98–109.
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-98-109

Сведения об авторах

Мугат Елена Камелия — Факультет лесоводства и лесного машиностроения, Трансильванский университет в Брашове, Румыния, derczeni@unitbv.ro

Дерцени Рудольф Александру — Факультет лесоводства и лесного машиностроения, Трансильванский университет в Брашове, Румыния, derczeni@unitbv.ro

Барти Моника Елена — Факультет лесоводства и лесного машиностроения, Трансильванский университет в Брашове, Румыния, derczeni@unitbv.ro

Думитру-Добре Константин — Факультет лесоводства и лесного машиностроения, Трансильванский университет в Брашове, Румыния, derczeni@unitbv.ro

Поступила в редакцию 23.09.2019.

Принята к публикации 10.01.2020.

ANALYSIS OF SOUND VELOCITY THROUGH WOOD OF SPRUCE TREES LOCATED INTO A BURNED AREA

E.C. Muşat, R.A. Derczeni, M.E. Barti, C. Dumitru-Dobre

Faculty of Silviculture and forest engineering, Transilvania University of Braşov, 500036, Braşov, Romania

derczeni@unitbv.ro

In the world the effects that forest fires have on the quality of the wood and the vitality of the standing trees are a very important topic. Thus, the purpose of the article aims to analyze the transfer of sound waves through the wood of standing spruce trees (*Picea abies* (L.) H. Karst.) after a forest fire. The investigations were carried out in a spruce forest located in the Postăvarul Mountains area where, in 2012, there was a fire, which affected about 22,5 ha of forest and was extinguished after almost a month, due to the difficult area and the peculiarities of the fire. The measurements were made with the Arbotomtomograph. 6 spruce trees were investigated, of which 4 trees affected by the fire, a dry tree due to the wounds suffered and a control tree, located in the buffer area. There were made two measurements for each tree, one at a height of 50 cm from the ground level, and the second at 100 cm. The tomograms obtained were interpreted and it turned out that the trees present, inside, areas with affected wood, centrally arranged, but also marginal, especially at the first level analyzed. Also, it was found that some trees showed no signs of internal unevenness, or these areas are very small in size. In addition, it was observed that the trees had different vitalities, many of them being in drying process, which was proven by the appearance of the drying of the tip in some specimens. Following the interpretation of the tomograms it turned out that the control tree, even though it does not have any external sign that attracts attention, has inside an extended area where the characteristics of the wood are strongly modified, compared to the trees affected by the fire. At the dry tree, it was observed that the affected area had a tendency to advance towards the outside of the section where there was no bark, being a vulnerable area, the unaffected wood being dry, but healthy.

Keywords: forest fires, spruce wood, sound waves, Arbotom tomograph

Suggested citation: Muşat E.C., Derczeni R.A., Barti M.E., Dumitru-Dobre C. *Analiz skorosti zvuka v drevesine eli na vyzhzenykh uchastkakh* [Analysis of sound velocity through wood of spruce trees located into a burned area]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 98–109. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-98-109

The quality of the wood has represented and still represents one of the most important factors in its superior render, in order to obtain the greatest economic advantages. However, in order to obtain a wood assortment of high quality, forests must be managed according to clear rules [1], through treatments that lead to quality trees, and to a volume of working wood as higher as possible [2]. However, sometimes disturbing phenomena occur, such as forest fires, windfalls (windthrow) or snow breaks, which baffle the dedicated work of foresters and lead to substantial economic losses.

According to the Law no. 307/2006, the fire represents «a self-sustained combustion, which takes place without control in time and space and which results in loss of human life and / or material damage, requiring an organized intervention in order to interrupt the combustion process». Currently, forest fires are becoming more frequent, especially in countries such as: Portugal, Spain, France, Italy and Greece [3], but they have come to affect important areas and in intensely forested areas, such as the Amazon basin (Brazil, Bolivia), where forests are considered the lungs of the planet.

From the point of view of the deployment mode and the affected elements, four categories of forest fires can be distinguished [4], respectively: subterranean fires, litter fires, crown fires, combined fires (litter and crown) and fires in areas with felled trees.

Regardless of tree or wood, they suffer greatly from fires, as the development of a fire is based on a series of chemical and physical processes [5], which over time become more complex. As a result of the temperature increase, into the wood initially appears dehydration, followed by its thermal decomposition [5]. In addition, the combustibility of a material, in these case of wood, depends both on its geometrical factors (size, surface / volume ratio), but also on its structure and density [4]. On the other hand, the density of the wood is in close correlation with other important properties of it, of which the mechanical ones [6, 7] become decisive in the subsequent use of the wood. In this sense, it must be taken into account that the density of the wood is directly influenced by its humidity [8], which again emphasizes the impact of the burning on its properties. Analyzing things from the point of view of assessing the quality of the wood through the velocity of sound transfer, in the specialized literature [8] it is mentioned that this is directly influenced by the humidity and density of the wood [2, 9], but also by other factors, such as the orientation of the fibres in relation to the direction of sound propagation [10], the structure of the cell walls, etc. Thus, in spruce, it is considered that, on a direction parallel to the fibres, the propagation velocity of the sounds through the wood must be 4790 m/s [8], while on the direction perpendicular to the fibres, it decreases by 3...5 times (1600 m/s as a reference value of the Arbotom software).

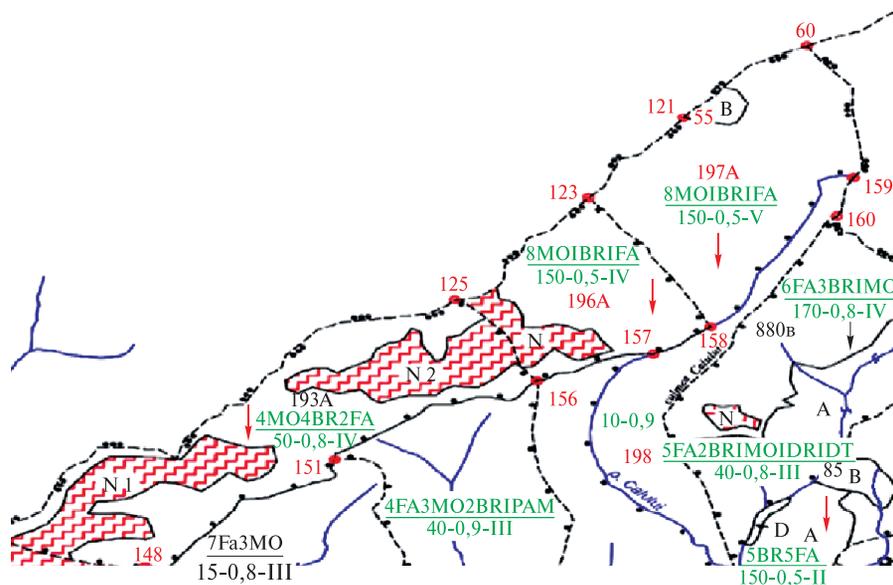


Fig. 1. Location on the map of the compartments affected by fire

The evaluation of the velocity propagation of the sounds through wood is based on ultrasound tomograms, which were initially designed for the medical field, but later, following the technical developments, this method became used on the standing trees to evaluate the internal quality of wood [11]. Based on the density and on the modulus of elasticity, the software can reconstruct the internal structure of the wood from the analyzed level. The velocity of sound propagation through wood depends on the health of the wood, its decrease being accounted for by the degradation of the wood [12], because the areas with different densities (susceptible to internal defects), lead to delays in the propagation of the sounds through wood, therefore longer durations and lower speeds [13].

This method can be used both to investigate the internal quality of standing trees, and also in the evaluation of poles or other assortments of wood [6]. Currently, this technique is also widely used in urban trees [2, 14, 15], to assess their stability [16], with the purpose of avoiding damage that could occur when the tree or parts of it fall, or even when the trees can be uprooted [13]. In addition, for the results to be more conclusive, it is recommended to use additional methods, because the tomography does not indicate the type of defect nor the factors that determine it [16], but only a series of irregularities inside the wood [6]. Also, in some studies [9] it is mentioned that this technique tends to minimize certain defects and maximize others, and cannot make the difference between decay/rot and hollows.

Taking into account all the above, it was concluded that the use of the technique of assessing the internal quality of the wood by analysing the velocity of sound transfer through wood can be applied in the present

case, where it is only intended to check the internal uniformity of the wood and not detection of the type of defect. Therefore, the purpose of this study is to analyze the velocity of sound waves propagation through the wood in the case of spruce trees remaining after a forest fire. Thus, the study was started by identifying the burned area, followed by the field measurements carried out using the Arbotom tomograph and the interpretation of the resulting tomograms.

Place of research and methodology

Place of research

The field measurements were carried out in a burned area (the fire occurred in 2012), respectively in II management unit, the compartments 197A, 196A and 193A (fig. 1), a forest considered as protected area, managed by the Forest District of the City of Râșnov RA, public property of Râșnov city (Brașov county, Romania).

As a geographical position, the compartments affected by fire are located in the Postăvarul Mountains. In the burned area it can be reached by two ways: either following the tourist route marked with a yellow stripe (Poiana «Trei Fetițe» – fig. 2), area that coincides with the 197A compartment (until there the fire spread), either through the Râșnoavei Gorges, unmarked route, reaching in the 193A compartment, the area where the fire started. The inclination of the land in the investigated area is between 35–50 degrees, and the altitude varies between 1055–1150 m in the compartment 193A and 1600 m in the compartment 197A. The exhibition is western, south-western, with standing trees of 150 years old. The present composition consists of spruce, fir and beech. In the burned area are applied only conservation cuts, the area being framed in the protected area Postăvarul.

According to the file of the fire, it broke out on 20.08.2012 at 9:00 am, as an underground fire, and the first intervention was made on the same day, at 10:00, by the staff of the Râşnov Forestry District, fire-fighters, police and gendarmes. The fire occurred in a very difficult rocky area, with a slope over 40 degrees.

The difficult access made that the affected area finally reach 22,5 ha, of which 2,4 ha in 193A compartment, 14,1 ha in 196A compartment and 5,9 ha in 197A compartment. Although the fire started as an underground fire, in a rocky area where it could not advance, due to low and dry trees it turned into a combined fire (litter and crown).

As a measure of extinction, buffer zones were made (by harvesting some trees), so that the fire would have no source of combustion. The extinguishing of the fire lasted about one month, the fire being declared extinguished on 17.09.2012, at 14:00.

Methodology

To determine the velocity of sound propagation through the wood, was used a device created by the company RINNTECH, under the name of Arbotom® Version 5 3-D Impulstomograph, equipped with 24 sensors. The manufacturer specifies that for obtaining conclusive date, it must to be chosen an adequate number of sensors [11, 13, 15]. The device can be used to establish, using the speed propagation of sound waves through wood, if the trees are affected or not by decay, fire or other defects, even if it do not reveals the type of the defect, only the unevenness areas into the wood.

The sensors positioned around the trunk measure the time needed for the impulse emitted by a sensor (transmitter) to travel through the wood to the other sensors (receivers). The collected data are sent simultaneously to a computer, which transforms the values into a coloured image [2, 16], depending on the state of the wood at the analyzed level [13].

For the field works, the analysis trees were chosen, both from the category of trees affected by the fire, as well as a dry tree and a control tree. Two investigations were carried out for each tree, one at 50 cm to the ground and the second to 100 cm, at two levels, as in Siegert's research (2013). A similar methodology appears in other studies [11, 17], only that the measurements were carried out at 3 levels (at 50, 100 and 150 to the ground).

It should also be mentioned that, in the present case, the analyses were carried out perpendicularly to fibres, since the speed of sound transfer through wood differs greatly in relation to fibre orientation [8, 11].

The measurements started with establishing the two levels of analysis and fixing the sensors around the trunk, at the desired height, with the help of special nails, with a diameter of 2 mm. The sensors are connected to each other, thus 1 with 2, 2 with 3



Fig. 2. Location of sensors and induction of sound impulses using a hammer



Fig. 3. Connection of the device to the laptop

and so on, the last sensor being the only sensor that does not transmit the signal further (fig. 2). The first sensor was connected to the battery which, in turn, is connected to the laptop (fig. 3). After installing the sensors on the trunk, it was checked if all the sensors are identified by the specific Arbotom software (fig. 4), developed by the same company. The next step was to read the sensor positions using a metric roulette, based on which the software automatically calculates the diameter at the analyzed level.

The next step consisted in inducing sound impulses, which was done manually, by successively striking of each sensor with a hammer, the number of hits being chosen according to the surrounding noise [2]. Thus, due to the low level of ambient noise, 8 hits were applied to each sensor (fig. 2). When a sensor is hit, it is considered as transmitter and transmits the wave to each of the other sensors, which play the role of receptors (fig. 5).

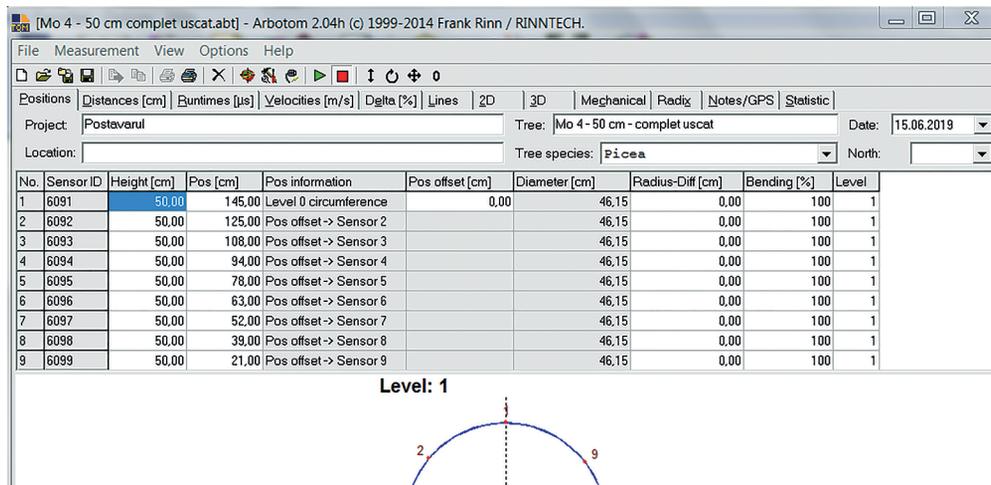


Fig. 4. Checking the identification of the sensors by the software and noting the position of each sensor

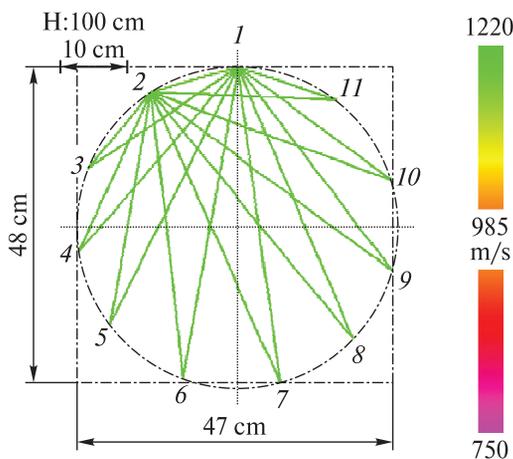


Fig. 5. Sound propagation from the transmitter to the receivers (here and further numbers indicate the sensors)

The velocity of propagated sounds is calculated based on the distance between the sensors and the propagation time. Since each sensor records the propagation time after each hit, a database of velocities results for the analysed level. In order to obtain conclusive results, the maximum errors in the transmission of sound waves should not exceed 10%, threshold recommended by the manufacturer [13], but also found in other specialized works [2].

Based on the velocities of sound propagation through wood, using a computer and the Arbotom software, specially designed for this device, the tomogram of the entire section is obtained (fig. 6 [12]).

Results and discussion

In the field were analyzed 6 spruce trees, of which 4 affected by the fire (Mo 1, Mo 2, Mo 3, Mo 4), and a control tree (Mo 6), located in an area next to the one affected by fire. To see if there are differences in term of the velocity of sound propagation through the wood of dried trees (from their visual evaluation) two tomograms were made at spruce 5.

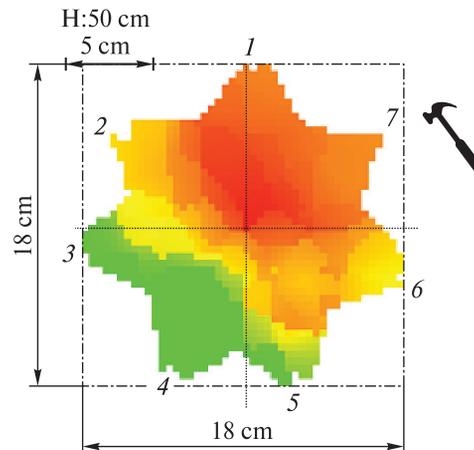


Fig. 6. The obtained tomogram at the end of the measurement

Following the centralization of the velocities, it was found that the most of them range between 501–1000 m/s (638 values), while in the interval 1501–2000 m/s appears only two values. Velocities less than 500 m/s have been encountered 30 times, and those which ranged between 1001–1500 m/s have reached 294 values. With the exception of Mo 1, Mo 2 and Mo 5 trees (where velocities greater than 1000 m/s prevail), for others are prevalent the velocities between 500 and 1000 m/s. Similarly, Karlinarsari and his colleagues [15] analyze the trees from the urban area of the city of Bogor (Indonesia) and distribute the values of velocity of sound transfer through the wood into categories, correlating the velocity categories with the visual analyzes and the observed defects. In the case of the research undertaken [15], the authors found that there is a close connection between the categories velocity and the exterior aspect of the tree. In the present case, these are not true, because relatively high velocities were obtained at trees that are completely dry or have severe external degradation.

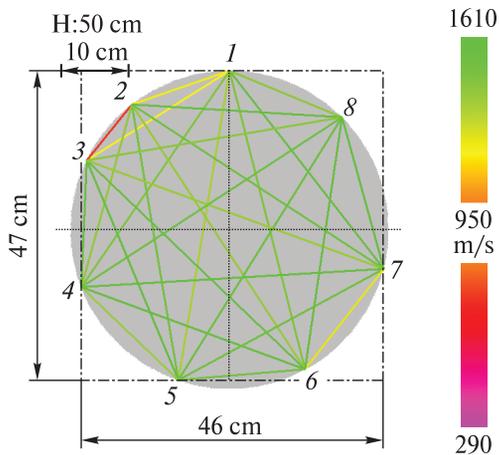


Fig. 7. Mo 1 — velocity of sound propagation at 50 cm level

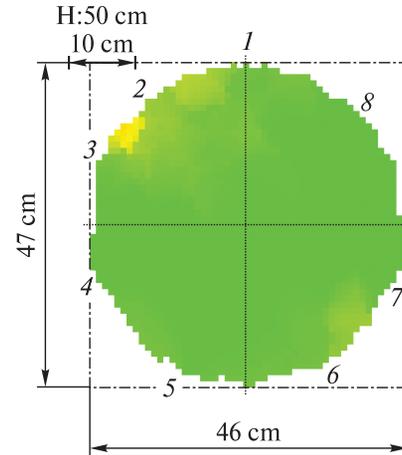


Fig. 8. Mo 1 — the resulted tomogram for the 50 cm section

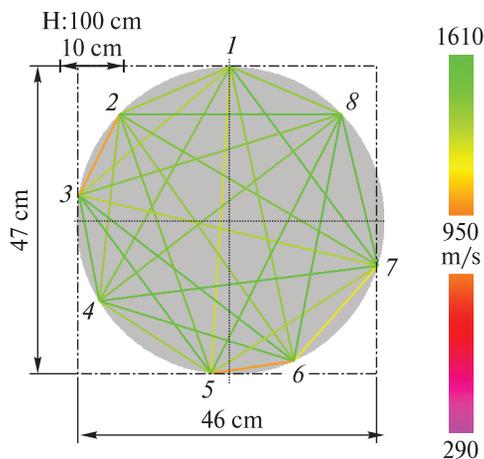


Fig. 9. Mo 1 — velocity of sound propagation at 100 cm level

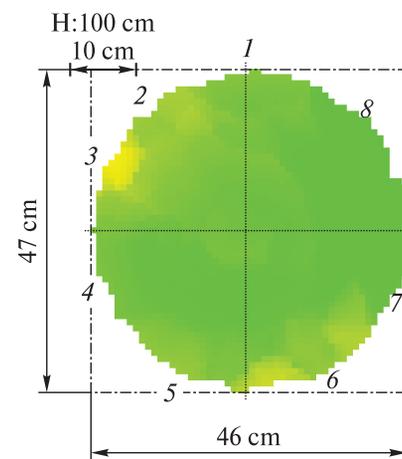


Fig. 10. Mo 1 — the resulted tomogram for the 100 cm section

Reported at the average value of velocity of sound propagation at the level of the two sections (50 and 100 m), it is mentioned that the highest average velocity was recorded at Mo 1 (at the 100 cm section — 1074 m/s), and the lowest average velocity was observed at Mo 3 (on the 100 cm section — 544 m/s). The smallest differences between average velocities recorded at 50 and 100 cm above the ground correspond to Mo 3 and Mo 5 trees.

Tarasiuk and his colleagues (2007) applied the same technology to 165-years-old Scots pine trees, that presented rot produced by the *Phellinus pini* fungus, and achieved average velocities between 590 and 1214 m/s. Analyzing things in comparison with the data obtained in the present research, it can be stated that the fire produced in 2012 affected the trees both immediately and in time, leading to a decrease in their vitality, which made them more vulnerable to the action of disturbing factors (biotic and abiotic), with direct consequences on the decrease of the internal quality of the wood, justified by the average velocities of sound propagation through wood of 544–1074 m/s (lower than the values mentioned in the literature [8]).

Results regarding the sounds propagation through the trees affected by fire

A. The spruce no. 1 (Mo 1)

At Mo 1, in the case of the section 50 cm from the ground, a lower speed is observed between sensors 1, 2 and 3, this is highlighted in fig.s 7 and 8. In the section from 100 cm above the ground (fig. 9 and 10) it is observed that on several directions appear lower velocities, the number of sensors remaining the same (8 sensors) because the tree had the same characteristics of the trunk. For the second section, it appears in addition to the first, the lower velocity between sensors 5–6. At both levels, the wood can be considered healthy, because the velocities between 1001–1500 m/s have a weight of 61–64 % of the total number of recorded values.

B. The spruce no. 2 (Mo 2)

For Mo 2, at the section from 50 cm above the ground were used 9 sensors, lower velocities being reported between sensors 2–4, 4–5 and 6–7 (fig. 11), but these are not significant to be highlighted on the tomogram (fig. 12). At the 100 cm section, due to the smaller circumference, only 8 sensors were used (fig. 13). In terms of propagation velocities, they have

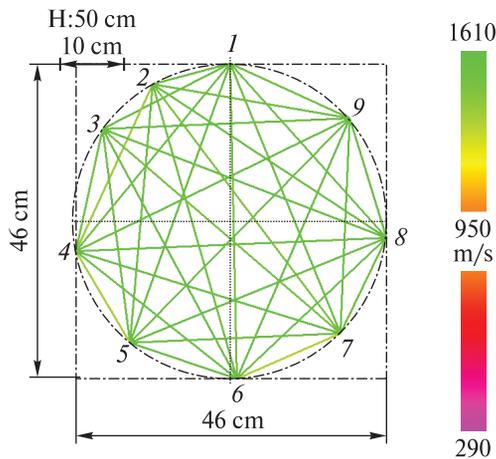


Fig. 11. Mo 2 — velocity of sound propagation at 50 cm level

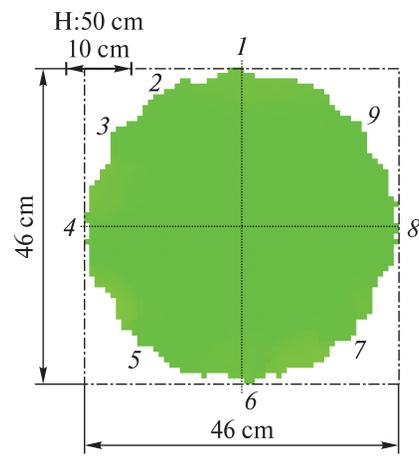


Fig. 12. Mo 2 — the resulted tomogram for the 50 cm section

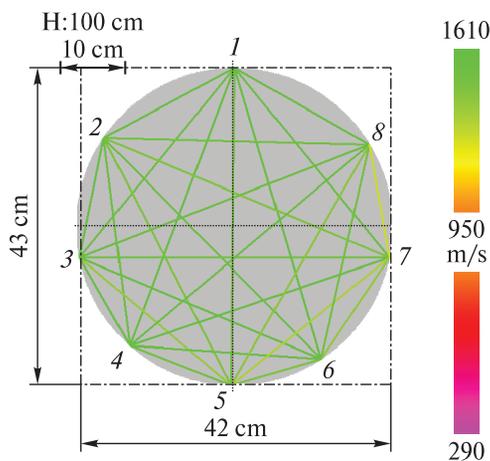


Fig. 13. Mo 2 — velocity of sound propagation at 100 cm level

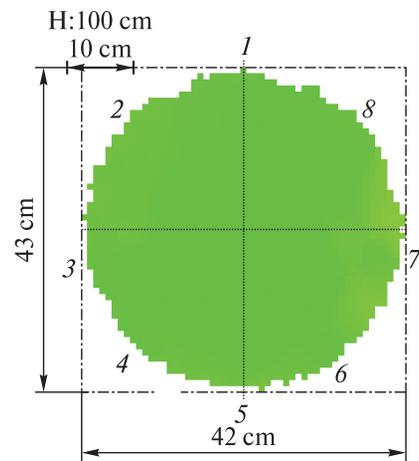


Fig. 14. Mo 2 — the resulted tomogram for the 100 cm section

lower values between sensors 5–7 and 7–8. As with the section from 50 cm, at 100 cm above ground can be observed the prevalence of velocities between 1001–1500 m/s (64 % — at 50 cm and 51 % — at 100 cm), which makes the tomogram indicate homogeneous wood (fig. 14), without significant degradation.

C. The spruce no. 3 (Mo 3)

At Mo 3, 7 sensors were placed around the trunk for each of the two sections. Fig. 15 shows the velocity of sound propagation between the sensors, observing lower values between sensors 1–5, 3–7, 2–6, 3–6, which leads to the tomogram of fig. 16. It can be observed that the central part of the trunk is affected in a large extension by rot, one of the few defects that could lead to such low values of the velocity of sound propagation through wood (36 % of them are less than 500 m/s, while 64 % fall in the range 501–1000 m/s).

In fig. 18 it can be observed that the lowest velocities of sound propagation through wood are recorded between sensors 2–5 and 2–6. Compared to the specific tomogram from 50 cm above the ground, at the 100 cm level, an improvement of the internal conditions is observed (fig. 17), due to the increase

of the velocities of sound propagation through the wood (98% of the recorded values being between 501–1000 m/s). At this tree no values exceeding 1000 m/s were recorded.

D. The spruce no. 4 (Mo 4)

At Mo 4, 11 sensors were used at each analyzed level, the trunk being approximately the same shape. As a result of the measurements, it was found that the velocities of sound propagation through the wood are lower between the pairs of sensors 2–4, 3–4, 2–7, 6–8, 7–8 (fig. 19), but they do not differ much from the maximum values recommended by Arbotom software for *Picea sp.*, so it can be said that the wood inside the tree is not affected (fig. 20), being uniform and healthy (39 % of the values are between 501–1000 m/s and 60 % between 1001–1500 m/s).

According to fig. 21, the lowest velocities are recorded between sensors 3–4, 4–5 and 8–9, but the differences from the rest of the values are not significant, which makes the resulting tomogram (fig. 22) do not show the colours that to indicate defects or non-uniformities in the mass of the wood (45 % of the values ranging between 501–1000 m/s, and 55 % are between 1001–1500 m/s).

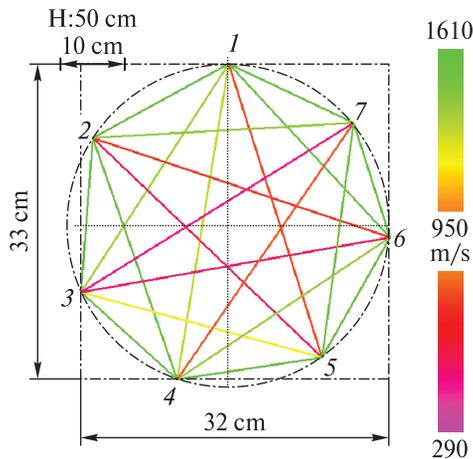


Fig. 15. Mo 3 — velocity of sound propagation at 50 cm level

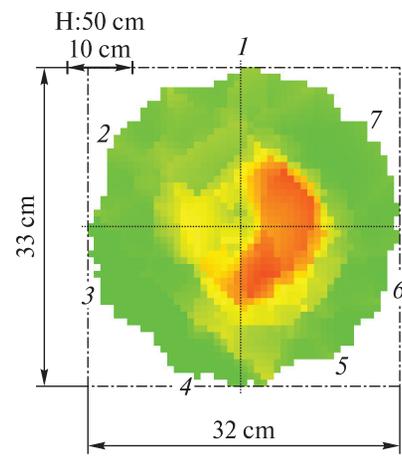


Fig. 16. Mo 3 — the resulted tomogram for the 50 cm section

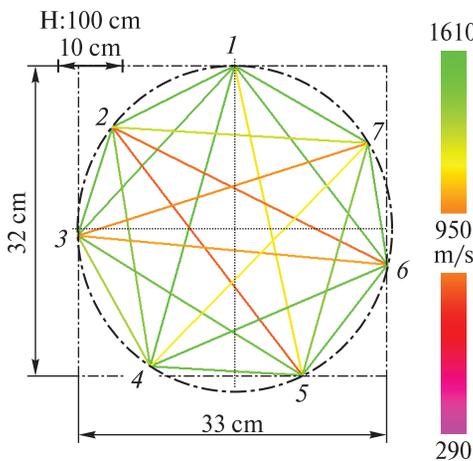


Fig. 17. Mo 3 — velocity of sound propagation at 100 cm level

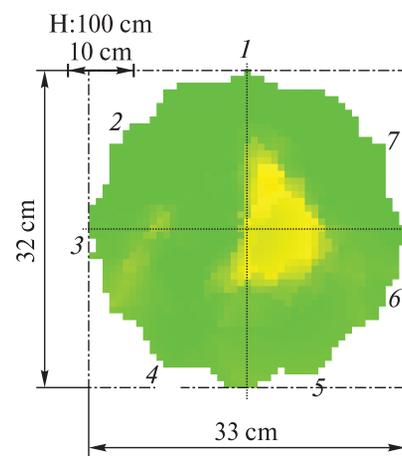


Fig. 18. Mo 3 — the resulted tomogram for the 100 cm section

Results regarding the sound propagation through the other two trees

To complete the research, were visually chosen another two spruce tree, of which one completely dry (fig. 23), and one with a perfect vegetation state (fig. 24), considered after the visual analysis performed, which does not indicate any external defect. The two spruce trees were chosen to investigate if there are differences in terms of velocity of sound propagation through the wood, to trees affected by fire, those completely dry and to those that are apparently healthy.

A. The dry tree (Mo 5)

In this respect, a completely dry tree was chosen (Mo 5). The determinations involved the use of 9 sensors for the first section, located at 50 cm above the ground (fig. 25), respectively 8 sensors for the second section.

At the level of 50 cm, a large number of lower velocities was identified (11 % of the values are less than 500 m/s, and 89% are between 501–1000 m/s), especially between the pairs of sensors 1–5, 5–9, 2–5, 2–7, 2–8, 3–8 and 4–9 (fig. 25). The analysis of the resulting tomogram (fig. 26) indicates that,

inside the trunk, there is a considerable proportion of wood in different stages of degradation, but on the outside of the trunk the wood is healthy, though dry, which makes the propagation velocities to be greater on the peripheral area of the trunk. The maintained stability of the tree, although completely dry and with a significant degraded area inside, confirms that if 1/3 of the radius contains healthy wood, located in the peripheral area of the trunk [18, 19], this is sufficient to ensure its stability, being able to support the weight and to take over the loads from the wind.

The drying of the tree occurred over time, probably due to a deficient phytosanitary state, since it does not show signs of sunscald or burned bark. In addition, at present, there appear many traces of insect attacks.

At 100 cm above the ground it can be observed (fig. 27) that the velocities have lower values between sensors 3–8, 3–7, 4–8, 4–7. From the analysis of the tomogram (fig. 28) it is possible to identify some repositioning of the degraded portion, this moving slightly towards the outside of the trunk. It is worth mentioning that in that area there was no bark on the trunk in the moment of the measurement, being more prone to attacks by fungi and xylophagous insects.

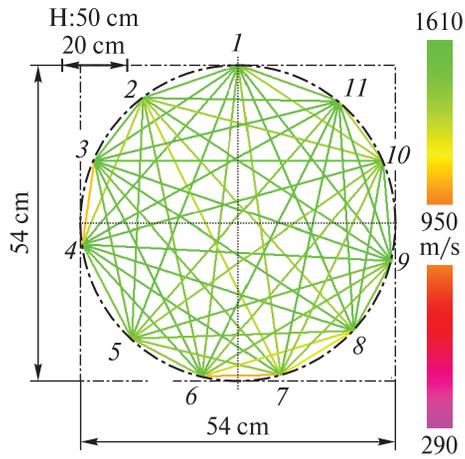


Fig. 19. Mo 4 — velocity of sound propagation at 50 cm level

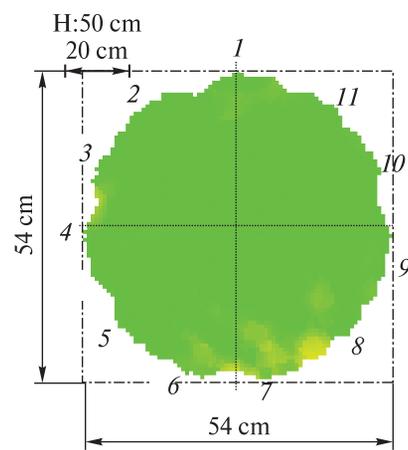


Fig. 20. Mo 4 — the resulted tomogram for the 50 cm section

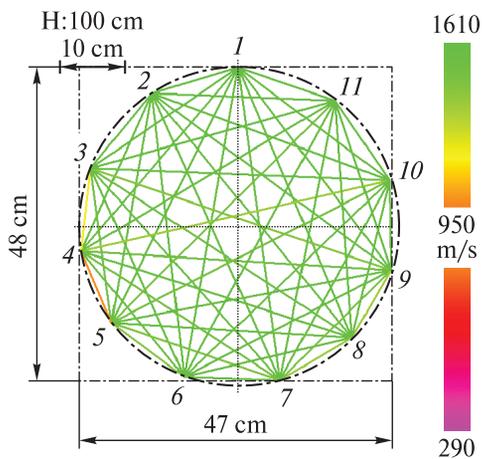


Fig. 21. Mo 4 — velocity of sound propagation at 100 cm level

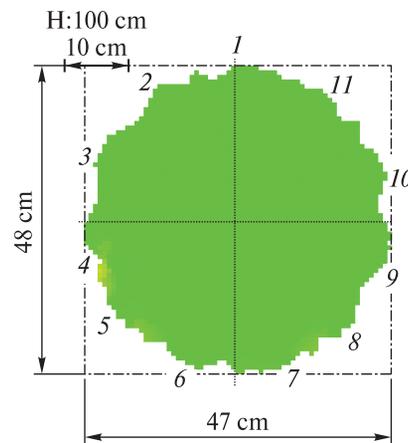


Fig. 22. Mo 4 — the resulted tomogram for the 100 cm section



Fig. 23. Mo 5 — completely dry tree



Fig. 24. Mo 6 — control tree

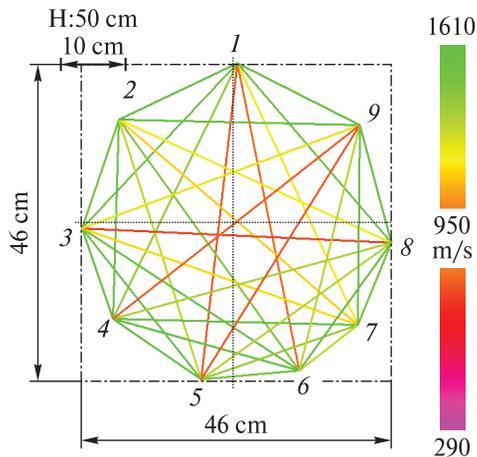


Fig. 25. Mo 5 — velocity of sound propagation at 50 cm level

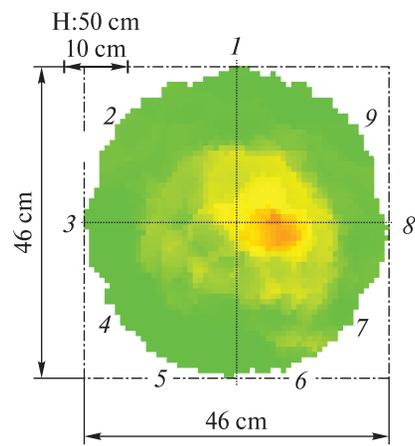


Fig. 26. Mo 5 — the resulted tomogram for the 50 cm section

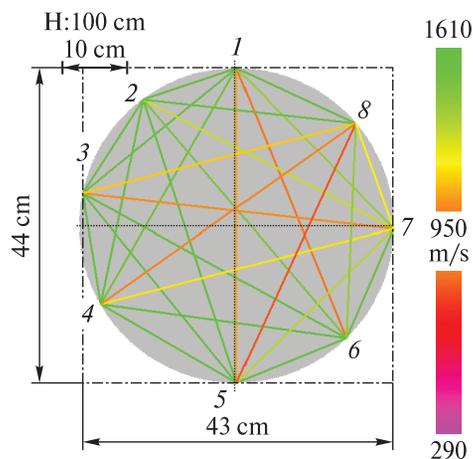


Fig. 27. Mo 5 — velocity of sound propagation at 100 cm level

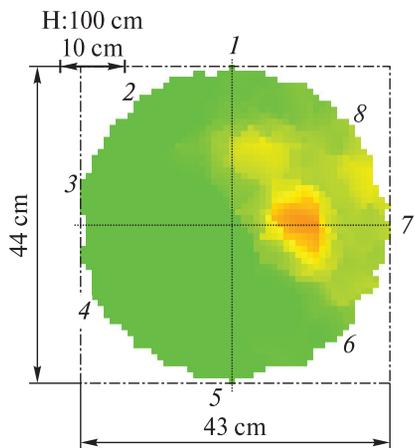


Fig. 28. Mo 5 — the resulted tomogram for the 100 cm section

In addition, there is a narrowing of the affected area inside the trunk, an aspect supported also by the values of velocities of sound propagation through the wood (95 % are between 501–1000 m/s, and 4 % exceed 1000 m/s).

B. The control tree (Mo 6)

As a control tree was chosen a spruce tree located in the buffer zone of the fire, on the eastern side of the slope, at the limit with another compartment unit. At visual appreciation, the tree showed no signs of betraying internal or external defects, being in a very good state of vegetation, compared to other spruce trees in the area. It was numbered as Mo 6. The number of sensors used was 13 for the section located at 50 cm above the ground, respectively 12 for the other one.

The tomograms and the velocities of sound propagation through the wood, for both sections, revealed something unexpected. It was found that at the height of 50 cm (fig. 29) there are a large number of values that correspond to low velocities, which shows that the tree, in that section, has a fairly high proportion of affected wood. The tomogram (fig. 30) shows that the affected area is centrally located, most probably because of internal rot due to the attack of xylophages fungi.

Despite the fact that the control tree at the visual assessment presents a good state of vegetation, with no visible defects, the situation is completely opposite. This is also found at the level of 100 cm above the ground, where there are also many low velocities of sound propagation through the wood (fig. 31), even more compared to the section from 50 cm. The tomogram for this section (fig. 32) indicates that the surface affected by the rot extends to the outside of the trunk, compared to the tomogram of the previous section where it was centrally located.

Analyzing comparatively the data referring to the velocities of sound for both investigated levels, it was found that, at the 50 cm section, 98 % of the values are between 594–1000 m/s, while at the level of 100 cm, 95 % of the values are between 581–1000 m/s, with no values below the mentioned minimums. However, by analyzing the two tomograms visually (fig. 30 and 32), one can observe a worsening of the internal conditions at the level of 100 cm, which leads to the idea that, although there are more velocities exceeding 1000 m/s, they cannot supplement the produced effect of the lower values, probably many of them being from 600–700 m/s, compared to the

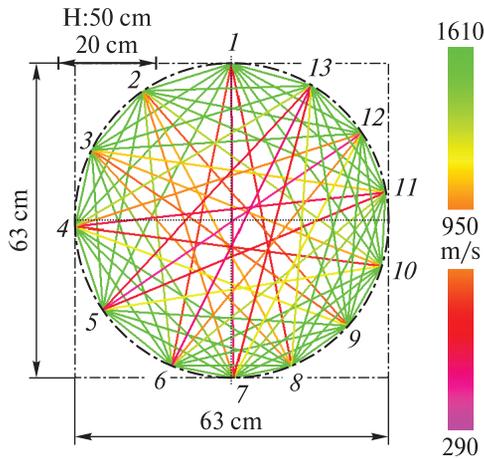


Fig. 29. Mo 6 — velocity of sound propagation at 50 cm level

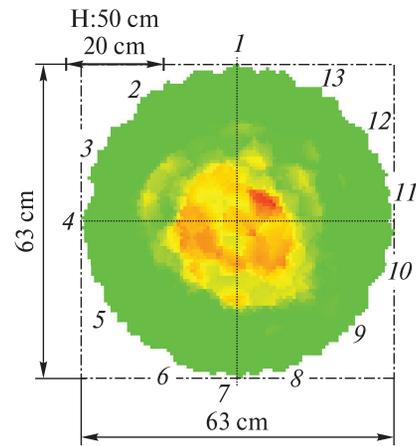


Fig. 30. Mo 6 — the resulted tomogram for the 50 cm section

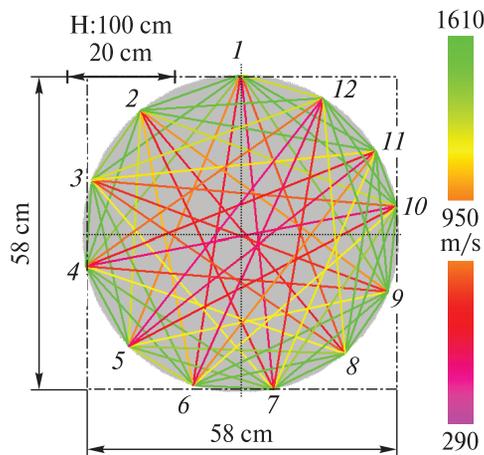


Fig. 31. Mo 6 — velocity of sound propagation at 100 cm level

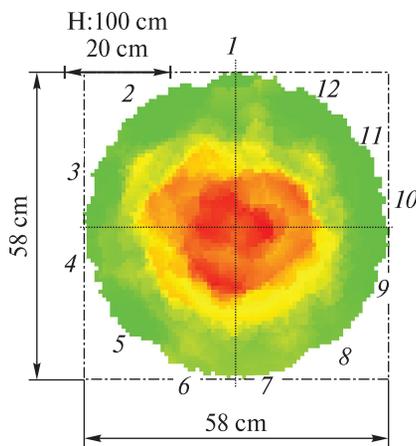


Fig. 32. Mo 6 — the resulted tomogram for the 100 cm section

situation from 50 cm above ground, where velocities of 900–1000 m/s could predominate.

Even if the control tree is located in an area where the fire did not develop, as a result of the measurements it was discovered that it is affected in a large proportion inside, compared to the trees located in the burned area, trees that had wounds, scarred on the outside, indicators so clear of the internal defects.

Conclusions

The fire produced in 2012 had quite large effects on the affected plots/compartments. The remaining trees, some with good vegetation status, but with wounds on the trunk, some with the tops already dry, others completely dry, they have inside areas with wood in different stages of degradation, disposed centrally or marginally, of proportions that differ from specimen to specimen.

However, there were identified trees which, at first glance, appeared to be affected by the fire, but which, on closer examination, showed no signs of degradation or unevenness inside the trunk.

Following the tomograms performed with the Arbotom device, it turned out that the control tree,

with an exceptional external appearance, a good vegetation state, presents inside, in the central area of the trunk, a large area affected, which extends from the level of 50 cm to 100 cm and even higher.

If the age of the trees is taken into account, 140 years according to the compartment description, then the appearance of the rot is justified by the age, especially since the forest is considered a protected area, covered only with conservation works and works to help the natural regeneration. So, the health of wood of these trees could be due not to the fire itself, but to the other influencing factors, in particular the age of the trees.

For this reason it is recommended to continue the measurements, both in the area and in other conditions, both regarding the time period since the fire occurred, as well as at different ages and different environmental conditions.

Acknowledgement

The authors would like to thank, in particular, to the staff and the management of the Forestry District of the City of Râșnov R.A., who supported this research through field trips and a lot of very useful information, generously provided.

Also, the authors would like to thank to the Faculty of Silviculture and forest engineering for making available the Arbotom tomograph, used in field measurements.

References

- [1] Baietto M., Wilson A.D., Bassi D., Ferrini F. Evaluation of three electronic noses for detecting incipient wood decay. *Sensors*, 2010, no. 10, pp. 1062–1092. Doi: 10.3390/s100201062.
- [2] Beldeanu E.C. *Produse forestiere [Forest products]*. Braşov, Romania: Editura Universităţii Transilvania din Braşov, 2008, p. 331 (in Romanian)
- [3] Beldeanu E.C. *Produse forestiere şi studiul lemnului. v. I [Forest products and the study of wood. v. I]*. Braşov, Romania: Transilvania University Publishing House, 1999, 362 p.
- [4] Ciobanu V., Ioraş Fl. *Incendii forestiere [Forest fires]*, Braşov, Romania: Transilvania University Publishing House, 2007.
- [5] Câmpu R. Cercetări privind posibilităţile de evaluare a calităţii lemnului pe picior, în arborete pure de fag (*Fagus sylvatica* L.), din Bazinul Târlungului (Research Concerning the Possibilities for Evaluating the Quality of Standing Trees, in Pure Stands of Beech (*Fagus sylvatica* L.) from Târlung Basin). In: Ph.D. Thesis, Transilvania University of Braşov, Romania, 2008.
- [6] Ellis D. Practical use of tomography as a part of tree risk evaluation. For the 2014 Annual California Tree Failure Report Program, Consulting Arborist and Horticulturist, 2014, pp. 1–4.
- [7] European Commission (2019): Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2018. Available at: http://effis.jrc.ec.europa.eu/media/cms_page_media/40/Forest_fires_in_Europe_Middle_east_and_North_Africa_2016_final_pdf_JZU7HeL.pdf (accessed 15.06.2019).
- [8] Available at: <http://itcinternational.com/casestudies/detecting-fungal-decay-in-palm-stems-by-resistance-drilling> (accessed 25.06.2015).
- [9] ARBOTOM® Tree tomography. Available at: <http://www.rinntech.de/content/view/7/35/lang,english/> (accessed 25.06.2019).
- [10] Karlinasari L., Mariyanti I.L., Nandika D. Ultrasonic wave propagation characteristic of standing tree in urban area. 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Sopron, Hungary, 2011, v. 1, pp. 151–157.
- [11] Kazemi S., Shalbfan A., Ebrahimi G. Internal decay assessment in standing beech trees using ultrasonic velocity measurement. *European Journal of Forest Research*, 2009, vol. 128(4), pp. 345–350.
- [12] Legea nr. 307 din 12 iulie 2006 privind apărarea împotriva incendiilor [Law no. 307 of July 12, 2006 on fire protection]. Published in the Official Gazette of Romania no. 633 of July 21, 2006.
- [13] Li G., Wang X., Feng H., Wiedenbeck J., Ross R.J. Analysis of wave velocity patterns in black cherry trees and its effect on internal decay detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2014, v. 104, pp. 32–39.
- [14] Liang S., Fu F. Relationship analysis between tomograms and hardness maps in determining internal defects in *Euphrates poplar* // *Wood Research*, 2012, v. 57(2), pp. 221–230.
- [15] Lin C.-J., Kao Y.-C., Lin T.-T., Tsai M.-J., Wang S.-Y., Lin L.-D., Wang Y.-N., Chan M.-H. Application of an ultrasonic tomographic technique for detecting defects in standing trees // *Int. Biodeterioration and Biodegradation*, 2007, v. 62, pp. 434–441.
- [16] Muşat E.C. Analysing the sound speed through the wood of horse chestnut trees (*Aesculus hippocastanum* L.) // *Bull. of the Transilvania University of Brasov. Series II – Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering*, 2017, v. 10(59), no. 1, Special Issue, pp. 55–66.
- [17] Siebert B. Comparative analysis of tools and method for the evaluation of tree stability // *Results of a field test in Germany. Arborist News*, 2013, pp. 26–31.
- [18] Tarasiuk S., Jednoralski G., Krajewski K. Quality assessment of old-growth Scots pine stands in Poland // *Quality Control for Improving Competitiveness of Wood Industries. COST E53 Conference, 15–17 October 2007, Warsaw, Poland. Warsaw, 2007, pp. 153–160.*
- [19] Van Goethem G.R.M., van de Kuilen J.W.G., Gard W.F., Ursem W.N.J. Quality assessment of standing trees using 3D laser scanning // *Conf. COST E53, 29–30 October 2008, Delft, The Netherlands. Delft, 2008, pp. 145–156.*

Authors' information

Muşat Elena Camelia — Faculty of Silviculture and forest engineering, Transilvania University of Braşov, Romania, derczeni@unitbv.ro

Derceni Rudolf Alexandru — Faculty of Silviculture and forest engineering, Transilvania University of Braşov, Romania, derczeni@unitbv.ro

Barti Monica Elena — Faculty of Silviculture and forest engineering, Transilvania University of Braşov, Romania, derczeni@unitbv.ro

Dumitru-Dobre Constantin — Faculty of Silviculture and forest engineering, Transilvania University of Braşov, Romania, derczeni@unitbv.ro

Received 23.09.2019.

Accepted for publication 10.01.2020.

ДИНАМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ, ГИДРОЛИЗОВАННОЙ В ПРИСУТСТВИИ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ

Ю.Г. Скурыдин¹, Е.М. Скурыдина²

¹ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», 656049, Россия, Барнаул, пр. Ленина, д. 61

²ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический университет», 656031, Россия, Барнаул, ул. Молодежная, д. 55

skur@rambler.ru

Исследованы динамические механические характеристики плитных композиционных материалов, полученных после обработки измельченной древесины березы методом взрывного автогидролиза в присутствии органических кислот. В качестве катализаторов гидролиза использованы янтарная и щавелевая кислоты. В водном растворе катализаторов осуществлено предварительное замачивание древесной щепы перед баротермической обработкой. Композиционные материалы изготовлены из гидролизованного материала методом горячего прессования без добавления связующих веществ. Основная реакция при горячем прессовании — поликонденсация компонентов лигноцеллюлозного комплекса древесной ткани, активированной при гидролизе. Исследование композиционных материалов выполнено методом динамического механического анализа на обратном крутильном маятнике в диапазоне температур — от 150 до 550 К. Обнаружено, что использование органических кислот на стадии взрывного автогидролиза способствует значительной интенсификации гидролитического процесса. Результатом становится резкое уменьшение температуры стеклования комплекса аморфных компонентов композиционного материала, получаемого в присутствии кислот, по сравнению с материалом, получаемым без их использования. Установлено, что зависимости температуры стеклования от концентрации катализаторов гидролиза, определяемые по температурным зависимостям тангенса угла механических потерь и динамического модуля сдвига, носят обратно экспоненциальный характер. Определено, что при использовании щавелевой кислоты наиболее интенсивное снижение температуры стеклования происходит с увеличением ее концентрации до 1...2 %, а при использовании янтарной кислоты — до 2,5...5 % к массе исходной древесины. Показано, что дальнейшее увеличение концентрации катализаторов на температуру стеклования влияния практически не оказывает. Обнаруженные эффекты можно использовать при оптимизации процесса получения плитных композиционных материалов на основе гидролизованной древесины.

Ключевые слова: взрывной автогидролиз, древесина березы, композиционный материал, динамический механический анализ, динамический модуль сдвига, тангенс угла механических потерь, температура стеклования

Ссылка для цитирования: Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М. Динамические механические характеристики композиционных материалов из древесины березы, гидролизованной в присутствии органических кислот // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 110–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-110-117

Разработка технологий получения композиционных материалов на основе сырья растительного происхождения является на сегодняшний день актуальной задачей [1–10]. При этом большинство традиционных технологий предполагают применение синтетических связующих на стадии формирования композитной структуры материала. При этом уже достаточно давно известны различные способы получения композиционных материалов на основе древесины без применения связующих [11, 12]. Однако до настоящего времени они так и не получили широкого распространения по некоторым причинам. Например, получаемые материалы могут не обладать требуемыми в заданных условиях эксплуатации качественными показателями, прежде всего необходимой прочностью и водостойкостью.

Цель работы

Целью работы является изучение влияния действия органических кислот (катализаторов гидролиза), добавляемых в древесный материал

на стадии гидролитической обработки, на некоторые физико-механические характеристики получаемого композиционного материала.

Материалы и методы исследования

Процесс создания плитных композиционных материалов осуществляется в две стадии. На первой стадии исходный материал растительного происхождения обрабатывается насыщенным паром высокого давления. После обработки в течение заданного промежутка времени и в заданных условиях осуществляется резкий сброс давления с выбросом обработанного материала в приемное устройство. Осуществляется так называемый взрывной автогидролиз [13, 14]. На второй стадии гидролизованная древесная масса, высушенная до комнатно-сухого состояния, подвергается горячему прессованию в плитный композиционный материал в разборной пресс-форме без добавления связующих веществ.

В качестве исходного материала выбрана стандартная щепка березы пушистой (*Bétula pubéscens*)

с размером частиц $\sim 25 \times 15 \times 5$ мм³. Перед проведением гидролитической обработки щепа подвергалась предварительному замачиванию в течение 60 мин в водном растворе гидролизующего агента — янтарной или щавелевой кислот. Количество янтарной кислоты, использованное при обработке, составило 0,05...10 %, щавелевой кислоты — 0,05...5 % к исходной массе воздушно-сухой щепы. После предварительного замачивания щепу помещали в реактор установки взрывного автогидролиза периодического действия, где осуществлялась ее обработка в условиях перегретого насыщенного водяного пара при температуре 463К (190 °С) в течение 10 мин. Фактор жесткости процесса обработки, рассчитанный в соответствии с методикой [15], составил 4466 мин.

После гидролитической обработки полученный материал имеет вид влажной волокнистой массы бурого цвета. Гидролитические процессы, происходящие на данной стадии обработки обусловлены глубоким гидролизом гемицеллюлоз с образованием большого количества активных групп в аморфной составляющей получаемых компонентов [14, 16].

После высушивания до состояния комнатно-сухой влажности гидролизованная древесная масса подвергалась горячему прессованию в разборной пресс-форме. При этом дополнительные связующие компоненты, помимо тех, которые образуются в гидролизованном материале при водно-тепловой обработке, в древесную массу не добавляли. Температура прессования для всей серии образцов составила 423К (150 °С), давление прессования — 5 МПа (51 кг/см²), продолжительность ~ 1 мин/1 мм толщины плитного материала. Процессы поликонденсации, проходящие между компонентами гидролизованного лигноцеллюлозного вещества, способствуют образованию сшитых структур и формированию композиционного материала [17].

Полученные образцы исследовались в диапазоне температур $\sim 150..550$ К ($-123..277$ °С) методом динамического механического анализа на обратном крутильном маятнике в соответствии с методикой, предложенной в работе [18]. В заданном диапазоне получены температурные зависимости динамического модуля сдвига G' и тангенса угла механических потерь $\text{tg}\delta$. Примеры зависимостей представлены на рис. 1–4. Зависимости позволяют определить положения различных температурных переходов в компонентах композиционного материала в соответствии с методикой из работы [19]. Принято считать, что температурный переход, расположенный в диапазоне температур 443...493К (170...220 °С), соответствует переходу комплекса аморфных составляющих лигноцеллюлозного вещества из

стеклообразного в высокоэластическое состояние [16]. Положение данного перехода может смещаться в сторону более низких температур под влиянием включенных в сегментальную подвижность макромолекул фрагментов гемицеллюлоз и лигнина, образующихся при гидролизе, т. е. в результате структурной пластификации [14]. Поэтому положение данного температурного перехода у материалов, подвергнутых баротермической обработке в разных условиях, может служить косвенным показателем различий в глубине происходящих при этом гидролитических превращений. Для определения границ и положения температурных переходов определены первая и вторая температурные производные динамического модуля сдвига. Их анализ позволяет точнее определять положение переходных областей по сравнению с традиционными графическими способами [19]. Положению температурных переходов соответствуют точки минимумов на температурных зависимостях первой температурной производной G' , а границам — точки перегибов

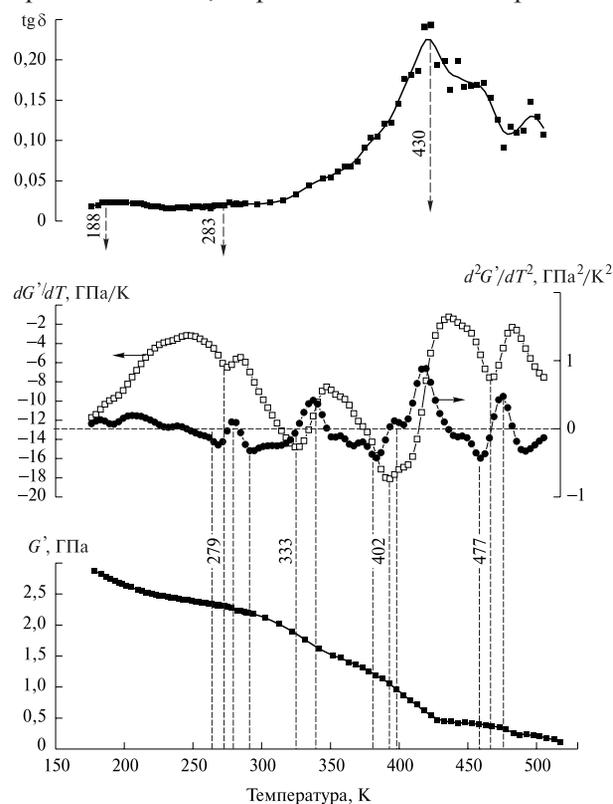


Рис. 1. Температурные зависимости динамического модуля сдвига G' , тангенса угла механических потерь $\text{tg}\delta$, первой и второй температурной производной G' композиционного материала из древесины березы с добавлением 0,05 м.ч. (массовых частей) щавелевой кислоты

Fig. 1. Temperature dependences of the dynamic shear modulus G' , the tangent of the angle of mechanical losses $\text{tg}\delta$, the first and second temperature derivatives G' of a composite material from birch wood with the addition of 0,05 oxalic acid weight fraction

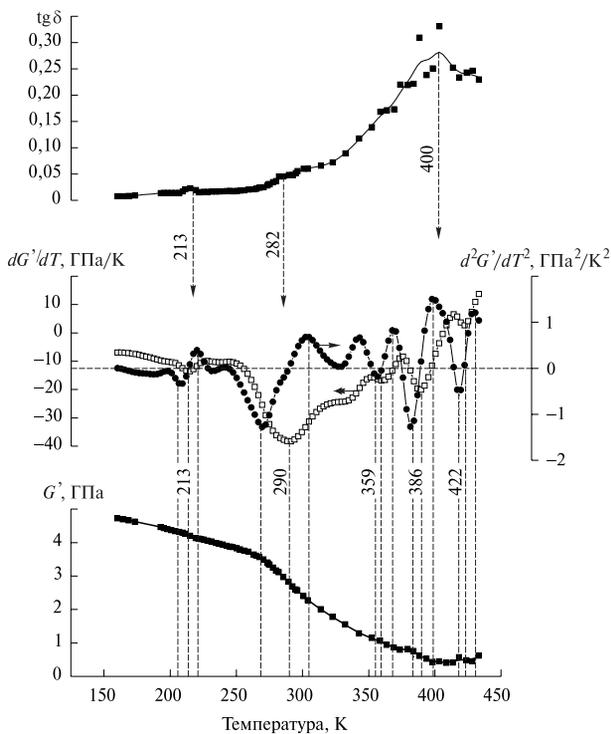


Рис. 2. Температурные зависимости динамического модуля сдвига G' , тангенса угла механических потерь $\text{tg}\delta$, первой и второй температурной производной G' композиционного материала из древесины березы с добавлением 1,0 м.ч. щавелевой кислоты

Fig. 2. Temperature dependences of the dynamic shear modulus G' , the tangent of the angle of mechanical losses $\text{tg}\delta$, the first and second temperature derivatives G' of a composite material from birch wood with the addition of 1,0 oxalic acid weight fraction

на зависимостях второй температурной производной G' . Для определения положения температурных переходов в работе также использован один из традиционных методов — по положению максимума на температурных зависимостях $\text{tg}\delta$.

Результаты и обсуждение

Предполагается, что применение катализаторов способствует более глубокому протеканию гидролитических процессов в древесном материале. Варьируя их количеством, можно существенно уменьшить температуру стеклования комплекса аморфных компонентов древесного вещества, участвующих в поликонденсационных процессах на стадии формирования композитной структуры материала. В свою очередь, уменьшение температуры стеклования позволяет пропорционально уменьшить температуру прессования композиционного материала без какого-либо ухудшения его эксплуатационных характеристик. Выявленные изменения могут быть направлены на повышение потенциальной конкурентоспособности материала.

В соответствии с принятой методикой предварительной обработки, перед стадией взрывного

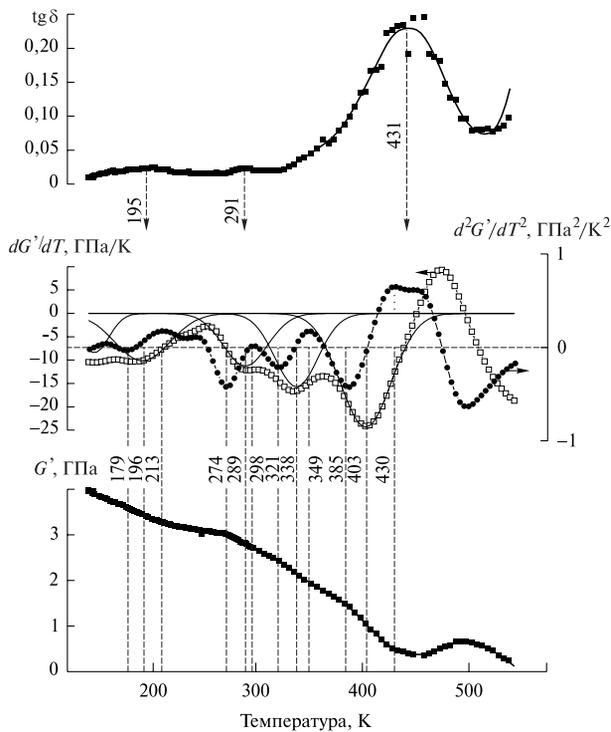


Рис. 3. Температурные зависимости динамического модуля сдвига G' , тангенса угла механических потерь $\text{tg}\delta$ первой и второй температурной производной G' композиционного материала из древесины березы с добавлением 0,1 м.ч. янтарной кислоты

Fig. 3. Temperature dependences of the dynamic shear modulus G' , the tangent of the angle of mechanical losses $\text{tg}\delta$, the first and second temperature derivatives G' of a composite material made of birch wood with the addition of 0,1 succinic acid weight fraction

гидролиза древесину обрабатывали водным раствором гидролизующего вещества — янтарной или щавелевой кислоты [20]. Диссоциация кислот увеличивает концентрацию ионов гидроксония в реакционной среде, что способствует увеличению скорости разрушения гликозидных связей. Результатом становится возрастание константы скорости образования редуцирующих веществ в гидролизованной древесной массе. Константы диссоциации этих кислот невелики, поэтому по сравнению с серной или ортофосфорной кислотами они обладают важным преимуществом — не оказывают выраженного окисляюще-деструктирующего действия на лигноуглеводный комплекс при его горячем прессовании в композиционный материал. В свою очередь, горячее прессование волокнистой массы с большим количеством редуцирующих веществ позволяет получать композиционный материал с более высокими физико-механическими характеристиками [14]. Предварительные эксперименты показали, что применение гидролизующих добавок позволяет уменьшить температуру баротермической обработки и горячего прессования без ухудшения

свойств получаемого композитного материала [14]. Дополнительным преимуществом выбранных органических кислот следует считать их относительную доступность, удобство транспортировки и нетоксичность.

Глубину структурных превращений аморфной компоненты древесного вещества после баротермической обработки в присутствии гидролизующего агента и последующего горячего прессования в композиционный материал отражают температурные зависимости динамического модуля сдвига (см. рис. 1–4). Из полученных результатов следует, что изменение характеристик материала по сравнению с контрольными образцами происходит при введении даже небольшого количества янтарной или щавелевой кислот. В области низких температур было выявлено два температурных перехода.

В диапазоне температур 183..203К (–90...–70 °С) расположен низкотемпературный переход, положение которого фиксируется как по максимуму $\text{tg}\delta$, так и по характеру изменения G' . Увеличение количества используемых при гидролизе кислот приводит лишь к незначительному смещению этого перехода в сторону более высоких температур. Принято считать, что в данной области переходы связаны с размораживанием колебаний групп $-\text{CH}_2\text{OH}$ у целлюлозы с высокой степенью кристалличности [21]. Таким образом, применение гидролизующих веществ практически не оказывает влияния на подобные процессы.

В исходной древесине березы переходы в диапазоне температур 233..343К (–40...–70 °С) связаны с процессами размораживания подвижности молекулярных цепочек в аморфизованных компонентах целлюлозы, а также пластифицированных водой гемицеллюлозах и лигнине [14, 21]. Гидролиз с использованием небольшого количества органических кислот и последующее горячее прессование композиционного материала влияния на данные процессы практически не оказывают. При увеличении количества щавелевой кислоты до 1...5 % происходит заметное смещение характеристической температуры перехода в низкотемпературную область. В композиционном материале, получаемом при использовании любых количеств янтарной кислоты, данный температурный переход расположен в диапазоне 284...295К (11...22 °С), а при использовании щавелевой кислоты — в диапазоне 266...290К (–7...11 °С).

Иная картина наблюдается в области наиболее интенсивного температурного перехода, соответствующего процессам расстекловывания комплекса аморфных компонентов материала при температурах 443..493К (170...220 °С). С увеличением количества гидролизующего вещества,

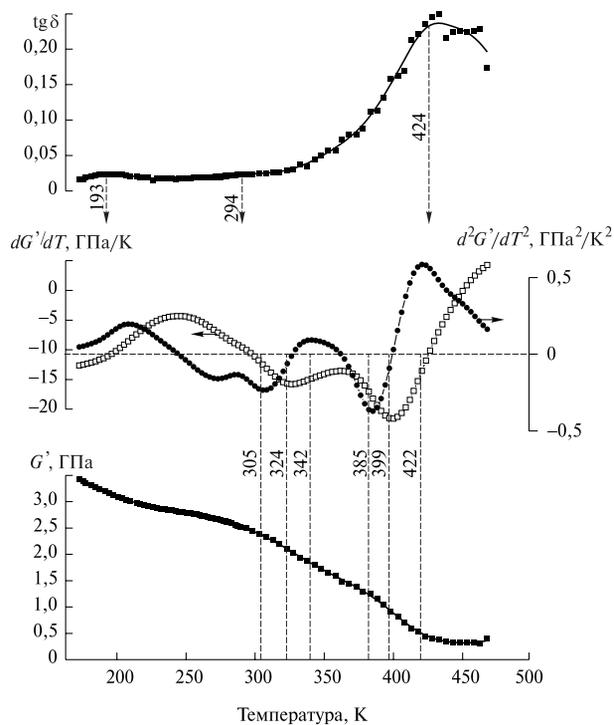


Рис. 4. Температурные зависимости динамического модуля сдвига G' , тангенса угла механических потерь $\text{tg}\delta$, первой и второй температурной производной G' композиционного материала из древесины березы с добавлением 1,0 м.ч. янтарной кислоты

Fig. 4. Temperature dependences of the dynamic shear modulus G' , the tangent of the angle of mechanical losses $\text{tg}\delta$, the first and second temperature derivatives G' of a composite material made of birch wood with the addition of 1,0 succinic acid weight fraction

наблюдается выраженная тенденция уменьшения температуры стеклования (рис. 5, 6). Полученные зависимости описывает обратный экспоненциальный закон первого порядка. Характерно наличие области насыщения, при достижении которой дальнейшее увеличение количества гидролизующего вещества не оказывает влияния на положение данного температурного перехода. В композиционном материале, получаемом с использованием щавелевой кислоты, интенсивное уменьшение температуры стеклования происходит при увеличении содержания кислоты до 0,5...1 %. Дальнейшее увеличение количества гидролизующего вещества приводит практически к исчезновению данного перехода либо его совмещению с описанным выше переходом в низкотемпературном диапазоне. Температура стеклования аморфных компонентов в материале, полученном с использованием янтарной кислоты, интенсивно уменьшается до 5%-го содержания кислоты.

Уменьшение температуры стеклования аморфной составляющей в исследованных образцах по сравнению с композиционным материалом, полученным без добавления гидролизующего вещества, следует считать свидетельством повы-

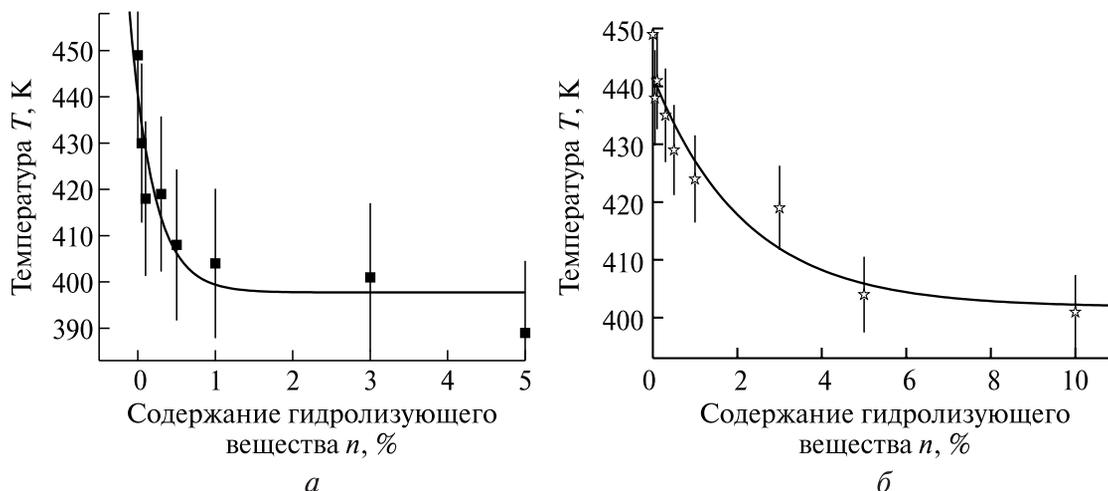


Рис. 5. Зависимость температуры стеклования комплекса аморфных компонентов (определена по положению точки максимума на температурной зависимости тангенса угла механических потерь) от содержания гидролизующего вещества: а — щавелевой кислоты, б — янтарной кислоты

Fig. 5. The dependence of the glass transition temperature of the complex of amorphous components (determined by the position of the maximum point on the temperature dependence of the tangent of the angle of mechanical losses) on the content of the hydrolyzing substance: a — oxalic acid, b — succinic acid

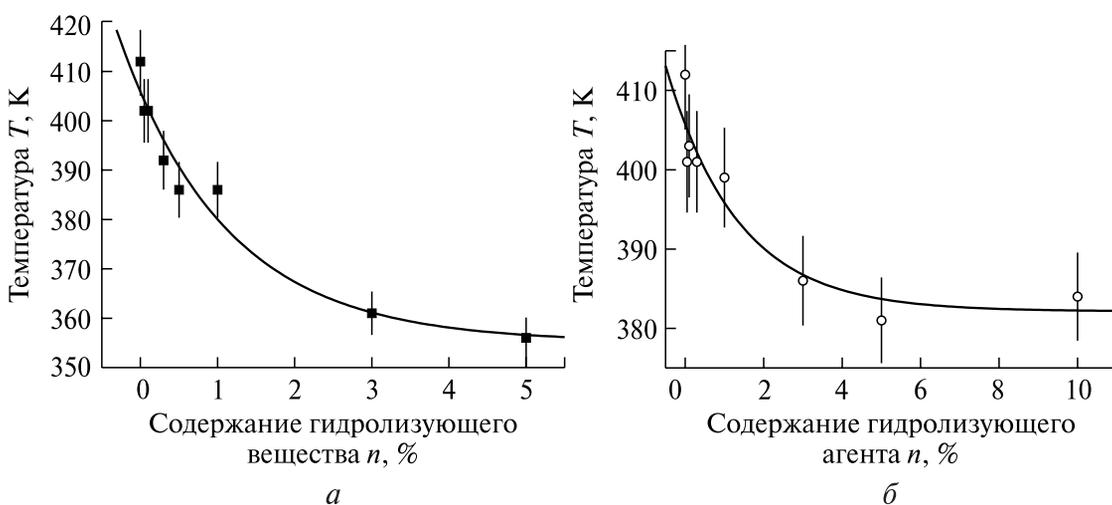


Рис. 6. Зависимость температуры стеклования комплекса аморфных компонентов (определена по температурной зависимости динамического модуля сдвига) от содержания гидролизующего вещества: а — щавелевой кислоты, б — янтарной кислоты

Fig. 6. The dependence of the glass transition temperature of the complex of amorphous components (determined by the temperature dependence of the dynamic shear modulus) on the content of the hydrolyzing substance: a — oxalic acid, b — succinic acid

шения гибкости молекулярных цепей лигноцеллюлозного комплекса. Образованные в процессе гидролиза полисахариды и низкомолекулярные фрагменты лигнина, участвующие в реакции поликонденсации на стадии горячего прессования композиционного материала, пластифицируют материал, облегчая подвижность его кинетических сегментов. Весьма вероятно, что эффект дополнительно усиливается вследствие деструкции лигнина и облегчения его сегментальной подвижности. В присутствии гидролизующего агента при баротермической обработке образование сахаров и деструкция лигнина могут происходить с боль-

шей скоростью, что и определяет дополнительное уменьшение температуры стеклования в некристаллизованных компонентах материала [14]. Подтверждением гипотезы может служить пример использования перекиси (пероксида) водорода, рассмотренный в работе [14], где рассмотрены аналогичные процессы. Замедление темпа снижения температуры стеклования и последующее «исчезновение» перехода можно считать результатом постепенного уменьшения интенсивности гидролитических процессов ввиду сокращения остаточного количества негидролизованых компонентов при увеличении концентрации кислот.

Выводы

Конденсационные процессы, протекающие в гидролизованной древесной массе в присутствии янтарной и щавелевой кислот, приводят к значительному уменьшению температуры стеклования аморфной части композиционного материала, получаемого из гидролизованной древесины березы. По сравнению с материалом, получаемым без применения гидролизующих веществ, уменьшение температуры стеклования составляет более чем 60 К, а по сравнению с необработанной древесиной — 70К.

Результаты выполненных исследований позволяют утверждать, что, варьируя видом и количеством гидролизующего вещества, можно предопределять интенсивность межмолекулярного взаимодействия в получаемом композиционном материале. Тем самым есть возможность влиять на его физико-механические характеристики. Положение точки стеклования характеризует показатель термической стабильности композиционного материала и является важным параметром при оценке его эксплуатационных возможностей.

Оптимальным количеством янтарной кислоты для получения композиционного материала следует считать 3,0 %, а щавелевой кислоты — 0,5 % массы исходного древесного вещества. При данных значениях обеспечивается максимальная интенсивность уменьшения температуры стеклования аморфной составляющей в получаемом материале.

Столь выраженный эффект позволяет значительно уменьшить температуру прессования гидролизованной в присутствии этих кислот древесной массы. Кроме того, нахождение эффективного гидролизующего агента и способа его применения может позволить уменьшить жесткость процесса баротермической обработки, добиться более высокой степени гидролитических превращений в древесной массе, предназначенной для получения композитных материалов с заданными характеристиками.

Список литературы

- [1] Tribot A., Amer G., Abdou Alio M., de Baynast H., Delattre C., Pons A., Mathias J.D., Callois J.M., Vial C., Michaud P., Dussap C.G. Wood-lignin: Supply, extraction process and use as bio-based material // *European Polymer Journal*, 2019, v. 112, pp. 228–240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.01.007>
- [2] Nasir M., Khali D.P., Jawaid M., Tahir P.M., Siakeng R., Asim M., Khan T.A. Recent development in binderless fiber-board fabrication from agricultural residues: A review // *Construction and Building Materials*, 2019, v. 211, pp. 502–516. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.279>
- [3] Герасимова Л.А. Кадималиев Д.А. Влияние минеральных наполнителей на физико-механические свойства прессованных материалов из отходов древесины с применением биологических связующих // *Материалы XXII науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского гос. университета им. Н.П. Огарева*. Саранск, 25 сентября–01 октября 2018 г. Сб. материалов конф. В 3-х ч. Сост. А.В. Столяров. Отв. за вып. П.В. Сенин. Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, 2019. С. 9–12.
- [4] Денисенко Г.Д. Использование концентрированной серной кислоты на процесс гидролиза древесины // *Материалы III Междунар. науч.-техн. конф. «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»*. Санкт-Петербург, 24–26 мая 2017 г. / под редакцией В.М. Гедьо. СПб: СПбГЛТУ, 2018. С. 85–87.
- [5] Зарипов Ш.Г., Корниенко В.А. Гидролиз при конвективной сушке лиственных пиломатериалов низкотемпературными режимами // *Хвойные бореальной зоны*, 2018. Т. 36. № 6. С. 542–547.
- [6] Синицын Б.В., Угрюмов С.А. Эффективные способы химической переработки древесных отходов // Сб. ст. по материалам науч.-техн. конф. и Института технологических машин и транспорта леса по итогам науч.-исслед. работ 2018 г. Санкт-Петербург, 26 января–02 февраля 2018 г. / под ред. В.А. Соколовой. СПб.: СПбГЛТУ, 2019. С. 372–376.
- [7] Федотова Н.Н., Ёлкин В.А. Химический состав исходного сырья (древесной сосны), целлюлозы и гидролизата, полученного от спиртовой варки // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, 2018. № 222. С. 254–262.
- [8] Яценкова О.В., Скрипников А.М., Козлова С.А., Иванченко Н.М., Кузнецов Б.Н. Изучение влияния природы кислотных катализаторов на состав продуктов гидролиза гемицеллюлоз древесины сосны // *Журнал Сибирского федерального университета. Сер.: Химия*, 2018. Т. 11. № 1. С. 42–55.
- [9] Pasi Karinkanta, Ari Ämmälä, Mirja Illikainen, Jouko Niinimäki Fine grinding of wood – Overview from wood breakage to applications // *Biomass and Bioenergy*, 2018, v. 113, pp. 31–44 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.03.007>
- [10] Alireza Ashori. 2 – Hybrid thermoplastic composites using nonwood plant fibers. *Hybrid Polymer Composite Materials. Properties and Characterisation*. 2017, pp 39–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100787-7.00002-0>
- [11] Минин А.Н. Технология пьезотермопластиков. М.: Лесная пром-сть, 1965. 296 с.
- [12] Hama you Mahmouda Muhammad Moniruzzamana Suzana Yusupa Hazizan Md.Akil Pretreatment of oil palm biomass with ionic liquids: a new approach for fabrication of green composite board // *J. of Cleaner Production*, v. 126, 10 July 2016, pp. 677–685. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.138>
- [13] Ефремов А.А., Кузнецова С.А., Баловсяк М.Т., Винк В.А., Кузнецов Б.Н. Комплексная переработка древесины методом взрывного автогидролиза // *Сибирский химический журнал*, 1992. № 6. С. 36–42.
- [14] Скуридин Ю.Г. Строение и свойства композиционных материалов полученных из отходов древесины после взрывного гидролиза: дис. ... канд. техн. наук. Барнаул, 2000. 135 с.
- [15] Overend R.P. Fractionation of lignocellulosics by steam aqueous pretreatments // *Philosophical Transactions of the Royal Society A.*, 1987, v. 321, no. 1561, pp. 523–536.
- [16] Startsev O.V., Salin B.N., Skuridin Yu.G., Utemesov R.M., Nasonov A.D. Physical Properties and Molecular Mobility of New Wood Composite Plastic «Thermobalite» // *Wood Science and Technology*, 1999, v. 33, no. 1, pp. 73–83.

- [17] Startsev, O.V., Salin B.N., Skurydin Yu.G. Barothermal hydrolysis of wood in presence of mineral acids // Reports of the Academy of Sciences, 2000, t. 370, no. 5, pp. 638–641.
- [18] Старцев О.В., Сортыяков Е.Д., Исупов В.В., Насонов А.Д., Скурыдин Ю.Г., Коваленко А.А., Никишин Е.Ф. Акустическая спектроскопия полимерных композиционных материалов, экспонированных в открытом космосе Экспериментальные методы в физике структурно – неоднородных сред / под ред. Старцева О.В., Ворова Ю.Г. Барнаул: Алтайский государственный университет, 1997. 148 с.
- [19] Исупов В.В., Старцев О.В. Численные методы в динамической механической спектроскопии полимеров // Тез. докл. Междунар. конф., посвященной 75-летию выдающегося математика и механика, организатора науки академика Николая Николаевича Яненко «Математические модели и численные методы механики сплошных сред». Новосибирск, 27 мая–02 июня 1996 г. / под ред. Ю.И. Шокина. Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 1996. С. 292–293.
- [20] Файтельсон В.А., Табачник Л.Б., Попова Л.М., Балицкая Р.А. Влияние состава смешанных отходов термопластов на свойства высоконаполненных композиций // Пластические массы, 1993. № 3. С. 34–36.
- [21] Шахзадян Э.А., Квачев Ю.П., Папков В.С. Температурные переходы в древесине и ее компонентах // Высокмолекулярные соединения, 1992. Т. 34 (А). № 9. С. 3–14.

Сведения об авторах

Скурыдин Юрий Геннадьевич — канд. техн. наук, доцент кафедры вычислительной техники и электроники ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», skur@rambler.ru

Скурыдина Елена Михайловна — канд. техн. наук, доцент, кафедры информационных технологий ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический университет», skudem@rambler.ru

Поступила в редакцию 06.02.2020.

Принята к публикации 25.03.2020.

DYNAMIC MECHANICAL CHARACTERISTICS OF BIRCH WOOD COMPOSITE MATERIALS HYDROLYZED IN PRESENCE OF ORGANIC ACIDS

Yu.G. Skuridin¹, E.M. Skuridina²

¹Altai State University, 61, Lenin Prospect, 656049, Barnaul, Russia

²Altai State Pedagogical University, 55, Molodjognaja st., 656031, Barnaul, Russia

skur@rambler.ru

Dynamic mechanical characteristics of composite materials obtained from birch wood after processing by explosive autohydrolysis are investigated. The treatment is performed in the presence of succinic and oxalic acids. Preliminary soaking of wood chips before barothermal treatment was carried out in the solution of catalysts. Composite materials are made by hot pressing without adding binders. The main reaction during pressing is polycondensation of the components of the lignocellulose complex activated by hydrolysis of wood tissue. The study of composite materials was carried out by the method of dynamic mechanical analysis on the reverse torsional pendulum in the temperature range from 150 to 550K. It was found that the use of organic acids at the stage of explosive autohydrolysis contributes to the intensification of the hydrolysis process. The glass transition temperature of the complex of amorphous components of the composite material decreases. The dependence of the glass transition temperature on the concentration of hydrolysis catalysts, which are determined by the temperature dependence of the tangent of the angle of mechanical losses and the dynamic shear modulus, are inversely exponential. When oxalic acid is used, an intensive decrease in the glass transition temperature occurs with an increase in its concentration to 1...2 %, and when using succinic acid to a concentration of 2,5...5 %. Further increase in the concentration of catalysts on the glass transition temperature has virtually no effect. The detected effects can be used to optimize the processes of obtaining composite materials based on hydrolyzed wood.

Keywords: explosive autohydrolysis, birch wood, composite material, dynamic mechanical analysis, dynamic shear modulus, mechanical loss angle tangent, glass transition temperature

Suggested citation: Skuridin Yu.G., Skuridina E.M. *Dinamicheskie mekhanicheskie harakteristiki kompozicionnykh materialov iz drevesiny berezy, gidrolizovannoj v prisustvii organicheskikh kislot* [Dynamic mechanical characteristics of birch wood composite materials hydrolyzed in presence of organic acids] Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 110–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-110-117

References

- [1] Tribot A., Amer G., Abdou Alio M., de Baynast H., Delattre C., Pons A., Mathias J.D., Callois J.M., Vial C., Michaud P., Dussap C.G. Wood-lignin: Supply, extraction process and use as bio-based material. *European Polymer Journal*, 2019, v. 112, pp. 228–240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.01.007>
- [2] Nasir M., Khali D.P., Jawaid M., Tahir P.M., Siakeng R., Asim M., Khan T.A. Recent development in binderless fiber-board fabrication from agricultural residues: A review. *Construction and Building Materials*, 2019, v. 211, pp. 502–516. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.279>
- [3] Gerasimova L.A., Kadimaliev D.A. *Vliyanie mineral'nykh napolniteley na fiziko-mekhanicheskie svoystva pressovannykh materialov iz otkhodov drevesiny s primeneniem biologicheskikh svyazuyushchikh* [Vliyanie mineral'nykh napolniteley

- na fiziko-mekhanicheskie svoystva pressovannykh materialov iz otkhodov drevesiny s primeneniem biologicheskikh svyazuuyushchikh] Materialy XXII nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchennykh, aspirantov i studentov Natsional'nogo issledovatel'skogo Mordovskogo gos. universiteta im. N.P. Ogareva. Saransk, 25 sentyabrya–01 oktyabrya 2018 g. Sb. materialov konf. V 3-kh ch. Sost. A.V. Stolyarov. Otv. za vyp. P.V. Senin [Materials of the XXII scientific-practical conference of young scientists, graduate students and students of the National Research Mordovian State University named after N.P. Ogareva Conference proceedings. In 3 parts. Compiled by A.V. Joiners. Responsible for the release of P.V. Senin]. Saransk: National Research Mordovian State University named after N.P. Ogareva, 2019, pp. 9–12.
- [4] Denisenko G.D. *Ispol'zovanie kontsentrirovannoy sernoy kisloty na protsess gidroliza drevesiny* [The use of concentrated sulfuric acid on the process of wood hydrolysis] Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie». Sankt-Peterburg, 24–26 maya 2017 g. [Forests of Russia: politics, industry, science, education Materials of the third international scientific and technical conference]. Ed. V.M. Ged'o. Sankt Peterburg: SPbGLTU, 2018, pp. 85–87.
- [5] Zaripov Sh.G., Kornienko V.A. *Gidroliz pri konvektivnoy sushke listvennichnykh pilomaterialov nizkotemperaturnymi rezhimami* [Hydrolysis during convective drying of larch lumber with low temperature conditions]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zones], 2018, t. 36, v. 6, pp. 542–547.
- [6] Sinitsyn B.V., Ugryumov S.A. *Effektivnye sposoby khimicheskoy pererabotki drevesnykh otkhodov* [Effective methods of chemical processing of wood waste] Sb. st. po materialam nauchno-tekhnicheskoy konferentsii Instituta tekhnologicheskikh mashin i transporta lesa po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot 2018 goda. Sankt-Peterburg, 26 yanvarya–02 fevralya 2018 g. [In the collection: Collection of articles on the materials of the scientific and technical conference of the Institute of Technological Machines and Forest Transport based on the results of scientific research in 2018]. Ed. V.A. Sokolova. Sankt Peterburg: SPbGLTU, 2019, pp. 372–376.
- [7] Fedotova N.N., Elkin V.A. *Khimicheskii sostav iskhodnogo syr'ya (drevesnoy sosny), tsellolignina i gidrolizata, poluchennogo ot spirtovoy varki* [The chemical composition of the feedstock (wood pine), cellulose and hydrolyzate obtained from alcohol cooking]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the St. Petersburg Forestry Academy.], 2018, v. 222, pp. 254–262.
- [8] Yatsenkova O.V., Skripnikov A.M., Kozlova S.A., Ivanchenko N.M., Kuznetsov B.N. *Izuchenie vliyaniya prirody kislotnykh katalizatorov na sostav produktov gidroliza gemitsellyuloz drevesiny sosny* [Studying the influence of the nature of acidic catalysts on the composition of products of hydrolysis of pine wood hemicelluloses]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Khimiya* [Journal of Siberian Federal University. Series: Chemistry], 2018, t. 11, v. 1, pp. 42–55.
- [9] Pasi Karinkanta, Ari Ämmälä, Mirja Illikainen, Jouko Niinimäki *Fine grinding of wood – Overview from wood breakage to applications. Biomass and Bioenergy*, 2018, v. 113, pp. 31–44 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.03.007>
- [10] Alireza Ashori. 2 – Hybrid thermoplastic composites using nonwood plant fibers. *Hybrid Polymer Composite Materials. Properties and Characterisation*. 2017, pp 39–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100787-7.00002-0>
- [11] Minin A.N. *Tekhnologiya p'ezotermoplastikov* [Technology of piezothermoplastics]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1965, p. 296.
- [12] Hamayoun Mahmooda Muhammad Moniruzzamana Suzana Yusupa Hazizan Md.Akil Pretreatment of oil palm biomass with ionic liquids: a new approach for fabrication of green composite board. *J. of Cleaner Production*, v. 126, 10 July 2016, pp. 677–685. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.138>
- [13] Efremov A.A., Kuznetsova S.A., Balovsyak M.T., Vink V.A., Kuznetsov B.N. *Kompleksnaya pererabotka drevesiny metodom vzryvnogo avtogidroliza* [Integrated wood processing by explosive autohydrolysis]. *Sibirskiy khimicheskii zhurnal* [Siberian Chemical Journal], 1992, no. 6, pp. 36–42.
- [14] Skurydin Yu.G. *Stroenie i svoystva kompozitsionnykh materialov poluchennykh iz otkhodov drevesiny posle vzryvnogo gidroliza* [The structure and properties of composite materials obtained from waste wood after explosive hydrolysis]. *Diss. Sci. (Tech.)*. Barnaul, 2000, p. 135.
- [15] Overend R.P. Fractionation of lignocelluloses by steam aqueous pretreatments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A.*, 1987, v. 321, no. 1561, pp. 523–536.
- [16] Startsev O.V., Salin B.N., Skuridin Yu.G., Utemesov R.M., Nasonov A.D. Physical Properties and Molecular Mobility of New Wood Composite Plastic «Thermobalite». *Wood Science and Technology*, 1999, v. 33, no. 1, pp. 73–83.
- [17] Startsev, O.V., Salin B.N., Skurydin Yu.G. Barothermal hydrolysis of wood in presence of mineral acids. *Reports of the Academy of Sciences*, 2000, t. 370, no. 5, pp. 638–641.
- [18] Startsev O.V., Sortyakov E.D., Isupov V.V., Nasonov A.D., Skurydin Yu.G., Kovalenko A.A., Nikishin E.F. *Akusticheskaya spektroskopiya polimernykh kompozitsionnykh materialov, eksponirovannykh v otkrytom kosmose Eksperimental'nye metody v fizike strukturno – neodnorodnykh sred* [Acoustic spectroscopy of polymer composite materials exposed in open space. Experimental methods in the physics of structurally inhomogeneous media.]. Ed. Starcev O.V., Vorov. Barnaul: ASU, 1997, p. 148.
- [19] Isupov V.V., Startsev O.V. *Chislennyye metody v dinamicheskoy mekhanicheskoy spektroskopii polimerov* [Numerical methods in dynamic mechanical spectroscopy of polymers] *Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu vydayushchegosya matematika i mekhanika, organizatora nauki akademika Nikolaya Nikolaevicha Yanenko «Matematicheskie modeli i chislennyye metody mekhaniki sploshnykh sred»* [Mathematical models and numerical methods of continuum mechanics]. Ed. Yu.I. Shokin. Novosibirsk: Sibirskoe otdelenie RAN, 1996, pp. 292–293.
- [20] Faytel'son V.A., Tabachnik L.B., Popova L.M., Balitskaya R.A. *Vliyanie sostava smeshannykh otkhodov termoplastov na svoystva vysokonapolnennykh kompozitsiy* [The effect of the composition of mixed waste thermoplastics on the properties of highly filled composites]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 1993, v. 3, pp. 34–36.
- [21] Shakhzadyan E.A., Kvachev Yu.P., Papkov V.S. *Temperaturnyye perekhody v drevesine i ee komponentakh* [Temperature transitions in wood and its components]. *Vysokomolekulyarnyye soedineniya* [High-molecular compounds], 1992, t. 34 (A), v. 9, pp. 3–14.

Authors' information

Skurydin Yuriy Gennad'evich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Computing Engineering and Electronics Altai State University, skur@rambler.ru

Skurydina Elena Mikhaylovna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Information Technologies Altai State Pedagogical University, skudem@rambler.ru

Received 06.02.2020.

Accepted for publication 25.03.2020.

ПРОГРАММНОЕ И АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Е.Г. Комаров, П.А. Тарасенко, М.Е. Удалов, О.К. Чернобровина

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005,

komarov@mgul.ac.ru

Рассмотрены принципы организации лабораторного стенда, в состав которого помимо лабораторно-технической платформы и персонального компьютера включен программируемый микроконтроллер, что обеспечивает решение задач информационно-измерительных систем в рамках лабораторного практикума и научно-исследовательской работы путем увеличения скорости обработки измерительной информации и общего быстродействия стенда. Изложены обоснование и формулировка требований к организации и ведению аппаратного и программного обеспечения универсального лабораторного стенда.

Ключевые слова: приборостроение, лабораторный стенд, информационно-измерительные системы, микроконтроллер, программное обеспечение

Ссылка для цитирования: Комаров Е.Г., Тарасенко П.А., Удалов М.Е., Чернобровина О.К. Программное и аппаратное обеспечение универсального лабораторного стенда // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 118–127. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-118-127

Современный подход к образовательному процессу по направлению подготовки «Приборостроение» требует соответствующей организации средств лабораторного практикума. Эти требования обусловлены большим количеством задач, которые надо решить при экспериментальном подтверждении изучаемых физических эффектов исследуемых объектов, измерительных устройств и их характеристик [1]. Эти задачи решаются с использованием современных средств микропроцессорной техники, позволяющих провести согласование входных характеристик измерительного устройства с объектом измерения, и оптимальной организации структуры всей измерительной системы.

Перед приборостроением как областью науки и техники стоит задача разработки средств автоматизации и систем управления, как отраслью машиностроения — задача выпуска средств измерения, анализа, обработки и представления информации, устройств регулирования, автоматических и автоматизированных систем управления. В нормативных документах [2] приведено следующее определение: «Лабораторная установка (лабораторный стенд): техническое устройство, объединяющее в одно целое изучаемый или разрабатываемый объект и средства управления его состоянием или разработки, в том числе средства моделирования, наблюдения, контроля, измерения свойств объекта и свойств окружающей среды».

Цель работы

Цель работы — обоснование условий разработки универсального лабораторного стенда для выполнения лабораторных работ и научно-исследовательских экспериментов по направлению

подготовки «Приборостроение» при решении задач научно-исследовательской тематики.

Материалы и методы

Универсализация лабораторного стенда в рамках подготовки специалистов в области приборостроения, ограничена воспроизводством с помощью средств этого лабораторного стенда как собственно автоматической или автоматизированной системы управления, так и в сочетании с объектом управления [3–7].

Общая схема решения задачи управления приведена на рис. 1.

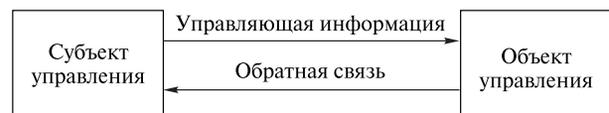


Рис. 1. Общее представление задачи управления
Fig. 1. General view of the management problem

Главной отличительной чертой такого воспроизводства должна стать способность лабораторного стенда моделировать, наблюдать, контролировать и измерять параметры объекта и параметры окружающей его среды как посредством воспроизведенной системы управления, так и независимо от нее [8, 9]. При этом и свойства воспроизведенной на стенде системы управления также должны быть доступны независимому наблюдению.

Это дополнительное требование относительно системы управления, решающей задачи той же сложности на производстве. Для описания этого усложнения введем понятие «виртуального субъекта», т. е. субъекта системы управления, воспроизведенной средствами лабораторного стенда, в то время как действительным субъектом управ-

ления является сам обучаемый или исследователь [10, 11]. Такое разделение вовсе не обязательно должно быть четким и однозначным для всякой лабораторной или исследовательской работы, однако будучи принятым во внимание, оно позволяет уточнить структуру лабораторного стенда как в аппаратном, так и в программном содержании и облегчает разработку лабораторной работы в ее методическом и организационном аспектах.

Обобщенная структурная схема лабораторного стенда, обеспечивающего лабораторные работы при подготовке специалистов в области приборостроения, приведена на рис. 2.

Обратную связь в схеме на рис. 1 и обратные связи в схеме на рис. 2, применительно к решаемой задаче подготовки специалистов в области приборостроения в подавляющем большинстве случаев представляют собой потоки измерительной информации, полученной при реализации процесса, требующего от аппаратных средств лабораторного стенда решения следующих задач:

- возбуждение активных измерительных преобразователей;
- преобразование сигнала;
- передача сигнала;
- обработка информации;
- регистрация информации;
- индикация информации.

Очевидным средством решения задач обработки, регистрации данных и их индикации на уровне, достаточном для обеспечения лабораторного практикума, в большинстве случаев становится персональный компьютер (ПК), со стандартным системным программным обеспечением (ПО), специализированным инструментальным ПО, а также прикладным ПО, которое может быть и уникальным, т. е. созданным в порядке разработки отдельно взятой лабораторной работы или полученным при решении задач лабораторного практикума самим учащимся.

Поэтому обязательной частью аппаратного обеспечения универсального лабораторного стенда является обычный ПК с операционной системой Windows или любой другой системой, с которой обучающийся имеет достаточный для использования опыт работы.

В целях экономии времени на подготовку к проведению лабораторных работ и на их обслуживание, подключение ПК к остальным устройствам стенда обеспечивается с помощью стандартного набора компьютерных портов:

- LPT-порт (стандарт IEEE 1284) [3];
- последовательный порт (COM-порт, стандарт RS-232C, поддерживается IBM PC не в полном объеме) [4];
- USB-порт (интерфейс USB различных версий) [5];



Рис. 2. Обобщенная структурная схема лабораторного стенда
Fig. 2. Generalized structural diagram of the laboratory bench



Рис. 3. Лабораторно-техническая платформа NI ELVIS II с макетной платой общего назначения
Fig. 3. Laboratory technical platform NI ELVIS II with a general purpose breadboard

- разъемы видеокарты (стандарты VGA, DVI, HDMI или DisplayPort) [6].

Очевидно, что лучше всего указанным целям соответствует USB-порт. Это — последовательный порт с весьма сложной реализацией контроллера ввода-вывода, которая вряд ли может быть подвергнута ревизии. Отсюда следует, что устройства универсального лабораторного стенда должны самостоятельно решать задачу приведения данных, полученных при измерениях и передаваемых на ПК к совместимости с действующими стандартами для USB-порта.

Иными словами, аппаратное обеспечение универсального лабораторного стенда должно состоять из готовых устройств, совместимых с ПК (в идеале на уровне plug-and-play) и поддерживать решение задач возбуждения измерительной цепи, преобразования и передачи сигнала в ней.

В качестве примера такого устройства можно рассмотреть NI ELVIS II — модульную образовательную лабораторно-техническую платформу, разработанную специально для учебных заведений [7, 12–14]. Платформа включает в себя следующие приборы (рис. 3):

- генератор сигналов произвольной формы;

- анализатор амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик (анализатор Боде);
- цифровой ввод-вывод;
- цифровой мультиметр;
- анализатор спектра;
- генератор стандартных сигналов;
- анализатор импеданса;
- осциллограф.

Платформа также поддерживает специализированные макетные платы и платы общего назначения.

Необходимо указать на отсутствие у NI ELVIS II собственных программируемых вычислительных мощностей, как следствие, на ограниченные возможности по обработке сигнала, и на отсутствие собственных программируемых средств регистрации и индикации.

Это означает, что быстродействие лабораторного стенда, составленного из ПК и NI ELVIS II с макетной платой общего назначения, будет жестко ограничено пропускной способностью соединения между ними и быстродействием ПО, работающего исключительно на ПК.

Этого ограничения можно избежать и обеспечить необходимую универсальность лабораторного стенда, используя в нем дополнительные вычислительные мощности на основе простых и дешевых микроконтроллеров, размещенных на отдельных платах с большими отладочными возможностями.

В качестве примера такого микроконтроллера рассмотрим 8-битный микроконтроллер PIC16F1619 фирмы Microchip Technology Inc. на отладочной плате Curiosity того же производителя [8]. Кафедра К2 МФ «Информационно-измерительные системы и технологии приборостроения» благодаря сотрудничеству с НВП «Болид» в настоящее время располагает аппаратурой на основе этого устройства (рис. 4).



Рис. 4. Внешний вид модуля микроконтроллера
Fig. 4. The appearance of the microcontroller module

Основные характеристики микроконтроллера PIC16F1619:

- скорость центрального процессора 8 МИПС;
- 14 Кб программной и 1 Кб SRAM памяти;
- 12-канальный, 10-битный аналого-цифровой преобразователь;
- четыре 8-битных и три 16-битных таймера;
- внутренний осциллятор 32 МГц;
- ускоритель математических вычислений;
- независимые от ядра периферийные блоки;
- пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор;
- UART, SPI и I2C цифровые коммуникационные устройства.

Перечисленные характеристики дают возможность этому микроконтроллеру решать задачи возбуждения активных датчиков, формирования и преобразования сигнала как в измерительных системах, так и в системах управления с точностью, удовлетворяющей требованиям лабораторного практикума, со скоростью, превосходящей ту, которую может обеспечить обычный ПК под управлением операционной системы общего пользования.

Причинами ограничений сложности решаемых задач служат малый объем оперативной памяти устройства и отсутствие сколько-нибудь развитых средств представления измерительной информации, на обслуживание которых потребовалась бы значительная часть его вычислительного ресурса. Однако сопряжение микроконтроллера с ПК в едином лабораторном стенде позволяет избежать эти ограничения с помощью сохранения за микроконтроллером выполнения простых и неотложных задач и делегирование «большой» ЭВМ сложных и некритичных по времени вычислений, связанных с конечной обработкой, регистрацией и индикацией результатов работы системы управления.

Кроме того, лабораторный стенд может включать в себя устройства сопряжения, исследуемого в рамках лабораторной работы объекта (объекта управления), микроконтроллера и лабораторной платформы по параметрам электрического сигнала. Такие устройства становятся необходимыми в случае несоответствия входных и выходных ограничений по электрическому сигналу у объекта управления, платформы и микроконтроллера.

Технические решения этих устройств (функциональные и масштабные преобразователи и др.) общеизвестны: их можно собрать в рамках самой лабораторной работы на макетной плате, можно заранее изготовить для проведения отдельной лабораторной работы или серии работ, и нет необходимости их подробно описывать.

Результаты и обсуждение

Проведем анализ структурной схемы универсального лабораторного стенда и необходимого программного обеспечения.

Из сравнения рис. 2 и рис. 5 видно, что микроконтроллер здесь имеет значение «виртуального субъекта». Таким образом, задачу лабораторной работы, проводимой на универсальном лабораторном стенде, можно воспринять как изучение обучающимся процессов измерения и управления, обеспеченных «малой ЭВМ» (микроконтроллером) с помощью реального «большого» ПК.

Программное обеспечение универсального лабораторного стенда составляют программные продукты, по своему назначению принадлежащие к различным группам: системные, инструментальные и прикладные.

Системное ПО универсального лабораторного стенда удобно интерпретировать как решение задачи экономии времени обучающегося в порядке выполнения им задания по лабораторной работе. Соответственно, при подборе этих программ следует исходить из возможного наличия у обучающегося предварительного опыта работы с ними или способности их быстрого освоения. Это обосновывает выбор операционной системы.

В настоящее время в подавляющем большинстве случаев применяется одна из версий ОС Windows компании Microsoft с развитыми сервисными системами.

Важно указать, что для работы с большим потоком информации, характерным для задач, решаемых с помощью универсального лабораторного стенда, могут потребоваться программные оболочки, отличные от предоставляемых операционной системой Windows. Может возникнуть необходимость выбора таких оболочек и ознакомления обучающихся с их работой.

Однако множество сервисных систем для универсального лабораторного стенда отнюдь не сводится к фирменным продуктам. Для проведения работ с учетом их специфики может потребоваться разработка, отладка и испытания программ-утилит: например, драйверов и коммуникационных программ, оптимизирующих режим работы с тем или иным объектом исследования [14, 15].

Сложность и трудоемкость задач могут различаться, однако для лаборатории вуза с ее переменным составом пользователей в любом случае важно соблюдать условия аккуратного ведения такой работы, упорядоченного хранения и применения различных версий самостоятельно разработанного системного ПО, каким бы простым оно ни было.

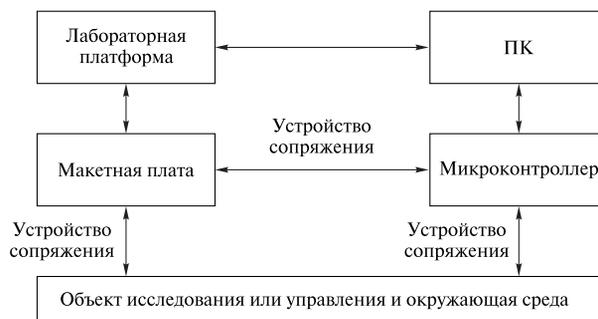


Рис. 5. Примерная структурная схема универсального лабораторного стенда для проведения лабораторных работ по направлению подготовки «Приборостроение»

Fig. 5. An approximate structural diagram of a universal laboratory bench for laboratory work for the degree «Instrument Engineering»

Необходимое инструментальное ПО универсального лабораторного стенда можно подразделить на две части.

Первая часть инструментального ПО универсального лабораторного стенда — это среда разработки программ для «большого» ПК, т. е. среда разработки программ, решающих задачи приема информации от лабораторной платформы и микроконтроллера, обработки этой информации, ее регистрации и индикации [16, 17]. Очевидно, что решение этих задач достаточно единообразно. Критерием пригодности такой среды для универсального лабораторного стенда будет наличие большой библиотеки готовых подпрограмм-решений с упорядоченной системой взаимосвязанных обращений к ним.

В настоящее время этому требованию полностью отвечает LabVIEW — среда предназначенная для разработки программ на графическом языке программирования «G» и платформа для выполнения таких программ [18, 19]. Среда LabVIEW предоставляет исчерпывающий набор решений как для регистрации и индикации результатов измерения средствами ПК, так и для управления. Среда LabVIEW сохраняет возможности пользователя решать задачи обработки информации более привычными методами — через запись формул с синтаксисом языка программирования «Си» [20] (рис. 6).

Необходимым условием применения такого прикладного ПО в универсальном лабораторном стенде становится быстрое и правильное понимание обучающимся интерфейса выполняемой программы, и это требование задают уровень и стандарты разработки таких интерфейсов и их разъяснений в методическом обеспечении лабораторного практикума.

Достаточным условием применения среды программирования LabVIEW в универсальном лабораторном стенде станет знакомство самого

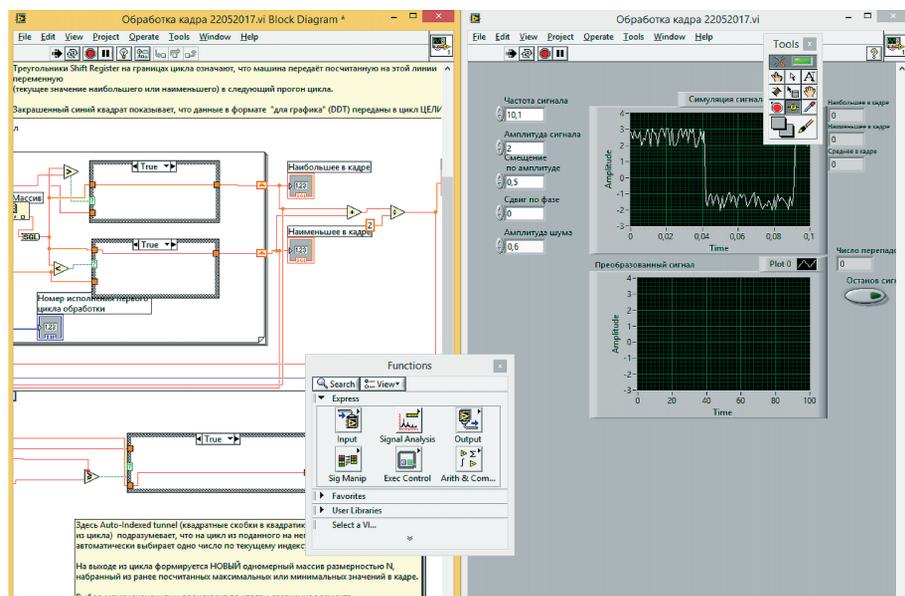


Рис. 6. Пример интерфейса программной среды LabVIEW
 Fig. 6. An example of the LabVIEW software environment interface

обучающегося с графическим языком программирования «G» на уровне, позволяющем составлять и анализировать простые программные решения по приему, регистрации и индикации измерительной информации, генерации и отправке сигналов управления [21, 22].

Приобретение таких навыков можно обеспечить через ввод в программы учебных дисциплин выпускающей кафедры соответствующих практических занятий и лабораторных работ, хотя бы виртуальных. Например, на кафедре «Информационно-измерительные системы и технологии приборостроения» практические занятия по темам «Основы работы в среде LabVIEW», «Организация ввода-вывода в информационно-измерительных системах с использованием NI ELVIS» и другим предусмотрены для учебной дисциплины «Проектирование приборов и систем».

Отметим, что ограничивающим фактором применения среды LabVIEW в операционной системе Windows для работы с лабораторной платформой NI ELVIS и макетной платой общего применения станут задержки по времени [21]. Мало предсказуемые, они вряд ли подлежат какой-то оптимизации в рамках лабораторного практикума. Особенно это касается «медленных» ПК с относительно малым объемом оперативной памяти.

Вторая часть инструментального ПО универсального лабораторного стенда — это среда разработки, отладки и ввода программ для микроконтроллера [23].

Эти прикладные программы решают задачи возбуждения активных измерительных преобразователей, преобразования и передачи сигнала, его обработки и, возможно, регистрации измеритель-

ной информации. Решение перечисленных задач весьма разнообразно, т. е. библиотека готовых типовых программ для универсального лабораторного стенда должна стать очень обширной, что потребует ее упорядоченного хранения и применения, ранее обозначенного для системного ПО.

Следовательно, инструментальное ПО для микроконтроллера должно опираться на широко распространенные языки программирования высокого уровня и предоставлять пользователю возможность работать с библиотекой готовых проектов, т. е. сравнительно простых, типовых прикладных программ, ориентированных на конкретные задачи отдельно взятой лабораторной работы [24].

Для микроконтроллеров семейства PIC компании Microchip Technology, один из которых был ранее рассмотрен как пример компоненты аппаратного обеспечения универсального лабораторного стенда. Этим условиям соответствует интегрированная среда разработки MPLAB, в том числе в своей свободно распространяемой версии [25, 26].

Среда MPLAB обеспечивает управление проектами, компиляцию машинного кода прикладной программы с языков программирования «Ассемблер» и «Си», моделирование поведения программы для поиска и устранения ошибок в алгоритме (рис. 7).

По аналогии с необходимым условием применения прикладного ПО для «большого» ПК для эффективного применения прикладных программ, разработанных в среде MPLAB, необходимым условием станет знакомство обучающихся с интерфейсом доступной им версии этой среды.

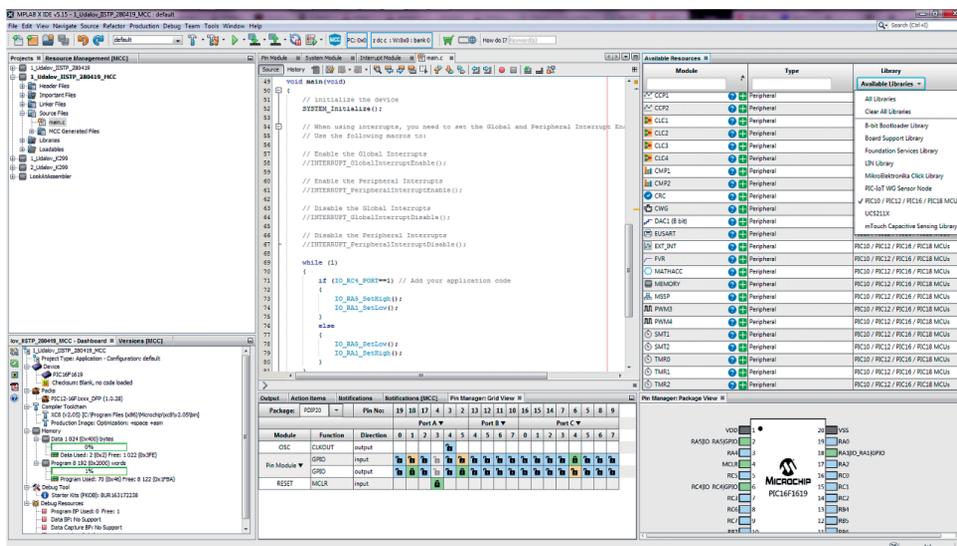


Рис. 7. Пример интерфейса интегрированной среды разработки MPLAB X IDE (версия, написанная на базе платформы NetBeans)
Fig. 7. An example of the interface of the integrated development environment MPLAB X IDE (version written on the basis of the NetBeans platform)

Добиться выполнения этого условия сложнее, чем в случае со средой LabVIEW, в силу большей специализации среды MPLAB.

Однако и здесь можно достичь нужного результата путем изучения этих вопросов в тех или иных учебных дисциплинах и введения их в тематику лабораторных и практических занятий, отвечающих требованиям преподаваемого предмета, с использованием интегрированной среды разработки MPLAB. Например, на кафедре «Информационно-измерительные системы и технологии приборостроения» такие лабораторные занятия, как «Программирование микроконтроллера PIC16F1619 в среде MPLAB X IDE с использованием MPLAB Code Configurator», предусмотрены для учебной дисциплины «Средства организации информационно-измерительных систем».

Напротив, выполнение достаточного условия применения прикладного ПО для микроконтроллера, сравнительно проще, чем ранее рассмотренного условия для «большого ПК». Для редактирования и разработки простых прикладных программ для микроконтроллера обучающимся необходимо иметь представление о языках программирования «Ассемблер» или «Си», уже заложенное в учебный план направления подготовки и обеспеченное другими кафедрами («Прикладная математика, информатика и вычислительная техника»).

Отметим, что среды LabVIEW и MPLAB представляют собой независимые одну от другой разработки разных авторских коллективов [27–29], запускаются на «большой» ПК одновременно в процессе выполнения лабораторного практикума, и все взаимодействие между ними в рамках



Рис. 8. Примерная организация работы с прикладным ПО универсального лабораторного стенда
Fig. 8. Approximate organization of work with applied software for a universal laboratory bench

отдельно взятой лабораторной работы должно быть предусмотрено на уровне прикладного ПО. Это накладывает дополнительные требования на разработку и отладку такового.

Прикладное ПО универсального лабораторного стенда представляет собой набор программных продуктов, созданных, отлаженных и модифицированных в средах LabVIEW и MPLAB как внешними разработчиками [30], так и преподавательским составом кафедры, и самими обучающимися в порядке практических и лабораторных занятий, а также квалификационных работ и научных исследований.

Разнообразие прикладного ПО как по решаемым задачам, так и по авторству и версиям разработанных решений ведет к уже указанному ранее требованию упорядоченности хранения и применения этого ПО, которую нельзя достичь исключительно техническими и программными

средствами. Необходимы соответствующее качество методического и организационного обеспечения лабораторного практикума, строгое администрирование парка ПК лаборатории (рис. 8).

Выводы

Предложенные принципы организации лабораторного стенда позволяют моделировать элементы и блоки информационно-измерительных систем.

Результаты разработки инструментального программного и аппаратного обеспечения лабораторного стенда в рамках лабораторного практикума по направлению «Приборостроение» используются в научно-исследовательской теме «Разработка и исследование методов и средств улучшения метрологических, технических и эксплуатационных характеристик устройств информационно-измерительной техники».

Список литературы

- [1] Полещук О.М., Комаров Е.Г., Тумор С.В. Повышение эффективности оценки параметров технических систем на основе учета разных типов неопределенности // Сб. тр. XI Отраслевой науч.-техн. конф. приборостроительных организаций ГК «РОСКОСМОС» «Информационно-управляющие и измерительные системы–2018», (Москва, 29 марта 2018 г.). М.: Спутник+, 2018. С. 18–23.
- [2] Васюков С.А. Системный подход применения электроизмерительных приборов и средств компьютерного моделирования в лабораториях вузов технического профиля // Машиностроение и компьютерные технологии, 2017. № 09. С. 24–43.
- [3] Хакимов Р.А., Газизов А.А., МаксUTOV А.М., Сапельников В.М. Исследование характеристик функционального ЦАП с помощью лабораторной установки NI ELVIS // Материалы II Междунар. науч. конф. «Современные проблемы радиоэлектроники» / под ред. Д.А. Безуглова. Ростов-на-Дону: Ростовская академия сервиса, 2007. Вып. 1. С. 605–608.
- [4] Тарасенко П.А., Клюев И.Г., Кузнецов Е.А. Программный стенд для проверки балансировки мостовых схем методом инжекции тока // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник, 2015. Т. 19. № 3. С. 125–130.
- [5] Поярков Н.Г., Комаров Е.А. Нечеткая модель выбора образовательных информационных ресурсов с заданными характеристиками качества // Сб. избр. статей по материалам научн. конф. ГНИИ «Нацразвитие», Санкт-Петербург, 29–31 мая 2019 г. Санкт-Петербург: ГНИИ «Нацразвитие», 2019. С. 142–146.
- [6] Васюков С.А. Комплексный подход к выбору оборудования в целях полноценного и качественного выполнения лабораторного практикума по электротехническим дисциплинам для специальностей технического профиля // Машиностроение и компьютерные технологии, 2016. № 11. С. 189–204.
- [7] Евдокимов Ю.К., Кирсанов А.Ю., Салахова А.Ш. Дистанционные автоматизированные учебные лаборатории и технологии дистанционного учебного эксперимента в техническом вузе // Открытое образование, 2009. № 5. С. 74–79.
- [8] Дмитриев В.М., Ганджа Т.В., Панов С.А. Система виртуальных инструментов и приборов для автоматизации учебных и научных экспериментов // Программные продукты и системы, 2016. № 3 (115). С. 154–161.
- [9] Яровая Я.В., Сухарев Е.Н. Применение технологии виртуальных приборов для обеспечения дисциплин радиотехнического профиля // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2014. № 10. С. 168–169.
- [10] Стукач О.В., Мирманов А.Б. Интегративный подход к преподаванию схемотехники аналоговых электронных устройств в программно-аппаратной среде Ni Elvis // Открытое образование, 2018. № 4. С. 4–11.
- [11] Шеин А.В., Карпунин В.С. Исследование лабораторного стенда National Instruments ELVIS II+ // Молодой ученый, 2016. № 13. С. 278–282.
- [12] Пилипенко А.М., Цветков Ф.А. Применение электронных симуляторов LabVIEW и Multisim для изучения базовых дисциплин по направлениям «Радиотехника» и «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» // Образовательные технологии и общество, 2013. № 4. С. 302–315.
- [13] Пятак И.М., Леонтьев Е.В. Моделирование радиотехнических устройств с регулируемыми параметрами в среде LabVIEW // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика, телекоммуникации и управление, 2015. № 4. С. 19–24.
- [14] Байдаров С.Ю., Бутаев М.М., Куроедов С.К., Светлов А.В. Использование технологии виртуальных приборов для определения частотных характеристик элементов и устройств систем управления // ИВУЗ Поволжский регион. Технические науки, 2012. № 1. С. 105–115.
- [15] Манонина И.В. Применение программы LabVIEW для изучения вопросов поверки измерительных приборов // Телекоммуникации и транспорт, 2012. Т. 6. № 8. С. 50–52.
- [16] Иншаков Ю.М., Соловьева Е.Б., Езеров К.С. Реализация перестраиваемых электрических цепей на базе измерительного комплекса NI ELVIS II // Качество. Инновации. Образование, 2019. № 5 (163). С. 3–11.
- [17] Борток Д.В. О постановке экспериментов с использованием виртуальных приборов станции NI ELVIS II в среде LabVIEW // Вестник ИМСИТ, 2017. № 4 (72). С. 29–32.
- [18] Хуртин Е.А. Некоторые вопросы измерений виртуальными приборами при проведении учебных занятий на установке NI ELVIS II // Информационно-технологический вестник, 2016. № 1 (7). С. 65–73.
- [19] Биктимиров Л.Ш., Глушков В.А. Внедрение технологического National Instruments для разработки лабораторного практикума по волоконно-оптическим линиям связи на базе NI ELVIS II // Радиотехническая техника, 2016. № 1 (9). С. 198–202.
- [20] Богачев К.А., Букреева Е.П. Разработка лабораторного практикума для изучения возможностей микроконтроллеров с использованием учебной платформы NI ELVIS II // Материалы I Междунар. симп. «Компьютерные измерительные технологии», Москва, 3 апреля 2015 г. М.: ДМК Пресс, 2015. С. 174–176.
- [21] Коновалова В.С., Перкова А.Г. Применение платформы NI ELVIS II для создания лабораторных практикумов // Сб. науч. статей Междунар. науч.-техн. конф. «Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации», Пенза, 10–12 ноября 2014 г. Пенза: Пензенский государственный университет, 2014. С. 141–144.
- [22] Кузнецов А.А., Пашков Д.В. Применение комплекса NI ELVIS для исследования первичных измерительных преобразователей // Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Фи-

- зические основы измерений», «Автоматизация измерений, контроля и испытаний» и «Метрология, стандартизация и сертификация». Омск: ОмГУПС, 2012. 36 с.
- [23] 1284-2000 – IEEE Standard Signaling Method for a Bidirectional Parallel Peripheral Interface for Personal Computers. URL: <https://standards.ieee.org/standard/1284-2000.html> (дата обращения 23.04.2020).
- [24] The RS232 standard. A Tutorial with Signal Names and Definitions. URL: https://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/RS232_standard.html (дата обращения 23.04.2020).
- [25] USB Implementers Forum, Inc. URL: <https://www.usb.org/> (дата обращения 23.04.2020).
- [26] Разъемы для подключения устройств вывода. URL: <https://www.ixbt.com/video3/guide/guide-04.shtml> (дата обращения 23.04.2020).
- [27] National Instruments. NI ELVIS II. URL: <https://www.ni.com/ru-ru/support/model.ni-elvis-ii.html> (дата обращения 23.04.2020).
- [28] PIC16F1619. URL: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC16F1619> (дата обращения 23.04.2020).
- [29] Знакомьтесь: LabVIEW. URL: <https://www.ni.com/ru-ru/shop/labview.html> (дата обращения 23.04.2020).
- [30] MPLAB® X Integrated Development Environment (IDE). URL: <https://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide> (дата обращения 23.04.2020).

Сведения об авторах

Комаров Евгений Геннадиевич — д-р. техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), fuzzykom@gmail.com

Тарасенко Павел Алексеевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), tarasenko@mgul.ac.ru

Удалов Максим Евгеньевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), udalov@mgul.ac.ru

Чернобровина Ольга Константиновна — ст. преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), ochernobrovina@mail.ru

Поступила в редакцию 25.04.2020.

Принята к публикации 20.05.2020.

SOFTWARE AND HARDWARE FOR UNIVERSAL LABORATORY BENCH

E.G. Komarov, P.A. Tarasenko, M.E. Udalov, O.K. Chernobrovina

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

komarov@mgul.ac.ru

The principles of organizing a laboratory bench, which in addition to a laboratory and technical platform and a personal computer, includes a programmable microcontroller providing a solution to the problems of information-measuring systems in the framework of a laboratory workshop and research work by increasing the processing speed of measurement information and the overall speed of the bench. The rationale and formulation of the requirements for the organization and maintenance of the hardware and software of a universal laboratory bench are presented.

Keywords: instrument making, laboratory bench, information-measuring systems, microcontroller, software

Suggested citation: Komarov E.G., Tarasenko P.A., Udalov M.E., Chernobrovina O.K. *Программное и аппаратное обеспечение универсальной лабораторной стенда* [Software and hardware for universal laboratory bench]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 118–127. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-118-127

References

- [1] Poleshchuk O.M., Komarov E.G., Tumor S.V. *Povyshenie effektivnosti otsenki parametrov tekhnicheskikh sistem na osnove ucheta raznykh tipov neopredelennosti* [Improving the efficiency of evaluating the parameters of technical systems on the basis of taking into account different types of uncertainty]. *Sbornik trudov XI Otrastevoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii priborostroitel'nykh organizatsiy GK «ROSKOSMOS» «Informatsionno-upravlyayushchie i izmeritel'nye sistemy–2018»* [Proceedings of the XI Branch Scientific and Technical Conference of Instrument-Making Organizations of the GC ROSKOSMOS Information Management and Measuring Systems-2018], Moscow, March 29, 2018. Moscow: Sputnik +, 2018, pp. 18–23.
- [2] Vasyukov S.A. *Sistemnyy podkhod primeneniya elektroizmeritel'nykh priborov i sredstv komp'yuternogo modelirovaniya v laboratoriyakh vuzov tekhnicheskogo profilya* [A systematic approach to the use of electrical measuring instruments and computer simulation tools in the laboratories of universities of a technical profile]. *Mashinostroenie i komp'yuternye tekhnologii* [Mechanical Engineering and Computer Technology], 2017, no. 09, pp. 24–43.
- [3] Khakimov R.A., Gazizov A.A., Maksutov A.M., Sapel'nikov V.M. *Issledovanie kharakteristik funktsional'nogo TsAP s pomoshch'yu laboratornoy ustanovki NI ELVIS* [The study of the characteristics of a functional DAC using a laboratory setup NI ELVIS]. *Materialy II Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Sovremennye problemy radioelektroniki»* [Materials of the II International Scientific Conference «Modern Problems of Radio Electronics»]. Ed. D.A. Bezuglov. Rostov-on-Don: Rostov Academy of Service, 2007, iss. 1, pp. 605–608.

- [4] Tarasenko P.A., Klyuev I.G., Kuznetsov E.A. *Programmnyy stand dlya proverki balansirovki mostovykh skhem metodom inzhetskii toka* [Software stand for checking the balancing of bridge circuits by the current injection method]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2015, v. 19, no. 3, pp. 125–130.
- [5] Poyarkov N.G., Komarov E.A. *Nechetkaya model' vybora obrazovatel'nykh informatsionnykh resursov s zadannymi kharakteristikami kachestva* [A fuzzy model for the selection of educational information resources with specified quality characteristics]. Sbornik izbrannykh statey po materialam nauchnykh konferentsiy GNII «Natsrazvitiye» [Collection of selected articles on the basis of scientific conferences of the State Research Institute «National Development»], St. Petersburg, May 29–31, 2019. St. Petersburg: State Scientific Research Institute «National Development», 2019, pp. 142–146.
- [6] Vasyukov S.A. *Kompleksnyy podkhod k vyboru oborudovaniya v tselyakh polnotsennogo i kachestvennogo vypolneniya laboratornogo praktikuma po elektrotekhnicheskim distsiplinam dlya spetsial'nostey tekhnicheskogo profilya* [An integrated approach to the selection of equipment for the full and high-quality implementation of a laboratory workshop in electrical disciplines for technical specialties]. Mashinostroenie i komp'yuternye tekhnologii [Mechanical Engineering and Computer Technology], 2016, no. 11, pp. 189–204.
- [7] Evdokimov Yu.K., Kirsanov A.Yu., Salakhova A.Sh. *Dstantsionnye avtomatizirovannye uchebnye laboratorii i tekhnologii dstantsionnogo uchebnogo eksperimenta v tekhnicheskoy vuz* [Remote automated educational laboratories and technologies of distance educational experiment in a technical university]. Otkrytoe obrazovanie [Open Education], 2009, no. 5, pp. 74–79.
- [8] Dmitriev V.M., Gandzha T.V., Panov S.A. *Sistema virtual'nykh instrumentov i priborov dlya avtomatizatsii uchebnykh i nauchnykh eksperimentov* [The system of virtual tools and instruments for the automation of educational and scientific experiments]. Programmnye produkty i sistemy [Software products and systems], 2016, no. 3 (115), pp. 154–161.
- [9] Yarovaya Ya.V., Sukharev E.N. *Primenenie tekhnologii virtual'nykh priborov dlya obespecheniya distsiplin radiotekhnicheskogo profilya* [The use of virtual instrument technology to ensure disciplines of the radio engineering profile]. Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki [Actual problems of aviation and astronautics], 2014, no. 10, pp. 168–169.
- [10] Stukach O.V., Mirmanov A.B. *Integrativnyy podkhod k prepodavaniyu skhemotekhniki analogovykh elektronnykh ustroystv v programmo-apparatnoy srede Ni Elvis* [An integrative approach to teaching circuitry of analog electronic devices in the hardware and software environment Ni Elvis]. Otkrytoe obrazovanie [Open Education], 2018, no. 4, pp. 4–11.
- [11] Shein A.V., Karputin V.S. *Issledovanie laboratornogo stenda National Instruments ELVIS II+* [Study of the laboratory bench of National Instruments ELVIS II+]. Molodoy uchenyy [Young Scientist], 2016, no. 13, pp. 278–282.
- [12] Pilipenko A.M., Tsvetkov F.A. *Primenenie elektronnykh simulyatorov LabVIEW i Multisim dlya izucheniya bazovykh distsiplin po napravleniyam «Radiotekhnika» i «Infokommunikatsionnye tekhnologii i sistemy svyazi»* [The use of electronic simulators LabVIEW and Multisim for the study of basic disciplines in the areas of «Radio Engineering» and «Infocommunication Technologies and Communication Systems»]. Obrazovatel'nye tekhnologii i obshchestvo [Educational Technologies and Society], 2013, no. 4, pp. 302–315.
- [13] Pyatak I.M., Leont'ev E.V. *Modelirovaniye radiotekhnicheskikh ustroystv s reguliruemymi parametrami v srede LabVIEW* [Modeling of radio engineering devices with adjustable parameters in the LabVIEW environment]. Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika, telekommunikatsii i upravlenie [Scientific and Technical Journal of St. Petersburg State Polytechnic University. Informatics, telecommunications and management], 2015, no. 4, pp. 19–24.
- [14] Baydarov S.Yu., Butaev M.M., Kuroedov S.K., Svetlov A.V. *Ispol'zovaniye tekhnologii virtual'nykh priborov dlya opredeleniya chastotnykh kharakteristik elementov i ustroystv sistem upravleniya* [The use of virtual instrument technology to determine the frequency characteristics of elements and devices of control systems]. IVUZ Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki [IVUZ Volga Region. Engineering], 2012, no. 1, pp. 105–115.
- [15] Manonina I.V. *Primenenie programmy LabVIEW dlya izucheniya voprosov poverki izmeritel'nykh priborov* [The use of the LabVIEW program to study the verification of measuring instruments]. Telekommunikatsii i transport [Telecommunications and Transport], 2012, v. 6, no. 8, pp. 50–52.
- [16] Inshakov Yu.M., Solov'eva E.B., Ezerov K.S. *Realizatsiya perestraivaemykh elektricheskikh tsepey na baze izmeritel'nogo kompleksa NI ELVIS II* [Implementation of tunable electrical circuits based on the NI ELVIS II measuring complex]. Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie [Quality. Innovation Education], 2019, no. 5 (163), pp. 3–11.
- [17] Bortok D.V. *O postanovke eksperimentov s ispol'zovaniem virtual'nykh priborov stantsii NI ELVIS II v srede LabVIEW* [On the design of experiments using virtual instruments of the NI ELVIS II station in the LabVIEW environment]. Vestnik IMSIT [IMSIT Vestnik], 2017, no. 4 (72), pp. 29–32.
- [18] Khurtin E.A. *Nekotorye voprosy izmereniy virtual'nymi priborami pri provedenii uchebnykh zanyatiy na ustanovke NI ELVIS II* [Some issues of measurements with virtual instruments during training sessions at the NI ELVIS II installation]. Informatisionno-tekhnologicheskyy vestnik [Information and Technology Bulletin], 2016, no. 1 (7), pp. 65–73.
- [19] Biktimirov L.Sh., Glushkov V.A. *Vnedreniye tekhnologii National Instruments dlya razrabotki laboratornogo praktikuma po volokonno-opticheskim liniyam svyazi na baze NI ELVIS II* [Implementation of National Instruments technologies for the development of a laboratory workshop on fiber-optic communication lines based on NI ELVIS II]. Radioelektronnaya tekhnika [Radioelectronic Engineering], 2016, no. 1 (9), pp. 198–202.
- [20] Bogachev K.A., Bukreeva E.P. *Razrabotka laboratornogo praktikuma dlya izucheniya vozmozhnostey mikrokontrollerov s ispol'zovaniem uchebnoy platformy NI ELVIS II* [Development of a laboratory workshop for studying the capabilities of microcontrollers using the NI ELVIS II training platform]. Materialy I Mezhdunarodnogo simpoziuma «Komp'yuternye izmeritel'nye tekhnologii» [Materials of the I International Symposium «Computer Measuring Technologies»], Moscow, April 3, 2015. Moscow: DMK Press, 2015, pp. 174–176.
- [21] Konovalova V.S., Perkova A.G. *Primeneniye platformy NI ELVIS II dlya sozdaniya laboratornykh praktikumov* [Application of the NI ELVIS II platform for creating laboratory workshops]. Sbornik nauchnykh statey Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Metody, sredstva i tekhnologii polucheniya i obrabotki izmeritel'noy informatsii» [Collection of scientific articles of the International scientific and technical conference «Methods, means and technologies for obtaining and processing measurement information»], Penza, November 10–12, 2014. Penza: Penza State University, 2014, pp. 141–144.

- [22] Kuznetsov A.A., Pashkov D.V. *Primenenie kompleksa NI ELVIS dlya issledovaniya pervichnykh izmeritel'nykh preobrazovateley* [The use of the NI ELVIS complex for the study of primary measuring transducers]. Metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu laboratornykh rabot po distsipline «Fizicheskie osnovy izmereniy», «Avtomatizatsiya izmereniy, kontrolya i ispytaniy» i «Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya» [Methodological instructions for laboratory work in the discipline «Physical fundamentals of measurement», «Automation of measurement, control and testing» and «Metrology, standardization and certification»]. Omsk: OmGUPS, 2012, 36 p.
- [23] 1284-2000 – IEEE Standard Signaling Method for a Bidirectional Parallel Peripheral Interface for Personal Computers. Available at: <https://standards.ieee.org/standard/1284-2000.html> (accessed 23.03.2020).
- [24] The RS232 standard. A Tutorial with Signal Names and Definitions. Available at: https://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/RS232_standard.html (accessed 23.03.2020).
- [25] USB Implementers Forum, Inc. URL: <https://www.usb.org/> (accessed 23.03.2020).
- [26] Connectors for connecting output devices. Available at: <https://www.ixbt.com/video3/guide/guide-04.shtml> (accessed 23.03.2020).
- [27] National Instruments. NI ELVIS II. Available at: <https://www.ni.com/ru-ru/support/model.ni-elvis-ii.html> (accessed 23.03.2020).
- [28] PIC16F1619. Available at: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC16F1619> (accessed 23.03.2020).
- [29] Meet: LabVIEW. Available at: <https://www.ni.com/ru-ru/shop/labview.html> (accessed 23.03.2020).
- [30] MPLAB® X Integrated Development Environment (IDE). Available at: <https://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide> (accessed 23.03.2020).

Authors' information

Komarov Evgeniy Gennadievich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), fuzzykom@gmail.com

Tarasenko Pavel Alekseevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), tarasenko@mgul.ac.ru

Udalov Maksim Evgen'evich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), udalov@mgul.ac.ru

Chernobrovina Ol'ga Konstantinovna — Senior Lecturer of the BMSTU (Mytishchi branch), ochernobrovina@mail.ru

Received 25.04.2020.

Accepted for publication 20.05.2020.

ДАТЧИК УГЛОВ И МИКРОВИБРАЦИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ

М.Н. Комарова¹, В.М. Ачильдиев^{1,3}, Н.А. Бедро¹,
Ю.К. Грузевич^{1,2}, В.Г. Дудко³, В.А. Есаков³

¹ОАО «НПО Геофизика-НВ», 107076, г. Москва, ул. Матросская Тишина, д. 23, стр. 2

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1

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

maria-komarova86@mail.ru

Рассмотрен датчик микровибраций с цифровым выходом на основе микромеханического акселерометра с аналоговым выходом. Выбраны оптимальные схемно-конструктивные решения датчика, разработаны алгоритмы обработки сигналов с микромеханического акселерометра и методики проведения измерений. Проведены исследования вибрационных возмущений в лаборатории для выявления влияния микровибрации на измерительное оборудование. Разработано программное обеспечение для визуализации полученных результатов. Полученные результаты проанализированы, определены шумовые составляющие в канале измерения. Охарактеризованы особенности идентификации погрешностей микромеханических акселерометров в составе датчика микровибрации. Для определения коэффициентов чувствительности к температуре и тепловому шуму были проведены температурные испытания. По результатам экспериментов определен оптимальный полином аппроксимации по температуре с наименьшей погрешностью. Для выявления возмущений в процессе измерений осуществлены регистрация и спектральный анализ нулевых сигналов акселерометра датчика углов и микровибраций в течение длительного периода времени. Также проведена аппроксимация по времени и определен оптимальный полином аппроксимации. Выполнен спектральный анализ нулевых сигналов акселерометров. Анализ амплитудно-частотных характеристик нулевых сигналов акселерометров показал, что основные возмущения находятся в диапазоне от 0 до 40 Гц. Установлено, что данный датчик обладает некоторыми преимуществами, по сравнению с аналогами: невысокой стоимостью элементной базы, простотой конструкции, универсальностью крепления. В связи с этим датчик углов и микровибраций может найти широкое применение в различных областях, в том числе при мониторинге уникальных зданий и строений, плотин, мостов, телескопов и других сооружений.

Ключевые слова: микромеханический акселерометр, датчик микровибрации, спектральный анализ

Ссылка для цитирования: Комарова М.Н., Ачильдиев В.М., Бедро Н.А., Грузевич Ю.К., Дудко В.Г., Есаков В.А. Датчик углов и микровибраций для мониторинга состояния зданий и оборудования // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 128–137. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-128-137

Развитие различных отраслей приборостроения, в том числе медицинского, связаны с разработкой датчиков для измерения микровибрации, обладающих малыми массой и габаритами, низкими себестоимостью и энергопотреблением, достаточно высокой надежностью. В процессе технологических экспериментов выяснилось, что необходимо контролировать и микровибрации в диапазоне от единиц до нескольких сотен герц. Такие же задачи возникают и на земле при мониторинге уникальных зданий и строений, плотин, мостов, телескопов и др. [1, 2].

Область применения датчиков микровибраций (ДМВ) очень обширна. ДМВ предназначены для определения параметров гравитационного и волнового полей в скважинах, подземных выработках, на море, земной поверхности, при установке на неподвижных, летающих или движущихся объектах. Для изучения геологических объектов с помощью упругих волн наиболее широко используется сейсмоприемник для определения параметров гравитационного и волнового полей. В основе сейсмоприемника — электролитический

датчик, состоящий из корпуса и инерционной массы, проводящих электрический ток, с полостями, заполненными электролитом. Важным преимуществом ДМВ с электролитическим преобразователем является практически нулевая погрешность вследствие нелинейности выходного сигнала. Однако такой ДМВ имеет большие габаритно-массовые характеристики и долговременную погрешность нулевого сигнала, а высокочастотная область его применения ограничена 300 Гц.

Современные технологии требуют непрерывного контроля многих параметров технологического процесса и состояния оборудования [3]. Одними из важнейших являются параметры механического движения, в частности, параметры периодических перемещений исследуемого объекта в пространстве (углов и вибрации). К таким параметрам относятся вибрационное перемещение (амплитуда вибрации) и частота вибрации.

Другим возможным применением ДМВ является измерение микровибраций при одновременном измерении электрокардиограммы и (или) сейсмокардиограммы человека [4, 5]. В частно-

сти, при неинвазивной диагностике системами сейсмокардиографии заболеваний внутренних органов методом информационного анализа кардиосигналов в медицинских кабинетах присутствует весь спектр внешних вибрационных и акустических возмущений, связанных с работой вентиляции, оборудования и движущихся рядом со зданием транспортных средств, и т. п. Производственные и транспортные шумы содержат инфразвуковые составляющие, которые не регистрируются обычными измерительными приборами, не слышимы и обладают высокими уровнями звукового давления. При этом спектр частот сейсмокардиоцикла очень близок к спектру низкочастотного звукового давления и низкочастотных микровибраций.

При использовании сейсмокардиоблока для неинвазивной диагностики заболеваний внутренних органов в выходном сигнале акселерометра будут присутствовать составляющие линейного ускорения, в том числе и ускорения движения тела и дыхания, центростремительные ускорения и микроускорения от вибраций основания. Возникает задача исключения влияния внешних микровибраций на работу сейсмокардиоблока. Необходимо корректно выделять из сигнала информационную составляющую кардиоцикла с минимальными погрешностями. Наличие внешних микровибраций резко усложняет задачу измерений сейсмокардиоцикла и его выделение на фоне внешних возмущений. Для устранения влияния вибрационных ускорений рекомендуется использование ДМВ.

Цель работы

Цель работы — оценить работу датчика микровибраций с цифровым выходом на основе микромеханического акселерометра с аналоговым выходом, выбрать оптимальные схемно-конструктивные решения, разработать алгоритмы обработки сигналов с микромеханического акселерометра и методики проведения измерений.

Выбор конструктивных решений

Первой разработанной модификацией датчика микровибраций является датчик углов (наклономер) (рис. 1).

Для измерения микровибрации в помещении был разработан макет универсального датчика микровибраций с цифровым выходом на основе микромеханического акселерометра (ММА) с аналоговым выходом с диапазоном измерения ± 2 g и спектральной плотностью шума нулевого сигнала 7мкг/√Гц [6] (рис. 2).

Методика определения погрешностей микромеханического акселерометра в составе датчика микровибрации.

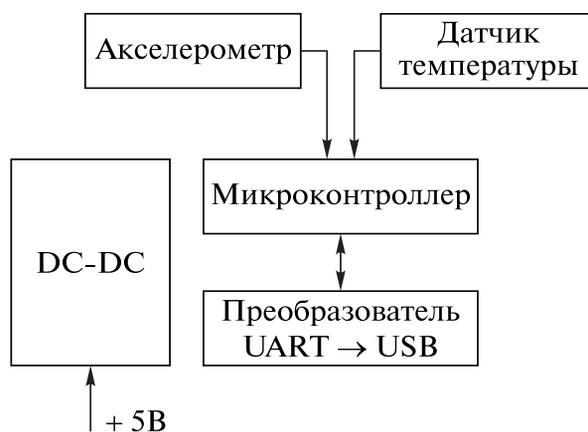


Рис. 1. Блок-схема датчика углов (наклономера двухосного)
Fig. 1. The block diagram of the angle sensor (tiltmeter biaxial)

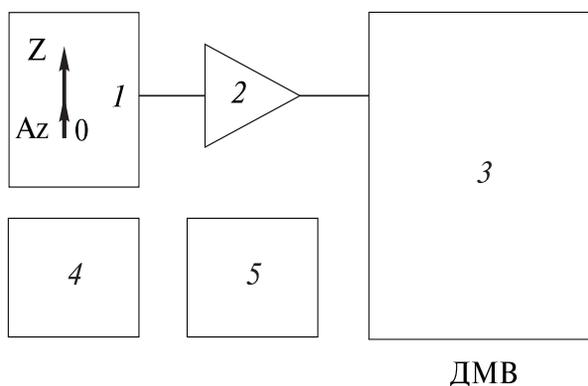


Рис. 2. Блок-схема датчика микровибрации с цифровым выходом: 1 — аналоговый микромеханический акселерометр; 2 — малошумящий операционный усилитель; 3 — микроконтроллер со встроенным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и поддержкой интерфейсов UART и JTAG; 4 — стабилизатор напряжения; 5 — вторичный источник питания
Fig. 2. Block diagram of a microvibration sensor with digital output: 1 — analogue micromechanical accelerometer; 2 — low-noise operational amplifier; 3 — microcontroller with built-in analog-to-digital converter (ADC) and support for UART and JTAG interfaces; 4 — voltage stabilizer; 5 — secondary power source

Для оценки погрешностей датчика углов и микровибраций использовался метод вариации Аллана, в соответствии с которым вычисляются дисперсии разницы соседних отклонений, а не самих отклонений центрированного случайного процесса [7, 8] по формуле

$$\sigma_A^2(\tau) = \frac{\sum_{k=1}^{N-1} (A_{k+1}^i - A_k^i)^2}{2(N-1)},$$

где N — количество измерений;
 A^i — значение выходного сигнала с осреднением на интервале τ ;
 τ — время осреднения;

$\sigma_A^2(\tau)$ — дисперсия случайных микроускорений;
 i — оси ортогональной системы координат
 X, Y, Z .

Между дисперсией Аллана и спектральной плотностью шума существует связь, которую можно представить соотношением

$$\sigma_A^2(\tau) = 4 \int_0^\infty P(f) \frac{\sin^4(\pi f \tau)}{(\pi f \tau)^2} df,$$

где $P(f)$ — спектральная плотность шума сигнала f .

Источники ошибок в выходном сигнале ДМВ статистически независимы [8], поэтому для дисперсии Аллана можно записать аппроксимирующее выражение

$$\sigma_A^2(\tau) = R^2 \frac{\tau^2}{2} + K^2 \frac{\tau}{3} + B^2 \frac{2}{\pi} \ln 2 + N^2 \frac{1}{\tau} + Q^2 \frac{3}{\tau^2},$$

где R — коэффициент, характеризующий тренд сигнала;

K — коэффициент случайного блуждания изменения сигнала;

B — коэффициент нестабильности смещения нуля выходного сигнала;

N — коэффициент случайного блуждания выходного сигнала;

Q — коэффициент шума квантования.

Аппроксимация производится методом наименьших квадратов. График функции с полученными коэффициентами должен быть наиболее близок к графику экспериментальных данных.

Экспериментальные исследования

Измерения проводились в составе анализатора микросистем MSA-500 (рис. 3), установленного на массивное основание на полу [9]. Дополнительно были приняты меры по уменьшению электромагнитных помех и улучшению звукоизоляции. Пол в лаборатории выполнен на основе стяжки из песка и цемента толщиной 150 мм с добавлением в определенной пропорции древесных опилок. По поверхности стяжки на битум уложены листы фанеры толщиной 20 мм и линолеум.

При испытаниях с наклономером прибор фиксировался на установочной плите с помощью магнитов. Снималась часовая реализация с обработкой фильтром скользящего среднего со временем осреднения 200 с. По полученным данным вычислялось среднее квадратическое отклонение (СКО) по методу вариаций Аллана на интервале 1 с. Результаты также выводятся в окно рабочей программы. Как видно из рис. 4, СКО не превышает значения 1 угловой секунды.

Как видно из рис. 5, в процессе работы основание совершает угловые микроколебания в результате воздействия микровибраций, которые по оси X составили $0,017^\circ$, по оси Y — $0,02^\circ$. Это



Рис. 3. Рабочее место анализатора микросистем MSA-500: 1 — внешняя поверхность пола; 2 — массивное основание; 3 — установочная плита; 4 — система активной виброизоляции TS-300; 5 — основание A-STD-BBO; 6 — стол с тремя степенями юстировки; 7 — крепление; 8 — измерительный микроскоп; 9 — датчик микровибрации

Fig. 3. The workplace of the microsystem analyzer MSA-500: 1 — the outer surface of the floor; 2 — massive base; 3 — mounting plate; 4 — active vibration isolation system TS-300; 5 — base A-STD-BBO; 6 — a table with three degrees of adjustment; 7 — mount; 8 — measuring microscope; 9 — microvibration sensor

могло произойти из-за изменения температуры и тепловых градиентов в помещении.

Для ДМВ с цифровым выходом были проведены измерения, анализ выходного сигнала и определены параметры ошибок [10]. При испытаниях ДМВ крепили с помощью винтов, питание обеспечивалось от лабораторного источника питания GPS-3030D. Частота опроса составляла 1 кГц, время измерения в каждой точке — 120 с. Испытания проводились в чистой зоне лаборатории по одному часу в дневное и ночное время.

Основные типы шумов для ДМВ без учета знака представлены в табл. 1. Как видно из табл. 1, все шумовые составляющие в ночное время значительно ниже, чем в дневное [8].

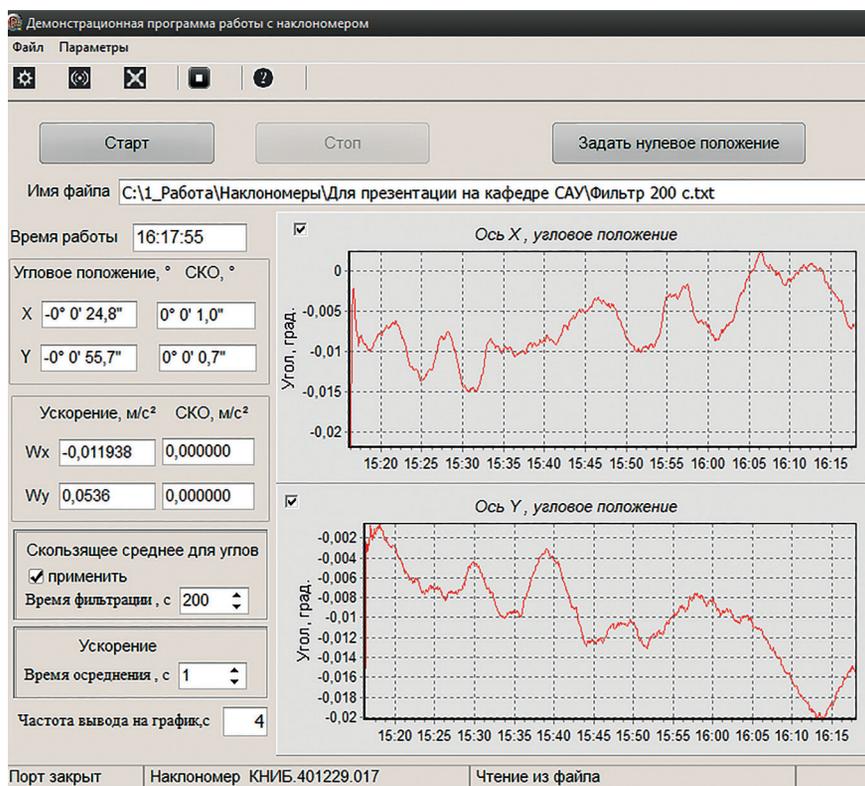


Рис. 4. Программа для измерения микроколебаний
 Fig. 4. The program for measuring microoscillations

Шум квантования обуславливается аналого-цифровым преобразователем ДМВ и легко может быть отфильтрован полосовым фильтром. Ошибки, связанные с эффектами квантования, не накапливаются с течением времени.

Случайное блуждание выходного сигнала — основная шумовая компонента в выходных данных микроэлектромеханических датчиков — проявляется в отклонении значений от измеренных случайным образом; при этом среднее отклонение растет с течением времени.

Нестабильность смещения нуля (фликер-шум) — шум, возникающий в электронных компонентах датчика, подверженных случайному так называемому мерцанию (flickering) — оказывает заметное влияние на низких частотах [7].

Случайное блуждание изменения выходного сигнала — случайное блуждание измеряемых ДМВ микроускорений — шум неизвестной природы с очень большим временем корреляции (наиболее существенное влияние оказывает изменение температуры в ходе эксперимента).

Тренд выходного сигнала представляет собой детерминированное отклонение показаний ДМВ на значительных промежутках времени. В подавляющем большинстве случаев такой шум обусловлен условиями среды [7].

Важная погрешность ММА — случайное смещение нуля в запуске. Одной из составляющих

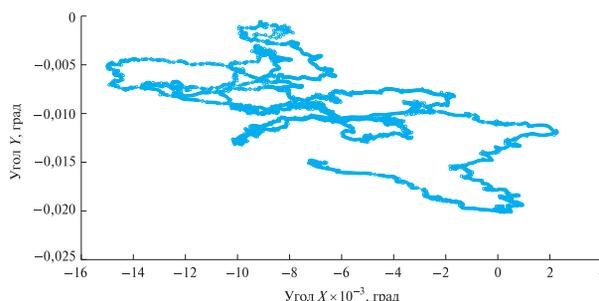


Рис. 5. Фазовый портрет микроколебаний датчика углов
 Fig. 5. Phase portrait of micro-oscillations of the angle sensor

этой погрешности является тепловой механический шум, который определяет минимум погрешности. Кроме тепловых шумов ММА обладают повышенной чувствительностью к средней температуре и к градиентам температуры в процессе работы. При этом возникает необходимость определения коэффициента чувствительности к температуре и тепловому шуму. Для этого были проведены испытания с ДМВ в термокамере. По результатам экспериментов методом наименьших квадратов проведена аппроксимация по температуре. В результате расчетов был определен оптимальный полином аппроксимации от температуры с наименьшей погрешностью, который имеет вид (рис. 6) [11]

$$\sigma = \sigma_1 T + \sigma_2 T^{1/2}.$$

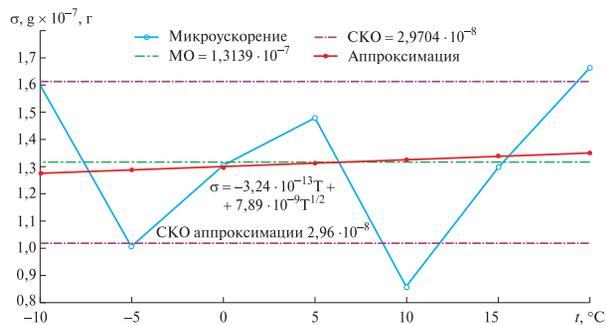


Рис. 6. Аппроксимация микроускорений: МО — математическое ожидание, СКО — среднеквадратическое отклонение

Fig. 6. Approximation of microaccelerations: MO — mathematical expectation, standard deviation — standard deviation

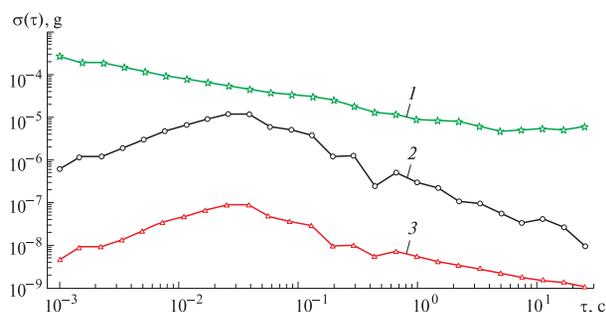


Рис. 7. Отклонения Аллана нулевого сигнала микромеханического акселерометра: 1 — столик с виброизоляцией без вентиляции; 2 — столик, полосовой фильтр 10 порядка 11–12 Гц; 3 — столик, полосовой фильтр 10 порядка 11–12 Гц + фильтр Баттерворта 2 порядка 1 Гц [12, 13]

Fig. 7. Allan deviations of the zero signal of the micromechanical accelerometer: 1 — a table with vibration isolation without ventilation; 2 — table, band-pass filter 10 of the order of 11–12 Hz; 3 — table, band-pass filter 10 of the order of 11–12 Hz + Butterworth filter 2 of the order of 1 Hz [12, 13]

Как видно из рис. 7, случайная погрешность нулевого сигнала самого ММА в запуске при времени осреднении 1 с уменьшается примерно в 1000 раз с $1 \cdot 10^{-5}$ g до $5 \cdot 10^{-9}$ g, что соизмеримо с тепловыми шумами чувствительного элемента ММА.

Анализ отклонений Аллана показал, что спектральная плотность шума нулевого сигнала ДМВ на интервале 1 с составляет $\approx 0,1$ мкг/√Гц, что существенно ниже измеренных значений микроускорений. Это может свидетельствовать о том, что в помещении присутствуют микроускорения.

При испытании в лаборатории были измерены резонансные частоты стола, на котором установлен ДМВ. Определено, что на полу лаборатории отсутствуют резонансные частоты, а в конструкции рабочего места отсутствуют резонансные частоты в диапазоне 5...200 Гц.

Для подтверждения правильности полученных результатов проведены измерения виброскоростей виброметром фирмы Polytec GmbH PDV 100 и оце-

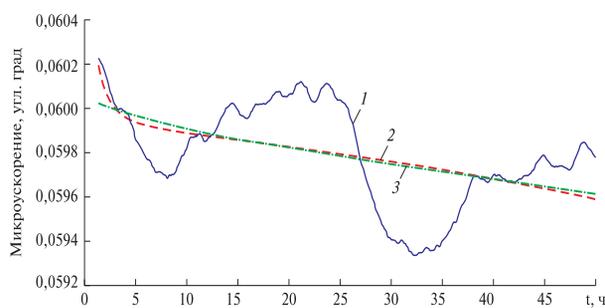


Рис. 8. Выходной сигнал с ДМВ (предварительное осреднение 25 с), обработанный фильтром скользящего среднего с окном 200 точек с аппроксимацией: 1 — микроускорение; 2 — аппроксимация полиномом вида $a_{анпр} = a_0 + a_1t + a_2t^{1/2}$ (СКО аппроксимации $1,982 \cdot 10^{-4}$ угл. град); 3 — аппроксимация полиномом $a_{анпр} = a_0 + a_1t + a_2t^{-1} + a_3t^{1/2}$ (СКО аппроксимации $1,972 \cdot 10^{-4}$ угл. град)

Fig. 8. The output signal from the UHF (preliminary averaging 25 s), processed by a moving average filter with a window of 200 points with approximation: 1 — microacceleration; 2 — approximation by a polynomial of the form $a_{анпр} = a_0 + a_1t + a_2t^{1/2}$ (standard deviation approximation $1,982 \cdot 10^{-4}$ angular degrees); 3 — approximation by polynomial $a_{анпр} = a_0 + a_1t + a_2t^{-1} + a_3t^{1/2}$ (standard deviation approximation $1,972 \cdot 10^{-4}$ angular degrees)

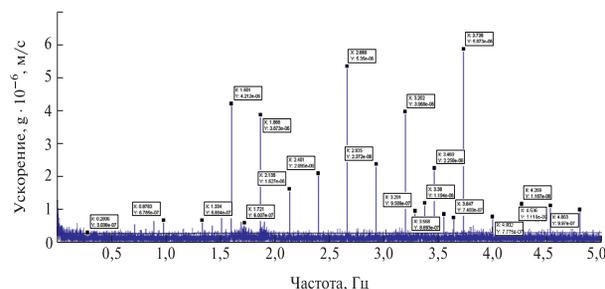


Рис. 9. Спектр ускорения в дневное время

Fig. 9. Daytime acceleration spectrum

нены погрешности их измерения. Выяснилось, что погрешность измерения вибрационных скоростей при времени осреднения до 1 с для ДМВ примерно в 2 раза меньше по сравнению с виброметром, что позволяет предполагать достоверность измеренных вибрационных скоростей ДМВ.

Для выявления возмущений в процессе измерений проведены регистрация и спектральный анализ нулевых сигналов акселерометра ДМВ в течение 2 сут., а также аппроксимация по времени, и определен оптимальный полином аппроксимации. Как видно из рис. 8, с наименьшей погрешностью тренд выходного сигнала описывает выражение

$$a_{анпр} = a_0 + a_1t + a_2t^{-1} + a_3t^{1/2}.$$

Таким образом, при измерении микроускорений в режиме углов желательно использовать алгоритмическую компенсацию тренда выходного сигнала по времени. При этом погрешность аппроксимации составляет $0,71''$ на интервале времени 2 сут.

Т а б л и ц а 1

Типы шумов выходного сигнала датчика микровибрации
Microvibration Sensor Output Noise Types

Тип шума	Коэффициент полинома	Интервал времени измерения, ч	
		02.00–03.00	14.00–15.00
Белый шум выходного сигнала (шум квантования), м/с	Q	$1,9826 \cdot 10^{-4}$	$1,3452 \cdot 10^{-3}$
Белый шум изменения выходного сигнала (случайное блуждание выходного сигнала), (м/с)/ $\sqrt{с}$	N	$2,9298 \cdot 10^{-3}$	$4,7241 \cdot 10^{-3}$
Фликер-шум выходного сигнала (нестабильность смещения нуля), м/с ²	B	$6,3405 \cdot 10^{-5}$	$1,3383 \cdot 10^{-4}$
Белый шум скорости изменения выходного сигнала (случайное блуждание изменения выходного сигнала), (м/с ²)/ $\sqrt{с}$	K	$5,6304 \cdot 10^{-8}$	$1,5224 \cdot 10^{-6}$
Шум ухода выходного сигнала (тренд выходного сигнала), м/с ³	R	$2,0873 \cdot 10^{-10}$	$3,869 \cdot 10^{-9}$

Т а б л и ц а 2

Технические характеристики датчиков измерения угла наклона и микровибраций
Technical characteristics of tilt and microvibration sensors

Параметр	Система мониторинга «Кипарис-2Н»	Датчик микровибраций с цифровым выходом	Наклономер для медицинских кроватей и хирургических столов	Наклономер двухосный
Диапазоны измерения углов по осям X и Y , град	–	± 10	± 70	± 30
Диапазоны измерения ускорений по осям X и Y , g	–	± 2	$\pm 1,7$	$\pm 1,7$
Погрешность измерения, угловые секунды	0,1	0,04*	1080	1
Габариты, мм	Крупногабаритный	38×28×1,5	Ø 49×25	Ø 50×16
Напряжения питания, В	DC 12 AC 220	5	7...15	5
Диапазон рабочих температур, °C	–30... +40	–40... +85	–10... +50	–40... +85
Интерфейс	–	USB	RS232	USB

*По результатам измерения за 5 ч

Если рассмотреть ночной интервал времени 01.00–06.00, то можно заметить, что в выходном сигнале ДМВ присутствует значительно меньше внешних возмущений. При аппроксимации по времени вышеуказанным полиномом погрешность аппроксимации составит 0,04".

Как видно из рис. 9, в диапазоне частот до 5 Гц присутствует значительный спектр внешних возмущений. Уровень внутренних шумов акселерометра составляет $\approx 4 \cdot 10^{-7}$ g. Выделенные частоты без «белого» шума представлены на рис. 10.

В табл. 2 приведено сравнение датчиков измерения угла наклона и микровибраций [14–19], а на рис. 11 их внешний вид.

Как видно из табл. 2, датчик микровибраций с цифровым выходом по сравнению с другими датчиками обладает преимуществами: габаритами, низкой погрешностью измерения, достаточно широким диапазоном рабочих температур. Кроме того, зарубежные аналоги по-

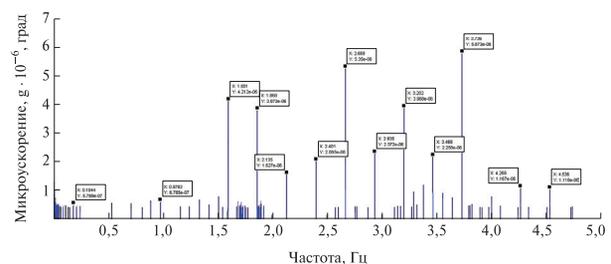


Рис. 10. Спектр ускорения в дневное время 14.00–15.00 до 5 Гц с вычетом порогового значения $4 \cdot 10^{-7}$ g

Fig. 10. Спектр ускорения в дневное время 14.00–15.00 до 5 Гц с вычетом порогового значения $4 \cdot 10^{-7}$ g

добных датчиков имеют достаточно высокую стоимость.

В связи с изложенным выше, датчик углов и микровибраций может найти широкое применение в различных производственных, статистических и научных областях.



Рис. 11. Внешний вид датчиков измерения угла наклона и микровибраций: *а* — система мониторинга «Кипарис-2Н»; *б* — датчик микровибраций с цифровым выходом; *в* — наклономер для медицинских кроватей и хирургических столов; *г* — наклономер двухосный

Fig. 11. Technical characteristics of tilt and microvibration sensors: *a* — Kiparis-2N monitoring system; *b* — micro-vibration sensor with digital output; *v* — tilt meter for medical beds and surgical tables; *z* — biaxial tilt meter

Выводы и рекомендации

Система мониторинга на основе ДМВ позволит провести оценку состояния сооружений и оборудования. Контроль при этом можно осуществлять непрерывно, а информацию передавать по автономному каналу. Кроме того, рекомендуется включение ДМВ в аппаратуру медицинской диагностики и различное производственное оборудование.

Датчик микровибраций измеряет весь спектр акустических, инфразвуковых и инфранизких частот. Для минимизации случайной погрешности смещения нуля необходима компенсация по температуре полиномом $\sigma = \sigma_1 T + \sigma_2 T^{1/2}$ и внешним воздействиям. В режиме углов для алгоритмической компенсации по времени необходимо использовать полином $a = a_0 + a_1 T + a_2 T^{-1} + a_3 T^{1/2}$.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-02019.

Список литературы

[1] ГОСТ Р 52892–2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию. Введ. 01.10.2008. М.: Стандартинформ, 2008. 16 с.

[2] ГОСТ Р 53964–2010. Вибрация. Измерения вибраций сооружений. Руководство по проведению измерений. Введ. 30.11.2011. М.: Стандартинформ, 2011. 12 с.

[3] Защита от повышенного шума и вибрации: сб. докл. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 18–20 марта 2015 г. / под ред. Н.И. Иванова. СПб.: Балтийский государственный технический университет «Военмех», 2015. 689 с.

[4] Ачильдиев В.М., Басараб М.А., Бедро Н.А., Солдатенков В.А. Сейсмокардиоблок на основе микромеханических датчиков // Сб. тр. юбил. XXV Санкт-Петербургской Междунар. конф. по интегрированным навигационным системам, Санкт-Петербург, ЦНИИ «Электроприбор», 28–30 мая 2018 г. СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2018. С. 185–194.

[5] Levkovich A., Achildiev V., Soldatenkov V., Basarab M., Bedro N., Gruzevich Yu., Evseeva Yu., Konnova N., Komarova M. Seismocardiography system based on micro-mechanical sensors // Proc. IERI International Conference on Medical Physics, Medical Engineering and Informatics. Basic Clin Pharmacol Toxicol. Denmark: Wiley, 2018, t. 123, pp. 9–10.

[6] VS1000 Vibration Sensor. URL: <https://www.colibrys.com/product/vs1000-vibration-sensor/> (дата обращения 24.08.2019).

[7] Кутовой Д.А., Ситников П.В. Некоторые практические вопросы использования вариации Аллана при исследовании бесплатформенного инерциального блока // XV конф. молодых ученых «Навигация и управление движением», Санкт-Петербург, ЦНИИ «Электроприбор», 12–15 марта 2013 г. СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2013. С. 246–252.

[8] Литвин М.А., Малюгина А.А., Миллер А.Б., Степанов А.Н., Чикрин Д.Е. Типы ошибок в инерциальных навигационных системах и методы их аппроксимации // Информационные процессы, 2014. Т. 14. № 4. С. 326–339.

[9] Грузевич Ю.К., Солдатенков В.А., Ачильдиев В.М., Левкович А.Д., Бедро А.Н., Комарова М.Н., Воронин И.В. Исследование уровней микровибраций в лазерном интерферометре с системой активной виброизоляции // Оптический журнал, 2018. Т. 85. № 5. С. 68–84.

[10] Ачильдиев В.М., Грузевич Ю.К., Солдатенков В.А. Информационные измерительные и оптико-электронные системы на основе микро- и наномеханических датчиков угловой скорости и линейного ускорения. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 260 с.

[11] Солдатенков В.А., Грузевич Ю.К., Ачильдиев В.М., Есаков В.А., Бедро Н.А., Комарова М.Н., Левкович А.Д. Некоторые особенности идентификации погрешностей микромеханических акселерометров в составе датчика микровибрации и сейсмокардиоблока // Сб. тез. Междунар. форума «Микроэлектроника-2018» 4-й Междунар. науч. конф. «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули», Республика Крым, г. Алушта, 01–06 октября 2018 г. М.: Техносфера, 2018. С. 517–520.

[12] Fundamental package for scientific computing with Python. URL: <http://www.numpy.org> (дата обращения 24.08.2019).

[13] Python 2D plotting library. URL: <https://www.matplotlib.org> (дата обращения 24.08.2019).

[14] ООО «Центр диагностики состояния сооружений». URL: <http://www.creativeinstitute.ru/system.htm> (дата обращения 24.08.2019).

- [15] Солдатенков В.А., Грузевич Ю.К., Ачильдиев В.М., Левкович А.Д., Комарова М.Н., Зорин А.П. Наклономер. Патент РФ на полезную модель №146949; заявители и патентообладатели ОАО «НПО Геофизика-НВ»; заявл. 02.07.2014, опубл. 20.10.2014. Бюл. № 29. 11 с.
- [16] Калинкина М.Е., Козлов А.С., Лабковская Р.Я., Пирожникова О.И., Ткалич В.Л. Расчет угловой жесткости упругого элемента микромеханического акселерометра // ИВУЗ Приборостроение, 2019. Т. 62. № 6. С. 534–541.
- [17] Солдатенков В.А., Грузевич Ю.К., Ачильдиев В.М., Солдатенкова Ю.В., Бабаева Н.И., Бедро Н.А., Воронин И.В., Грызлова Л.В. Измеритель угловой скорости. Патент РФ на полезную модель RU 162343 U1, 10.06.2016. Заявка № 2016101651/28 от 20.01.2016.
- [18] Солдатенков В.А., Грузевич Ю.К., Ачильдиев В.М., Евсеева Ю.Н. Датчик углов на основе микромеханического бесплатформенного инерциального блока // Сб. матер. XXII Санкт-Петербургской междунар. конф. по интегрированным навигационным системам, Санкт-Петербург, 12–17 сентября 2019 г. / под ред. В.Г. Пешехонова. СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2015. С. 364–367.
- [19] Солдатенков В.А., Грузевич Ю.К., Ачильдиев В.М., Комарова М.Н., Бедро Н.А., Левкович А.Д., Грузевич Ю.К. Датчик углов и микровибраций для контроля состояния сооружений // XXVI Санкт-Петербургская междунар. конф. по интегрированным навигационным системам, Санкт-Петербург, 27–29 мая 2019 г. С-Пб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2019. С. 237–240.

Сведения об авторах

Комарова Мария Николаевна — ведущий инженер ОАО «НПО ГЕОФИЗИКА-НВ», maria-komarova86@mail.ru

Ачильдиев Владимир Михайлович — канд. техн. наук, гл. конструктор МНЭМС, ОАО «НПО ГЕОФИЗИКА-НВ», glmnems@geo-nv.com

Бедро Николай Анатольевич — зам. гл. конструктора МНЭМС, начальник отдела, ОАО «НПО ГЕОФИЗИКА-НВ», job_nick@mail.ru

Грузевич Юрий Кириллович — канд. техн. наук, зам. генерального директора по науке, ОАО «НПО ГЕОФИЗИКА-НВ», yukg@mail.ru

Дудко Владимир Григорьевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), saf-sau@mgul.ac.ru

Есаков Виталий Анатольевич — канд. техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), академик Российской академии космонавтики, saf-sau@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 29.01.2020.

Принята к публикации 03.03.2020.

TILT AND MICROVIBRATIONS SENSOR FOR MONITORING BUILDINGS CONDITION AND EQUIPMENT

M.N. Komarova¹, V.M. Achildiev^{1,3}, N.A. Bedro¹,
Y.K. Gruzevich^{1,2}, V.G. Dudko³, V.A. Esakov³

¹Scientific Production Unity «GEOPHIZIKA-NV», St. Company, 23, bld. 2, Matrosskaya Tishina st., 107076, Moscow

²BMSTU, 5, 2nd Baumanskaya st., 105005, Moscow, Russia

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

maria-komarova86@mail.ru

In the report, the sensor of micro-vibrations with digital output on the basis of micromechanical accelerometer with analog output is considered. The optimum scheme and constructive solution of the sensor the algorithms for processing signals from a MEMS accelerometer and measurement methods are selected. Vibration perturbation studies were conducted in the laboratory to identify the effect of micro-vibration on the measuring equipment. The software for visualization of the received results is developed. The obtained results were analyzed and noise components in the measurement channel were determined. Features of identification of errors of micromechanical accelerometers as a part of the micro-vibration sensor are considered. Temperature tests and approximation of the obtained data were carried out to determine the temperature and thermal noise sensitivity coefficients, according of the experiments results, the optimal temperature approximation polynomial with the minimal error was determined. Registration and spectral analysis of zero accelerometer signals of the angles and micro-vibrations sensor during a long time was carried out to detect disturbances in the measurement process. The time approximation was also carried out and the optimal polynomial of the approximation was determined. The spectral analysis of accelerometers zero signals was carried out. Analysis of the amplitude-frequency characteristics of the accelerometers zero signals showed that the main perturbations are in the range up to 40 Hz. This sensor has several advantages in comparison with analogues: low cost of circuitry, simplicity of design and versatility of attachment. In this regard, the angles and micro-vibrations sensor should be widely used in various fields, when monitoring unique buildings and structures, dams, bridges, telescopes of other structures. This research work was supported by the Russian Fund of Fundamental Researches of the Russian Academy of Sciences (Grants No. 18-29-02019 mk).

Keywords: micromechanical accelerometer, micro-vibration sensor, spectral analysis

Suggested citation: Komarova M.N., Achildiev V.M., Bedro N.A., Gruzevich Y.K., Dudko V.G., Esakov V.A. *Datchik uglov i mikrovibratsiy dlya monitoringa sostoyaniya zdaniy i oborudovaniya* [Tilt and microvibrations sensor for monitoring buildings condition and equipment]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 128–137. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-128-137

References

- [1] GOST R 52892-2007. *Vibratsiya i udar. Vibratsiya zdaniy. Izmereniye vibratsii i otsenka yeye vozdeystviya na konstruktsiyu* [State Standart 52892-2007. Vibration and shock. Vibration of buildings. Measurement of vibration and evaluation of its impact on the structure]. Moscow, Standardinform, 2008, 16 p.
- [2] GOST R 53964-2010. *Vibratsiya. Izmereniya vibratsiy sooruzheniy. Rukovodstvo po provedeniyu izmereniy* [State Standart 53964-2010. Vibration. Measurement of vibration structures. Guide to measurement]. Moscow, Standardinform, 2011, 12 p.
- [3] *Zashchita ot povyshennogo shuma i vibratsii* [Protection against increased noise and vibration]. Collection of reports of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, March 18–20, St. Petersburg: Baltic State Technical University Voenmekh, 2015, 689 p.
- [4] Achildiev V.M., Basarab M.A., Bedro N.A., Soldatenkov V.A. *Seysmokardioblok na osnove mikromekhanicheskikh datchikov* [Cardioseismometer unit based on micromechanical sensors]. 25th Anniversary Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, St. Petersburg Central Research Institute Elektropribor, May 28-30, 2018. S.-Pb. Central Research Institute Elektropribor, 2018, pp. 185–194.
- [5] Levkovich A., Achildiev V., Soldatenkov V., Basarab M., Bedro N., Gruzevich Yu., Evseeva Yu., Konnova N., Komarova M. *Seismocardiography system based on micromechanical sensors* [Seismocardiography system based on micromechanical sensors]. Proc. IERI International Conference on Medical Physics, Medical Engineering and Informatics. Basic Clin Pharmacol Toxicol. Denmark: Wiley, 2018, t. 123, pp. 9–10.
- [6] VS1000 Vibration Sensor. Available at: <https://www.colibrys.com/product/vs1000-vibration-sensor/>. (accessed 24.08.2019).
- [7] Kutovoy D.A., Sitnikov P.V. *Nekotoryye prakticheskiye voprosy ispol'zovaniya variatsii Allana pri issledovanii besplatformennogo inertsiyal'nogo bloka* [Some practical issues of using Allan's variation in the study of the strapdown inertial unit]. *Navigatsiya i upravleniye dvizheniyem* [XV Conference of Young Scientists «Navigation and Traffic Control»], St. Petersburg, Central Research Institute Elektropribor, March 12–15, 2013. S.-Pb. Central Research Institute Elektropribor, 2013, pp. 246–252.
- [8] Litvin M.A., Malyugina A.A., Miller A.B., Stepanov A.N., Chikrin D.E. *Tipy oshibok v inertsiyal'nykh navigatsionnykh sistemakh i metody ikh approksimatsii* [Types of errors in inertial navigation systems and methods for their approximation]. *Informatsionnye protsessy* [Information processes], v. 14, no. 4, 2014, pp. 326–339.
- [9] Gruzevich Yu.K., Soldatenkov V.A., Achil'diev V.M., Levkovich A.D., Bedro A.N., Komarova M.N., Voronin I.V. *Issledovanie urovney mikrovibratsiy v lazernom interferometre s sistemoy aktivnoy vibroizolyatsii* [Investigation of Microvibration Levels in a Laser Interferometer with an Active Vibration Isolation System]. *Opticheskiy zhurnal* [Optical Journal], 2018, v. 85, no. 5, pp. 68–84.

- [10] Achil'diev V.M., Gruzevich Yu.K., Soldatenkov V.A. *Informatsionnye izmeritel'nye i optiko-elektronnye sistemy na osnove mikro- i nanomekhanicheskikh datchikov uglovoy skorosti i lineynogo uskoreniya* [Information measuring and opto-electronic systems based on micro- and nanomechanical sensors of angular velocity and linear acceleration]. Moscow: Publishing MSTU. N.E. Bauman, 2016, 260 p.
- [11] Soldatenkov V. A., Gruzevich Yu. K., Achil'diev V. M., Esakov V.A., Bedro N.A., Komarova M.N., Levkovich A.D. *Nekotoryye osobennosti identifikatsii pogreshnostey mikromekhanicheskikh akselerometrov v sostave datchika mikroviibratsii i seysmokardiobloka* [Some features of micromechanical accelerometers errors identification inside the microvibration sensor and cardioseismometer unit]. Sbornik tezisev Mezhdunarodnogo foruma «Mikroelektronika–2018» 4 Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Elektronnaya komponentnaya baza i mikroelektronnye moduli» [Collection of abstracts of the International Forum «Microelectronics–2018» of the 4th International Scientific Conference «Electronic Component Base and Microelectronic Modules»] Moscow: Tekhnosfera [Technosphere], 2018, pp. 517–520.
- [12] Fundamental package for scientific computing with Python. Available at: <http://www.numpy.org>. (accessed 24.08.2019).
- [13] Python 2D plotting library. Available at: <https://www.matplotlib.org>. (accessed 24.08.2019).
- [14] *Tsentr diagnostiki sostoyaniya sooruzheniy* [Center for diagnostics of construction of structures]. Available at: <http://www.creativeinstitute.ru/system.htm>. (accessed 24.08.2019).
- [15] Soldatenkov V.A., Gruzevich Yu.K., Achil'diev V.M., Levkovich A.D., Komarova M.N., Zorin A.P. *Naklonomer* [Tiltmeter]. Patent RF no. 146949, 2014.
- [16] Kalinkina M.E., Kozlov A.S., Labkovskaya R.Ya., Pirozhnikova O.I., Tklich V.L. *Raschet uglovy zhestkosti uprugogo elementa mikromekhanicheskogo akselerometra* [Calculation of the angular stiffness of the elastic element of a micromechanical accelerometer]. *IVUZ Priborostroenie* [IVUZ Instrument Engineering], 2019, v. 62, no. 6, pp. 534–541.
- [17] Soldatenkov V.A., Gruzevich Yu.K., Achil'diev V.M., Soldatenkova Yu.V., Babaeva N.I., Bedro N.A., Voronin I.V., Gryzlova L.V. *Izmeritel' uglovy skorosti* [Angular velocity meter]. Utility Model Patent RU 162343 U1, 06/10/2016. Application No. 2016101651/28 of 01.20.2016.
- [18] Soldatenkov V.A., Gruzevich Yu.K., Achil'diev V.M., Evseeva Yu.N. *Datchik uglov na osnove mikromekhanicheskogo besplatformennogo inertial'nogo bloka* [Angle sensor based on a micromechanical strapdown inertial block]. Sbornik materialov XXII Sankt-Peterburgskoy mezhdunarodnoy konferentsii po integrirovannym navigatsionnym sistemam [Proceedings of the XXII St. Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems]. Ed. V.G. Peshekhonova, September 12–17, 2019, St. Petersburg, Central Research Institute «Elektropribor». St. Petersburg: Central Research Institute Electropribor, 2015, pp. 364–367.
- [19] Soldatenkov V.A., Gruzevich Yu.K., Achil'diev V.M., Komarova M.N., Bedro N.A., Levkovich A.D., Gruzevich Yu.K. *Datchik uglov i mikroviibratsiy dlya kontrolya sostoyaniya sooruzheniy* [Angle and microvibration sensor for monitoring the condition of structures]. XXVI Sankt-Peterburgskaya mezhdunarodnaya konferentsiya po integrirovannym navigatsionnym sistemam [XXVI St. Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems], St. Petersburg, Central Research Institute Electropribor, May 27–29, 2019 St. Petersburg: Central Research Institute Elektropribor, 2019, pp. 237–240.

Authors' information

Komarova Mariya Nikolaevna — Chief Engineer of the «Scientific Production Unity GEOPHIZIKA-NV» Stock Company, maria-komarova86@mail.ru

Achil'diev Vladimir Mikhailovich — Cand. Sci. (Tech.), Chief Designer of MNEMS of the «Scientific Production Unity GEOPHIZIKA-NV» Stock Company, glmnems@geo-nv.com

Bedro Nikolay Anatol'evich — Deputy Chief Designer of MNEMS, head of department of the «Scientific Production Unity GEOPHIZIKA-NV» Stock Company, job_nick@mail.ru

Gruzevich Yuriy Kirillovich — Cand. Sci. (Tech.), Deputy General Director for science of the «Scientific Production Unity GEOPHIZIKA-NV» Stock Company, yukg@mail.ru

Dudko Vladimir Grigor'evich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), caf-sau@mgul.ac.ru

Esakov Vitaliy Anatol'evich — Cand. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), Academician of the Russian Academy of Cosmonautics, caf-sau@mgul.ac.ru

Received 29.01.2020.

Accepted for publication 03.03.2020.

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЧАСТНИКОВ КЛАСТЕРА ПО ПОЛУЧЕНИЮ ПИЩЕВОЙ ДИКОРАСТУЩЕЙ ПРОДУКЦИИ В РЕГИОНЕ

Т.С. Бузина, Я.М. Иванов, С.А. Петрова

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный

sofia.registration@mail.ru

Рассмотрены вопросы создания моделей кластеров согласно данным о получении дикорастущей продукции в Иркутской обл. На основе анализа состояния пищевых дикорастущих ресурсов, требований к промышленным кластерам и специализированным организациям описана концептуальная модель кластера по заготовке и переработке пищевой дикорастущей продукции в регионе. Изучены деятельность заготовителей и переработчиков дикоросов и планы их развития. Согласно кластерному анализу с учетом особенностей деятельности предприятий по заготовке и переработке пищевой дикорастущей продукции, минимизации расстояния между переработчиками и заготовителями определены пять кластеров в регионе. При кластеризации проанализировано 28 видов заготавливаемых дикорастущих ресурсов, которые объединены в следующие группы: орех кедровый, ягоды, грибы, папоротник-орляк, черемша и лекарственные травяные средства. Для моделирования взаимодействия участников кластера сформулированы прикладные задачи математического программирования: линейная с интервальными параметрами и параметрическая, в которой в качестве параметров использовано время и фактор в виде урожайности дикорастущего ресурса, влияющий на цену получаемой продукции. Построены модели для оптимизации взаимодействия участников кластера заготовки и переработки дикоросов, которые реализованы для Иркутского кластера с учетом данных о деятельности предприятий в 2018 г. и согласно плану по заготовке и переработке дикоросов в 2021 г. При нахождении оптимальных решений задачи линейного программирования с интервальными оценками использован метод статистических испытаний. В ряде случаев показатели моделей получены в виде экспертных оценок. Результаты моделирования показали преимущество получения продукции в рамках кластера по сравнению с индивидуальной деятельностью заготовителей и переработчиков.

Ключевые слова: кластер, пищевые дикорастущие ресурсы, оптимизация, неопределенность, параметрическое программирование

Ссылка для цитирования: Бузина Т.С., Иванов Я.М., Петрова С.А. Оптимизация взаимодействия участников кластера по получению пищевой дикорастущей продукции в регионе // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 138–149. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-138-149

Отличительной особенностью Иркутской обл. является наличие больших запасов разнообразных видов природных ресурсов — пищевой дикорастущей продукции и промысловых диких животных [1–4], что обусловлено сильной лесистостью территории [5]. Объемы пищевой дикорастущей продукции в виде грибов, ягод, орехов, папоротника и лекарственных растений в регионе в денежном выражении соизмеримы с объемами производства значительной части сельскохозяйственной продукции. В настоящее время заготовкой пищевой лесной продукции занимается население, индивидуальные предприниматели и переработчики. По сути, рынок этого ценнейшего сырья является полустихийным, а бюджет региона и муниципальных районов недополучает значительную часть денежных средств.

В ноябре 2018 г. принята подпрограмма «Развитие сферы заготовки, переработки и сбыта пищевых лесных ресурсов и лекарственных растений в Иркутской области» на 2019–2024 годы государственной программы Иркутской области «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» на 2019–2024 годы. Ее целью

является создание благоприятных условий для развития сферы заготовки, переработки и сбыта пищевых лесных ресурсов и лекарственных растений, обеспечивающих их рациональное использование и рост занятости сельского населения Иркутской обл. [6].

При этом создание производств по заготовке, переработке и сбыту пищевых дикорастущих ресурсов целесообразно осуществлять на базе кооперации и интеграции различных категорий товаропроизводителей с формированием разных по уровню, многоотраслевых и узкоспециализированных объединений, что повышает эффективность производственной деятельности и снижет риски сбыта продукции [7].

Кластеризация заготовки, переработки и сбыта пищевой дикорастущей продукции в сложившейся ситуации может быть эффективным направлением развития деятельности предприятий. При этом в пределах кластера можно оптимизировать взаимодействие участников.

Цель работы

Целью данной работы является оптимизация деятельности участников в рамках модели кластера заготовки, переработки и сбыта пищевой

дикорастущей продукции на примере Иркутской обл. Для достижения цели предлагается решить следующие задачи:

1) оценить деятельность организаций, занимающихся заготовкой пищевой дикорастущей продукции, ее переработкой и сбытом для построения моделей кластеров на основе учета вида продукции, наличия перерабатывающих организаций и расстояний между переработчиками и заготовителями;

2) разработать и реализовать математические модели оптимизации получения пищевой дикорастущей продукции в кластерах.

Материалы и методы

На основе анализа данных полевых исследований, отчетов, сведений о заготовках за многолетний период, демографической информации, информации о заготовителях и переработчиках, выбранного иерархического метода кластеризации предложены этапы выделения кластеров заготовки и переработки дикорастущей продукции в Иркутской обл.

Модели кластеров заготовительных предприятий и переработчиков дикорастущей продукции созданы с применением методов кластерного анализа.

Задачи оптимизации получения пищевой дикорастущей продукции в кластерах решались с использованием методов математического программирования в условиях неопределенности. Построены и реализованы модель параметрического программирования и линейная оптимизационная модель с интервальными параметрами применительно к задаче оптимизации заготовки, переработки и реализации дикоросов в рамках выделенных кластеров.

Результаты и их обсуждение

Иркутская обл. обладает большим потенциалом для получения пищевой дикорастущей продукции, особенно в районах, относящихся к несельскохозяйственным: Катанганском, Нижнеудинском, Ольхонском, Бодайбинском, Мамско-Чуйском и др. [1]. В настоящее время на территории региона деятельность по сбору, переработке и реализации дикоросов осуществляют 54 предприятия, которые расположены в 22 муниципальных районах.

На рис. 1 показана модель кластера по заготовке и переработке дикорастущей продукции в регионе.

Для выявления предприятий, на базе которых целесообразно создавать кластеры, и организаций, которые могут быть включены в их состав, можно применять статистическую процедуру кластерного анализа, предназначенную для разделения совокупности объектов на однородные группы (кластеры).

Алгоритм формирования кластеров получения пищевой дикорастущей продукции можно описать следующим образом.

1. По данным о предприятиях, являющихся заготовителями и (или) переработчиками пищевых дикорастущих ресурсов выделяются организации, специализирующиеся на переработке и сбыте различных видов дикорастущей пищевой продукции: ягод, орехов, грибов, черемши, папоротника, лекарственных травяных средств, которые могут выступать в качестве ядра кластера.

2. На втором этапе осуществляется объединение предприятий по видам заготавливаемой продукции: ягодам, грибам, кедровому ореху, папоротнику, черемше, лекарственным травянистым растениям и пр.



Рис. 1. Концептуальная модель кластера по заготовке и переработке дикорастущей продукции
 Fig. 1. Conceptual model of a cluster for harvesting and processing wild products

3. На основе выделенных предприятий переработчиков и заготовителей, а также критерия минимизации расстояния между пунктами заготовки и переработки определяются группы предприятий по получению пищевой дикорастущей продукции в двух вариантах: универсальные и по видам промысла. Первые из них характеризуются заготовкой определенного вида дикорастущей продукции, вторые — промыслом разных видов пищевой дикорастущей продукции.

4. Определяются внешние партнеры кластера: предприятия транспортной инфраструктуры, предприятия по производству упаковки и тары, финансовые и научные организации.

5. По итогам анализа рыночной конъюнктуры, выделяются каналы реализации готовой продукции, разрабатывается план информационно-коммуникационного взаимодействия между всеми участниками кластера.

Поскольку Иркутская обл. располагает обширными таежными территориями, исходя из сложившейся ситуации по заготовке и переработке продукции, можно выделить отдельные группы заготовителей и переработчиков, которые могли бы взаимодействовать в рамках взаимовыгодного сотрудничества.

Для проведения кластерного анализа определены объемы заготовки и переработки пищевой дикорастущей продукции в регионе. При этом учитывалось шесть видов ресурсов: ягоды, грибы, кедровый орех, папоротник, черемша и лекарственные травянистые растения.

Определены расстояния между заготовителями и переработчиками пищевой дикорастущей продукции. В качестве меры расстояния использована протяженность дорожной сети. Для каждого предприятия выявлены объемы заготовки и переработки пищевой дикорастущей продукции в настоящее время и в перспективе на ближайшие три года (2019–2021).

Согласно предложенному алгоритму, на первом этапе, по исходным данным, выделено 20 предприятий, занимающихся заготовкой и переработкой дикорастущей продукции, которые можно рассматривать в качестве потенциального ядра кластера получения пищевой дикорастущей продукции.

На втором этапе установлено количество предприятий, разделенных по видам продукции. Так, в кластер по получению и реализации ягод включены 44 предприятия, орехов — 37, грибов — 20, черемши — 19, папоротника — 14, лекарственных травяных средств — 51.

На третьем этапе рассчитаны минимальные расстояния между пунктами заготовки и переработки пищевой дикорастущей продукции и определена группировка заготовителей вокруг

потенциальных центров выделяемых кластеров, что для огромной территории Иркутской обл. имеет большое практическое значение.

По методам, предложенным в работах [8–11], определена структура кластера по заготовке и переработке дикорастущей продукции в регионе, которую можно описать следующим образом.

Центром кластера является предприятие или группа предприятий, выпускающих конечный продукт и экспортирующих его за пределы данной территории. Следует учитывать, что наличие мощности перерабатывающего предприятия, выпускающего на рынок готовую несырьевую продукцию, имеет при формировании кластеров особое значение.

Поставщиками сырья являются заготовители дикорастущей пищевой продукции, к которым относятся: граждане, ведущие личные подсобные хозяйства; крестьянские (фермерские) хозяйства; сельскохозяйственные потребительские кооперативы; индивидуальные предприниматели.

Научные, исследовательские и консалтинговые организации, обслуживающие центр кластера, образуют инновационное ядро кластера. К ним относятся прежде всего вузы: Иркутский ГАУ и ИГУ.

Государственные услуги оказывают внешние партнеры кластера, в качестве которых выступают органы государственной власти различного уровня, банки и разные смежные организации. Господдержка в виде грантов осуществляется Министерством сельского хозяйства Иркутской области. В подпрограмме «Развитие сферы заготовки, переработки и сбыта пищевых лесных ресурсов и лекарственных растений в Иркутской области на 2019–2024 годы» в рамках грантовой поддержки заготовителей и переработчиков пищевых лесных ресурсов и лекарственных растений предусмотрено финансирование в размере 30 млн руб. ежегодно в течение шести лет. Для содействия продвижению продукции, произведенной из пищевых лесных ресурсов и лекарственных растений, на российские и зарубежные рынки, ежегодно дополнительно выделяется 4 млн руб.

Для эффективного взаимодействия участников кластера предлагается привлечение транспортных компаний, занимающихся авиаперевозками, автоперевозками грузов, а также отправкой грузов железнодорожным транспортом. В дальнейшем возможно создание единого транспортного распределительного центра, позволяющего проводить анализ, аккумуляцию и перераспределение потоков товарно-материальных ценностей внутри кластера и региона.

Информационная инфраструктура кластера включает в себя специализированные базы дан-

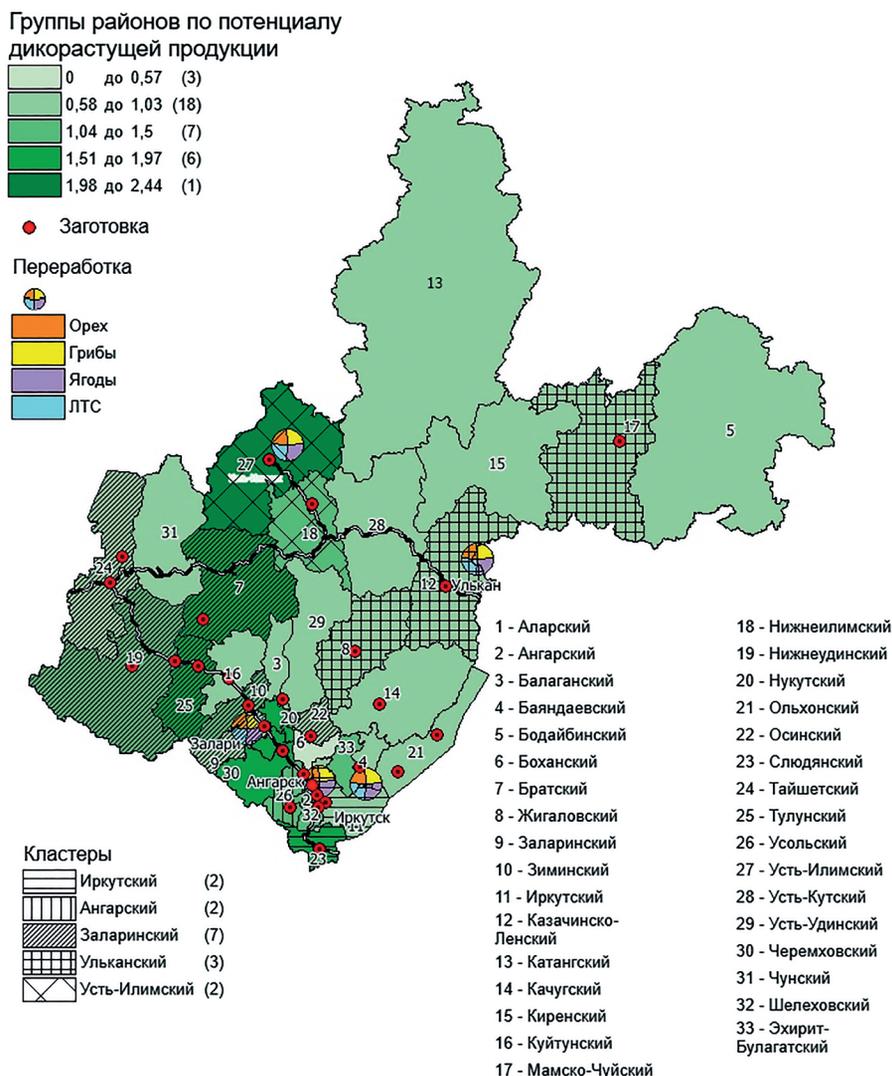


Рис. 2. Карта кластеров получения пищевой дикорастущей продукции в Иркутской обл.
Fig. 2. The map of clusters of obtain of food wild-growing products in Irkutsk region

ных по основным рынкам сбыта; интернет-торговлю; информационные системы, осуществляющие поиск сырья, комплектующих и технологий, рекламную и маркетинговую деятельность. Сюда же относится системное администрирование процессов и технологий, а также обслуживание цифровых систем [10].

Основными рынками сбыта пищевой дикорастущей продукции в регионе являются следующие: региональные и федеральные сетевые продуктовые ритейлеры, средние и мелкие продуктовые магазины; крупные и мелкие оптовые продовольственные компании; дополнительные сегменты (кафе, рестораны, кондитерские, пекарни и пр.).

Анализ опросных материалов по данным реализации продукции дикоросов показал, что основная часть продукции дикоросов с учетом процесса переработки реализуется в Иркутской обл. (г. Иркутск, муниципальные районы) – 40–50 %. В соседние

регионы (Бурятия, Забайкальский и Красноярский край) вывозится 20–30 % продукции, в центральные регионы — 10–20 %.

На внешний рынок поступает до 30–50 % продукции заготовки и переработки таких дикорастущих растений, как чага, агарикус, камедь, орех кедровый, папоротник, лесные ягоды, лекарственные травы, что позволяет увеличить доходность предприятий и отрасли.

В настоящее время наблюдается значительный спрос на пищевую дикорастущую продукцию Иркутской обл. в Китае. Помимо этого, интерес к дикорастущей продукции проявляют Корея, Япония и другие юго-восточные азиатские страны. Другими словами, спрос на дикоросы многократно превышает объемы заготовки и переработки ресурсов, получаемых в регионе. К этому следует добавить большие объемы импорта лекарственной продукции, что предполагает стимулирование отечественных заготовителей и переработчиков.

В качестве потенциального участника кластера можно выделить ООО «Дикоросы Прибайкалья» — интернет-магазин дикорастущей пищевой продукции, который находится в городе Усолье-Сибирское Иркутской обл. и реализует кедровый орех, продукцию из лекарственного сырья, ягоды. Кроме того, экспортом переработанной дикорастущей продукции, в частности ягод и лекарственных трав в виде варенья и чаев, занимается ООО «Дикая Сибирь» в городе Иркутске.

По результатам кластеризации создана карта кластеров получения пищевой дикорастущей продукции в Иркутской обл. (рис. 2).

Анализируя количество участников в каждой из выделенных групп с учетом того, что некоторые из них одновременно занимаются заготовкой и переработкой нескольких видов продукции, можно выделить Иркутский, Заларинский, Ангарский, Усть-Илимский и Ульканский кластеры.

Планирование заготовки и переработки пищевой дикорастущей продукции, как и оценка возможностей производства сельскохозяйственной продукции, связано с рисками, которые могут быть обусловлены влиянием на урожай неблагоприятных природных явлений или техногенной деятельности [1, 11]. Для снятия неопределенности при оценке параметров необходимо расширение исследований леса и прогнозирование их изменчивости [12].

Поскольку биопродуктивность ягод, грибов, лекарственных растений, кедрового ореха, папоротника, черемши и других пищевых дикорастущих ресурсов трудно предсказать или описать с помощью законов распределения вероятностей, для определения колебаний этого параметра предложено использовать интервальные оценки [1, 13].

К этому следует добавить колебание затрат на заготовку дикоросов, которые зависят от урожайности ягод, грибов, кедрового ореха и других ресурсов [1, 4, 14–16]. Между тем цены на пищевую дикорастущую продукцию связаны с урожайностью дикоросов. В некоторых случаях наблюдаются значимые тренды роста цен на пищевую дикорастущую продукцию.

Учитывая подобные свойства изменчивости показателей, влияющих, в конечном итоге, на доходы деятельности участников кластеров, предлагаются два варианта моделей оптимизации взаимодействия участников кластеров по получению максимального дохода — линейная модель с интервальными параметрами и модель параметрического программирования с усредненными показателями.

Модель взаимодействия участников кластера с интервальными оценками. Общая математическая модель оптимизации заготовки и переработки пищевой дикорастущей продукции имеет следующий вид.

Целевая функция предполагает получение максимума дохода:

$$f = \sum_{j \in J} \tilde{c}_j x_j + \sum_{j \in J} \alpha_j \tilde{d}_j x_j \rightarrow \max, \quad (1)$$

где \tilde{c}_j — стоимость реализации единицы продукции j , колеблющаяся в интервале $[\underline{\tilde{c}}_j, \overline{\tilde{c}}_j]$;
 \tilde{d}_j — стоимость реализации единицы продукции переработки j , изменяющаяся в интервале $[\underline{\tilde{d}}_j, \overline{\tilde{d}}_j]$;
 x_j — искомые объемы заготавливаемой продукции;
 α_j — коэффициент, характеризующий долю продукции переработки от общего объема заготовки (оценивается экспертами).

Ограничения задачи связаны с площадями, на которых заготавливают дикорастущую продукцию, трудовыми затратами, объемами получения ресурсов, затратами на обеспечение заготовки, количеством реализуемой продукции в непеработанном и переработанном виде:

$$\frac{x_j}{\tilde{y}_j} \leq \tilde{S}_j, \quad (2)$$

$$x_j \leq \tilde{V}_j, \quad (3)$$

$$\tilde{k}_j x_j \leq \tilde{K}_j, \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} l_j \leq L, \quad (5)$$

$$x_j \geq 0, \quad (6)$$

где \tilde{y}_j — биопродуктивность дикорастущих ресурсов для вида продукции j , изменяющаяся в пределах $[\underline{\tilde{y}}_j, \overline{\tilde{y}}_j]$;

\tilde{S}_j — площадь вида продукции j , характеризующаяся нижними и верхними оценками $[\underline{\tilde{S}}_j, \overline{\tilde{S}}_j]$;

\tilde{V}_j — объемы получаемой продукции в интервале нижних и верхних значений $[\underline{\tilde{V}}_j, \overline{\tilde{V}}_j]$;

\tilde{k}_j — затраты труда на получение единицы продукции j в пределах $[\underline{\tilde{k}}_j, \overline{\tilde{k}}_j]$;

\tilde{K}_j — имеющееся количество трудовых ресурсов j с нижними и верхними оценками $[\underline{\tilde{K}}_j, \overline{\tilde{K}}_j]$;

l_j — приведенные затраты на обеспечение получения продукции j ;

L — общие затраты на обеспечение заготовки и переработки продукции.

Для решения задачи (1) – (6) необходимо определить возможные диапазоны изменения интервальных параметров. Эти сведения приведены в табл. 1 согласно анализу теоретических и прикладных работ [1, 17–20].

Т а б л и ц а 1
Диапазоны изменения цен реализации дикоросов (нижняя — верхняя оценки) в задаче математического программирования (1) – (6)
Ranges of selling prices of wild products (lower — upper assessments) in the task of mathematical programming (1) – (6)

Вид реализации дикоросов	Дикорастущая продукция	Цена реализации, тыс. руб./т
Без переработки	Орех кедровый	180...340
	Ягоды	180...230
	Грибы	270...320
	Папоротник-орляк	120...200
	Черемша	110...180
	Лекарственные травяные средства	500...1000
Продукты переработки	Орех кедровый	700...1500
	Ягоды	600...1000
	Грибы сушеные	500...800
	Грибы соленые	840...1560
	Папоротник-орляк	210...390
	Черемша	210...390
	Лекарственные травяные средства	1400...2600

Нижние и верхние оценки параметров определены на основании данных о многолетних колебаниях рыночных цен на дикоросы в Иркутской обл. (см. табл. 1), хозяйственной биопродуктивности этой продукции в Иркутском районе и производственных мощностях предприятий — участников модельного кластера (см. табл. 2).

Основным условием применения задачи линейного программирования с интервальными па-

раметрами (1) – (6) является независимость урожайности разных видов пищевых дикорастущих ресурсов, что подтверждается корреляционным анализом многолетних рядов биопродуктивности дикоросов и экспертными оценками [13].

При реализации модели использован метод Монте-Карло, с помощью которого генерировались независимо случайные числа разных интервальных параметров. Опыт показывает, что для получения адекватных оптимальных решений, соответствующих приведенной задаче, достаточно смоделировать 300 ситуаций. При этом рассмотрены два случая. В первом из них использованы реальные данные о деятельности заготовителей и переработчиков, во втором — запланированные показатели на 2021 год.

В табл. 3 приведены оптимальные планы заготовки и переработки дикорастущей продукции, найденные при решении задачи оптимизации получения дикорастущей продукции с интервальными параметрами (1) – (6) для двух случаев — по фактическим и плановым данным. Согласно результатам моделирования (см. табл. 3) планируемые объемы заготовки и переработки пищевой лесной продукции превышают фактические в 2,6–4,5 раза. Наименьшее увеличение производств предполагается для переработки ягод, а наибольшее — для продукта переработки дикоросов под названием «Грибы сушеные».

В табл. 4 приведены значения целевой функции при фактической (первый случай) и плановой (второй случай) заготовке и переработке пищевой дикорастущей продукции.

Первый случай. Согласно табл. 4 для объемов, рассчитанных для фактической заготовки и переработки дикорастущей продукции участниками

Т а б л и ц а 2
Диапазоны изменения интервальных параметров, используемых в левых и правых частях ограничений (нижняя — верхняя оценки) задачи математического программирования (1) – (6)

Ranges of interval parameters used in lefts and rights sides of the constraints (lower - upper assessments) of the problem of mathematical programming (1) – (6)

Вид дикорастущей продукции	Показатель			
	Урожайность, т/га	Трудозатраты на заготовку единицы дикорастущей продукции, чел.-дн./т	Фактические объемы заготовки дикоросов, т	Плановые мощности объемов заготовки дикоросов, т
Орех кедровый	0,067...0,125	0,018...0,026	45...100	190...354
Ягоды	0,115...0,240	0,008...0,01	90...160	188...348
Грибы	0,010...0,250	0,036...0,056	10...20	53...98
Папоротник-орляк	0,2...0,4	0,033...0,05	12...25	62...114
Черемша	0,450...0,650	0,033...0,056	12...25	33...61
Лекарственные травяные средства	0,030...0,060	0,0014...0,0018	61...110	138...256

Т а б л и ц а 3

Оптимальные планы, полученные при решении задачи математического программирования с интервальными параметрами для Иркутского кластера по заготовке и переработке дикорастущей продукции

Optimal plans obtained when solving the mathematical programming problem with interval parameters for the Irkutsk cluster for harvesting and processing of wild products

Вид реализуемой продукции	Дикорастущая продукция	Неизвестное	Фактические объемы			Плановые объемы		
			max	min	med	max	min	med
Заготовленная, т	Орех кедровый	x_1	73	38	58	220	155	178
	Ягоды	x_2	156	92	125	313	190	327
	Грибы	x_3	10	19	18	73	68	69
	Папоротник-орляк	x_4	24	15	19	91	80	80
	Черемша	x_5	16	23	14	47	36	43
	Лекарственные травяные растения	x_6	100	74	86	253	161	239
Переработанная, т	Орех кедровый	x_7	25	13	20	77	54	62
	Ягоды	x_8	74	44	59	149	90	155
	Грибы сушеные	x_9	1	2	2	9	9	9
	Грибы соленые	x_{10}	5	9	8	33	31	31
	Папоротник-орляк	x_{11}	7	5	6	27	24	24
	Черемша	x_{12}	8	11	7	23	18	21
	Лекарственные травяные растения	x_{13}	20	15	17	51	32	48

Т а б л и ц а 4

Значения целевой функции, полученные при решении задачи математического программирования с интервальными параметрами для Иркутского кластера по заготовке и переработке дикорастущей продукции

The values of the objective function obtained as a result of solving of the mathematical programming problem with interval parameters for Irkutsk cluster on harvesting and processing of wild-growing products

Показатель	Фактические объемы			Плановые объемы		
	max	min	med	max	min	med
Значение целевой функции, млн руб.	326,378	170,786	230,023	800,944	452,575	624,105
в т. ч. выручка заготовителей, млн руб.	162,029	86,872	118,522	439,541	247,238	305,717
в т. ч. выручка переработчиков, млн руб.	164,349	83,913	111,501	361,403	205,337	318,388

Иркутского модельного кластера (см. табл. 3), доходы заготовителей и переработчиков от получения пищевой дикорастущей продукции составили более 80 млн руб. Общий доход от получения сырьевых и переработанных дикорастущих ресурсов изменяется в зависимости от внешних условий среды от 170,8 до 326,4 млн руб. Медианная оценка выручки составила 230 млн руб.

Второй случай. Для плановых объемов заготовки и переработки дикоросов на 2021 г. объемы заготовки, переработки и реализации продукции можно увеличить в 2–7 раз (по разным видам дикорастущей продукции). В зависимости от урожайности дикорастущих культур и цены ре-

ализации нижние и верхние оценки целевой функции составляют 452,6 и 800,9 млн руб. соответственно, а медианное значение — 624,1 млн руб. (см. табл. 4). При этом для переработчиков и заготовителей медиана суммы выручки близка по значению и составляет чуть более 300 млн руб.

Добавим к этому, что задача (1) – (6) решена для случая, когда коэффициент, характеризующий долю продукции переработки от общего объема заготовки (α_j), соответствовал 0,50.

Модель параметрического программирования взаимодействия участников кластера. В некоторых ситуациях удается показатели модели, описывающие оптимизацию взаимодействия

Т а б л и ц а 5

Результаты решения задачи параметрического программирования для Иркутского кластера по заготовке и переработке объемов дикорастущей продукции

The results of solving the parametric programming problem as applied to the Irkutsk cluster on the harvesting and processing volumes of wild products

Вид реализуемой продукции	Дикорастущая продукция	Неизвестное	Фактические мощности объемов	Плановые мощности объемов
Заготовленная, т	Орех кедровый	x_1	51	272
	Ягоды	x_2	117	268
	Грибы	x_3	12	75
	Папоротник-орляк	x_4	16	88
	Черемша	x_5	16	47
	Лекарственные травяные растения	x_6	78	197
Переработанная, т	Орех кедровый	x_7	18	95
	Ягоды	x_8	56	127
	Грибы сушеные	x_9	2	9
	Грибы соленые	x_{10}	5	34
	Папоротник-орляк	x_{11}	5	26
	Черемша	x_{12}	8	23
Лекарственные травяные растения	x_{13}	16	39	
Значение целевой функции, млн руб.			220,997	701,931
В т.ч. выручка заготовителей, млн руб.			95,543	304,989
В т.ч. выручка переработчиков, млн руб.			125,454	396,942

участников кластера, определять с помощью регрессионных и функциональных зависимостей. Тогда можно рассмотреть частный случай задачи математического программирования - задачу параметрического программирования [13, 21–23 и др.].

Применительно к оптимизации взаимодействия участников кластера заготовки и переработки дикоросов целевая функция задачи параметрического программирования записывается в следующем виде

$$f = \sum_{j \in J} c_j(t_j)x_j + \sum_{j \in J} \alpha_j d_j(t_j)x_j \rightarrow \max, \quad (7)$$

где $c_j(t_j)$ — стоимость единицы продукции j , которая связана аналитическим выражением с параметром t_j ;

$d_j(t_j)$ — стоимость реализации единицы продукции j , которая зависит от параметра t_j .

При этом t_j изменяется в интервале $[\beta_j, \gamma_j]$

При рассмотрении детерминированной задачи с усредненными показателями (y_j, k_j, K_j, V_j, S_j) неравенства (2) – (4) преобразуются в:

$$\frac{x_j}{y_j} \leq S_j, \quad (8)$$

$$x_j \leq V_j, \quad (9)$$

$$k_j x_j \leq K_j. \quad (10)$$

В сформулированной задаче ограничения (5) и (6) остаются теми же, что и в модели (1) – (6).

В задаче (5) – (10) для определения показателей $c_j(t_j)$ и $d_j(t_j)$ в качестве параметра t_j применимы время и урожайность пищевых дикорастущих культур (y_j):

$$c_j(t_j) = a_{0j} + a_{1j}t_j + a_{2j}t_j^2 + \dots + a_{mj}t_j^m, \quad (11)$$

$$d_j(t_j) = b_{0j} + b_{1j}t_j + b_{2j}t_j^2 + \dots + b_{mj}t_j^m. \quad (12)$$

Выражения (10) и (11) представляют собой обобщенные формулы. В частных случаях можно использовать линейные зависимости в виде первых двух слагаемых. Значения t_j изменяются в интервале $[\beta_j, \gamma_j]$.

При решении задачи параметрической оптимизации для определения коэффициентов при неизвестных в выражении (7) использовано уравнение регрессии согласно данным о рыночных ценах и биопродуктивности кедровых орехов за 15 лет на территории России [24] и функциональная зависимость стоимости ягоды и их биопродуктивности на основе экспертных оценок:

$$c_1(t_1) = 0,715t_1^2 + 1,3t_1 + 28,85, \quad (13)$$

$$c_2(y_2) = -0,1y_2 + 250, \quad (14)$$

где c_1 и c_2 — стоимость кедровых орехов и ягод соответственно, реализуемых без переработки;

t_1 — номер года (данные 2001–2015 гг.);

y_2 — урожайность ягод, изменяющаяся от 100 до 700 кг/га.

Уравнение (13) с точностью в виде коэффициента детерминации $R^2 = 0,61$ является значимым согласно критерию Фишера.

Задача (5) – (12) — детерминированная. Результаты ее решения с учетом выражений (13) и (14) приведены в табл. 5.

Полученные результаты основаны на прогнозном значении цены на кедровый орех и усредненной урожайности ягод.

Согласно табл. 5 выручка составила 95,5 и 125,4 млн руб. для заготовителей и переработчиков дикоросов соответственно по фактическим данным и 305,0 и 396,9 млн руб. — по плановым значениям (2021 г.). При этом общий доход от заготовки и переработки дикорастущей продукции в модельном Иркутском кластере может быть увеличен более чем в 3 раза.

Полученные результаты (табл. 3–5) показывают перспективу развития Иркутского кластера, который, в лучшем случае, за 3 года может увеличить доход от продажи дикорастущей продукции приблизительно в 3 раза за счет увеличения объемов заготавливаемой и реализуемой продукции. Причем работа участников в рамках кластера более эффективна по сравнению с независимой деятельностью каждого переработчика и заготовителя, что подтверждает анализ суммарных индивидуальных доходов и доходов кластера.

Выводы

Заготовка и переработка дикорастущей продукции являются высокодоходной и перспективной деятельностью в богатой пищевыми дикорастущими ресурсами Иркутской обл. На основе анализа деятельности заготовителей и переработчиков дикоросов, расстояния между ними, направленности получения продукции на территории региона выделено пять кластеров. Разработаны модели оптимизации взаимодействия участников в рамках кластера заготовки и переработки пищевых дикорастущих ресурсов в двух вариантах — задача линейного программирования с интервальными параметрами и задача параметрического программирования с усредненными показателями. Математические модели реализованы для Иркутского кластера заготовки и переработки дикоросов. Технология моделирования взаимодействия участников в кластере в условиях неопределенности с использованием метода статистических испытаний может быть использована для планирования деятельности заготовителей и переработчиков дикоросов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, грант № 19-07-00322

Список литературы

- [1] Потенциальные запасы дикорастущих ресурсов Иркутской области / под ред. Я.М. Иваньо. Иркутск: Иркутский ГАУ, 2018. 156 с.
- [2] Об утверждении лесного плана Иркутской области. Постановление Губернатора Иркутской области от 9 февраля 2009 г. № 23-П : по состоянию на 12 декабря 2017 г. URL: <https://base.garant.ru/21696329/> (дата обращения 23.10.2019)
- [3] Кружков Н.А., Вашукевич Ю.Е. История Иркутского треста коопзверопромхозов: (охотничье-промысловое хозяйство потребительской кооперации Иркутской области второй половины XX века. Иркутск: Иркутский ГАУ, 2015. 283 с.
- [4] Вашукевич, Ю.Е., Ганзевич А.А., Илли А.И. К вопросу о стратегии развития охотничьего хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года // Вестник ИрГСХА, 2013. № 57-3. С. 125–132.
- [5] Вашук Л.Н., Швиденко А.З. Динамика лесных пространств Иркутской области. Иркутск: Иркутская областная типография № 1, 2006. 392 с.
- [6] Об утверждении государственной программы Иркутской области «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» на 2019–2024 годы. Постановление правительства Иркутской области № 772-пт от 26 октября 2018 г. URL: <http://docs.cntd.ru/document/550247316> (дата обращения 23.10.2019)
- [7] О промышленных кластерах и специализированных организациях промышленных кластеров (вместе с «Требованиями к промышленным кластерам и специализированным организациям промышленных кластеров в целях применения к ним мер стимулирования деятельности в сфере промышленности», «Правилами подтверждения соответствия промышленного кластера и специализированной организации промышленного кластера требованиям к промышленным кластерам и специализированным организациям промышленных кластеров в целях применения к ним мер стимулирования деятельности в сфере промышленности»). Постановление Правительства РФ от 31.07.2015 N 779: по состоянию на 02 августа 2018 г. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_183798/ (дата обращения 23.10.2019)
- [8] Барсукова М.Н., Бузина Т.С., Иваньо Я.М., Федурин Н.И. Кластеризация производителей и заготовителей продовольственной продукции в Иркутской области // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса» посвященной памяти А.А. Ежовского, Иркутск 15–16 ноября 2018 г. Иркутск: Иркутский ГАУ, 2018. С. 92–101.
- [9] Бузина Т.С. Моделирование агропромышленных кластеров с определением оптимального взаимодействия его участников для стратегического планирования производства продукции в условиях изменчивости цены и спроса // Вестник ИрГСХА, 2016. № 75. С. 112–118.
- [10] Мороз С.Н. Оценка потребностей и возможности компаний и обзор наиболее успешного опыта по многоцелевому использованию лесных ресурсов на региональном уровне в Сибири / под ред. Н.М. Шмакова, Н.В. Трофимовой, В.А. Сипкина, WWF России. М.: [б.и.], 2016. 59 с.

- [11] Лебединская Ю.С. Принципиальная структура экономического кластера для развития региона // *Международ. журн. прикладных и фундаментальных исследований*, 2014. № 5–2. С. 139–142. <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5354> (дата обращения 23.10.2019)
- [12] Glotko A.V., Sycheva I.N., Dunets A.N., Kolupaev A.A., Makarov A.N., Anikienko N.N. Development of the regional agriculture through the cluster approach in Russian Federation // *International J. Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 2018, t. 9, no. 11, pp. 1156–1168.
- [13] Шалаев В.С. Новая книга о международном союзе лесных исследовательских организаций // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2019. № 1 (367). С. 171–172.
- [14] Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. Optimization models for the procurement of food wild-growing products with expert assessments // *Collection of theses by materials of VI Int. Workshop: «Critical Infrastructures in the Digital World» (IWCI-2019), Baykalsk, 17–24 march 2019. Irkutsk: ESI SB RAS, 2019, p. 58.*
- [15] Бакайтис В.И., Цапалова И.Э., Кутафьева Н.П., Позняковский В.М. Экспертиза грибов. Качество и безопасность. Серия: Экспертиза пищевых продуктов и продовольственного сырья / под ред. В.М. Позняковского. Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2007. 256 с. URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785379001902.html> (дата обращения 25.10.2019).
- [16] Цапалова И.Э., Губина М.Д., Голуб О.В., Позняковский В.М. Экспертиза дикорастущих плодов, ягод и травянистых растений. Качество и безопасность. Сер. Экспертиза пищевых продуктов и продовольственного сырья / под ред. В.М. Позняковского. Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2005. 211 с.
- [17] Музыка В.А., Музыка С.М. Метеозависимость в развитии микоризных макромицетов и прогнозирование ежегодных урожаев съедобных грибов на примере Северного Приаянья // *Вестник ИрГСХА*, 2015. № 67. С. 72–78.
- [18] Кедровый промысел в Прибайкалье / под ред. В.М. Шунькова. Иркутск: Иркутский сельскохозяйственный институт, 1969. 119 с.
- [19] Васильков Б.П. Методы учета съедобных грибов в лесах СССР. Л.: Наука, 1968. 67 с.
- [20] Чупров А.И. Эффективность труда на сборе дикорастущих ягод // *Лесное хозяйство*, 1982. № 9. С. 20–23.
- [21] Иванько Я.М., Музыка С.М., Дицевич Б.Н., Лузан А.А., Петрова С.А., Столопова Ю.А. Зонирование потенциальных запасов дикорастущих ресурсов Иркутской области по приоритетам заготовки / отчет о НИР. Иркутск: Иркутский ГАУ, 2018. 180 с.
- [22] Барсукова М.Н., Иванько Я.М., Петрова С.А. О задачах и рисках трансформации цифровых технологий в сельском хозяйстве Иркутской области // *Цифровые технологии и системы в сельском хозяйстве. Материалы междунар. науч.-практ. конф., п. Молодежный, 08–10 октября 2019 г. Иркутск: Иркутский ГАУ, 2019. С. 10–22.*
- [23] Барсукова М.Н., Иванько Я.М. Приложения параметрического программирования для решения задач оптимизации получения продовольственной продукции // *Вестник ИрГТУ*, 2017. № 4. С. 57–66.
- [24] Горелик В.А., Кондратьева В.А. Параметрическое программирование и несобственные задачи линейной оптимизации // *II Моделирование, оптимизация и декомпозиция сложных динамических процессов. М.: ВЦ РАН, 1999. С. 57–82.*
- [25] Петров В.Н. Экономико-правовое регулирование заготовки дикоросов в России // *ЛесПромИнформ*, 2016. № 4 (118). URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4412> (дата обращения 23.10.2019).

Сведения об авторах

Бузина Татьяна Сергеевна — канд. техн. наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, buzinats@mail.ru

Иванько Ярослав Михайлович — д-р техн. наук, профессор, проректор по научной работе, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, iasa_econ@rambler.ru

Петрова Софья Андреевна — канд. техн. наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, sofia.registration@mail.ru

Поступила в редакцию 29.10.2019.

Принята к публикации 23.03.2020.

OPTIMIZATION OF THE INTERACTION OF CLUSTER MEMBERS TO OBTAIN WILD FOOD PRODUCTS IN THE REGION

T.S. Buzina, Ya.M. Ivanyo, S.A. Petrova

Irkutsk State Agricultural University, 664038, Irkutsk reg., Irkutsk district, p. Molodezhny

sofia.registration@mail.ru

The paper deals with the issues of creating cluster models according to the data on obtaining wild-growing products in the Irkutsk region. Based on the analysis of the state of wild food resources and requirements for industrial clusters and specialized organizations, a conceptual model of the cluster for the harvesting and processing of wild food in the region is described. Harvesters and processors of wild plants and their development plans are considered. According to the cluster analysis, taking into account the peculiarities of enterprises engaged in the procurement and processing of wild-growing food products, minimizing the distance between processors and procurers, five clusters were identified in the region. During clustering, 28 species of harvested wild resources were analyzed, which are grouped into the following groups: pine nut, berries, mushrooms, bracken, wild garlic, herbal medicines. To model the interaction of cluster members, the following mathematical programming problems are formulated: linear with interval parameters and parametric, in which time and a factor in the form of the yield of a wild resource affecting the price of the resulting product are used as parameters. Models have been built to optimize the interaction of cluster participants in the harvesting and processing of wild plants. The developed models were implemented for the Irkutsk cluster taking into account data on the activities of enterprises in 2018 and on the basis of plans for the harvesting and processing of wild plants in 2021. The Monte Carlo method was used to find the optimal solutions to the linear programming problem with interval estimates. In some cases, the indicators of the models obtained in the form of expert assessments. The simulation results showed the advantage of obtaining products within the cluster compared with the individual activities of procurers and processors.

Keywords: cluster, wild food resources, optimization, uncertainty, parametric programming

Suggested citation: Buzina T.S., Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. *Optimizatsiya vzaimodeystviya uchastnikov klastera po polucheniyu pishchevoy dikorastushchey produktsii v regione* [Optimization of the interaction of cluster members to obtain wild food products in the region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 138–149. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-138-149

References

- [1] Ivanyo Ya.M., Ditsevich B.N., Luzan A.A., Muzyka S.M., Petrova S.A., Stolopova Yu.V. *Potentsial'nye zapasy dikorastushchikh resursov Irkutskoy oblasti* [Potential reserves of wild resources of the Irkutsk region]. Irkutsk: ISAU, 2018, 156 p.
- [2] *Ob utverzhdenii lesnogo plana Irkutskoy oblasti* [On approval of the forest plan of the Irkutsk region]. Available at: <https://base.garant.ru/21696329/> (accessed 23.10.2019).
- [3] Vashukevich Yu.E., Kruzhekov N.A. *Istoriya Irkutskogo tresta koopzveropromkhozov: (okhotnich'e-promyslovoe khozyaystvo potrebitel'skoy kooperatsii Irkutskoy oblasti vtoroy poloviny XX veka)* [The history of the Irkutsk trust zveropromyshlennyye cooperative farms: (hunting-trade farm of consumer cooperation of the Irkutsk region of the second half of XX century)]. Irkutsk: ISAU, 2015, 283 p.
- [4] Vashukevich Yu.E., Ganzevich A.A., Illi A.I. *K voprosu o strategii razvitiya okhotnich'ego khozyaystva Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda* [To the question of the development strategy of the hunting economy of Russian Federation for the period until 2030]. *Vestnik IrGSKhA* [Bulletin of Irkutsk state agricultural academy], 2013, no. 57–3, pp. 125–132.
- [5] Vashchuk L.N., Shvidenko A.Z. *Dinamika lesnykh prostranstv Irkutskoy oblasti* [Dynamics of forest spaces of Irkutsk region]. Irkutsk: Irkutsk Regional Printing House No. 1, 2006, 392 p.
- [6] *Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy Irkutskoy oblasti «Razvitie sel'skogo khozyaystva i regulirovanie rynkov sel'skokhozyaystvennoy produktsii, syr'ya i prodovol'stviya» na 2019–2024 gody* [On approval of the state program of the Irkutsk region «Development of agriculture and regulation of agricultural products, raw materials and food markets» for 2019–2024]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/550247316> (accessed 23.10.2019).
- [7] *O promyshlennykh klasterakh i spetsializirovannykh organizatsiyakh promyshlennykh klasterov (vmeste s «Trebovaniyami k promyshlennym klasteram i spetsializirovannym organizatsiyam promyshlennykh klasterov v tselyakh primeneniya k nim mer stimulirovaniya deyatel'nosti v sfere promyshlennosti», «Pravilami podtverzhdeniya sootvetstviya promyshlennogo klastera i spetsializirovannoy organizatsii promyshlennogo klastera trebovaniyam k promyshlennym klasteram i spetsializirovannym organizatsiyam promyshlennykh klasterov v tselyakh primeneniya k nim mer stimulirovaniya deyatel'nosti v sfere promyshlennosti»)* [About industrial clusters and specialized organizations of industrial clusters (together with «Requirements for industrial clusters and specialized organizations of industrial clusters in order to apply to them measures stimulate working in industry», «The rules for confirming the conformity of the industrial cluster and the specialized organization of the industrial cluster with the requirements for industrial clusters and specialized organizations of industrial clusters in order to apply to them measures stimulate working in industry»)]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_183798/ (accessed 23.10.2019).
- [8] Barsukova M.N., Buzina T.S., Ivan'ov Ya.M., Fedurina N.I. *Klasterizatsiya proizvoditeley i zagotoviteley prodovol'stvennoy produktsii v Irkutskoy oblasti* [Clustering of producers and harvesters of food products in the Irkutsk region]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Problemy i perspektivy ustoychivogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa» posvyashchennoy pamyati A.A. Ezhevskogo*, 15–16 noyabrya 2018. [Proc. The All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation «Problems and Prospects for the Development of the Agro-Industrial Complex» dedicated to the memory of A.A. Ezhevsky, November 15–16, 2018]. Irkutsk: ISAU, 2018, pp. 92–101.

- [9] Buzina T.S. *Modelirovaniye agropromyshlennykh klasterov s opredeleniyem optimal'nogo vzaimodeystviya yego uchastnikov dlya strategicheskogo planirovaniya proizvodstva produktsii v usloviyakh izmenchivosti tsen i sprosa* [Modeling of agroindustrial clusters with determination of its participants for strategic planning of production in conditions of price and demand variability]. *Vestnik IrGSKhA* [Bulletin of Irkutsk state agricultural academy], 2016, no. 75, pp. 112–118.
- [10] Moroz S.N. *Otsenka potrebnostey i vozmozhnostey kompaniy i obzor naiboleye uspeshnogo opyta po mnogotselevomu ispol'zovaniyu lesnykh resursov na regional'nom urovne v Sibiri* [Assessing the needs and capabilities of companies and reviewing the most successful experience in the multi-purpose use of forest of resources at regional level in Siberia]. Eds. N.M. Shmatkova, N.V. Trofimovoy, V.A. Sipkina, WWF Rossii. Moscow, 2016, 59 p.
- [11] Lebedinskaya Yu.S. *Printsipial'naya struktura ekonomicheskogo klastera dlya razvitiya regiona* [The basic structure of economic cluster for development of region]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [international journal of applied and basic research], 2014, no. 5–2, pp. 139–142. Available at: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5354/4412> (accessed 23.10.2019).
- [12] Glotko A.V., Sycheva I.N., Dunets A.N., Kolupaev, A.A. Makarov A.N., Anikienko N.N. Development of the regional agriculture through the cluster approach in Russian Federation. *International J. Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 2018, t. 9, no. 11, pp. 1156–1168.
- [13] Shalaev V.S. *Novaya kniga o mezhdunarodnom soyuze lesnykh issledovatel'skikh organizatsiy* [A new book on the international union of forest research organizations]. *IVUZ Lesnoy zhurnal* [IVUZ Forest Journal], 2019, no. 1 (367), pp. 171–172.
- [14] Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. Optimization models for the procurement of food wild-growing products with expert assessments. Collection of theses by materials of VI International Workshop: «Critical Infrastructures in the Digital World» (IWCI-2019), Baykalsk, 17–24 march 2019. Irkutsk: ESI SB RAS, 2019, p. 58.
- [15] Bakaytis V.I., Tsapalova I.E., Kutaf'yeva N.P., Poznyakovskiy V.M. *Ekspertiza gribov. Kachestvo i bezopasnost' (Seriya: Ekspertiza pishchevykh produktov i prodovol'stvennogo syr'ya)* [Examination of mushrooms. quality and safety (Series: Examination of food products and food raw materials)]. Ed. V.M. Poznyakovskiy. Novosibirsk: Sibirskoye universitetskoye izdatel'stvo, 2007, 256 p. Available at: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785379001902.html> (accessed 25.10.2019).
- [16] Tsapalova I.E., Gubina M.D., Golub O.V., Poznyakovskiy V.M. *Ekspertiza dikorastushchikh plodov, yagod i travyanistykh rasteniy. Kachestvo i bezopasnost' (Seriya: Ekspertiza pishchevykh produktov i prodovol'stvennogo syr'ya)* [Examination of wild fruits, berries and herbaceous plants. Quality and safety (Series: Examination of food products and food raw materials)]. Ed. V.M. Poznyakovskiy. Novosibirsk: Sibirskoye universitetskoye izdatel'stvo, 2005, 211 p.
- [17] Muzyka V.A., Muzyka S.M. *Meteorozavisimost' v razvitiy mikoriznykh makromitsetov i prognozirovaniye yezhegodnykh urozhayev s'yedobnykh gribov na primere Severnogo Prisan'ya* [Meteorological dependence in development of mycorrhizal macromycetes and predicting annual yield of edible mushrooms on example of Northern Sayan region]. *Vestnik IrGSKhA* [Bulletin of Irkutsk state agricultural academy], 2015, no. 67, pp. 72–78.
- [18] *Kedrovyy promysel v Pribaykal'ye* [Cedar mining in Baikal region]. Ed. V.M. Shun'kov. Irkutsk: Irkutskiy sel'skokhozyaystvennyy institut, 1969, 119 p.
- [19] Vasil'kov B.P. *Metody ucheta s'yedobnykh gribov v lesakh SSSR* [Methods of accounting for edible mushrooms in the forests of USSR]. Leningrad: Nauka, 1968, 67 p.
- [20] Chuprov A.I. *Effektivnost' truda na sbore dikorastushchikh yagod* [Labor efficiency on picking wild berries]. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 1982, no. 9, pp. 20–23.
- [21] Ivan'o Ya.M., Muzyka S.M., Ditsevich B.N., Luzan A.A., Petrova S.A., Stolopova YU.A. *Zonirovaniye potentsial'nykh zapasov dikorastushchikh resursov Irkutskoy oblasti po prioritetam zagotovki* [Zoning of potential reserves of wild resources of Irkutsk region according to harvesting priorities]. Irkutsk: ISAU, 2018, 180 p.
- [22] Barsukova M.N., Ivan'o Ya.M., Petrova S.A. *O zadachakh i riskakh transformatsii tsifrovyykh tekhnologiy v sel'skom khozyaystve irkutskoy oblasti* [On the tasks and risks of the transformation of digital technologies in agriculture in the Irkutsk region]. *Tsifrovye tekhnologii i sistemy v sel'skom khozyaystve* [Materials of international scientific-practical conference], p. Molodezhny, October 08–10, 2019. Irkutsk: ISAU, 2019, pp. 10–22.
- [23] Barsukova M.N., Ivan'o Ya.M. *Prilozheniya parametricheskogo programmirovaniya dlya resheniya zadach optimizatsii polucheniya prodovol'stvennoy produktsii* [Applications of parametric programming to solve the problems of food production optimization]. *Vestnik IrGTU* [Proceedings of Irkutsk state technical university], 2017, no. 4, pp. 57–66.
- [24] Gorelik V.A., Kondrat'yeva V.A. *Parametricheskoye programmirovaniye i nesobstvennyye zadachi lineynoy optimizatsii* [Parametric programming and non own linear optimization problems]. *II Modelirovaniye, optimizatsiya i dekompozitsiya slozhnykh dinamicheskikh protsessov* [II Modeling, optimization and decomposition of complex dynamic processes]. Moscow: VTs RAN, 1999, pp. 57–82.
- [25] Petrov V.N. *Ekonomiko-pravovoye regulirovaniye zagotovki dikorosov v Rossii* [Economic and legal regulation of harvesting of wild plants in Russia]. *LesPromInform*, 2016, no. 4 (118). Available at: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4412> (accessed 23.10.2019).

Authors' information

Buzina Tat'yana Sergeevna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Informatics and Mathematical Modeling, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, buzinats@mail.ru

Ivan'o Yaroslav Mikhaylovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Vice-rector for scientific work, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, iasa_econ@rambler.ru

Petrova Sof'ya Andreevna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Informatics and Mathematical Modeling, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, sofia.registration@mail.ru

Received 29.10.2019.

Accepted for publication 23.03.2020.



Памяти

Моисеева Николая Александровича

**доктора сельскохозяйственных наук, профессора,
академика Российской академии наук, заслуженного лесовода РСФСР,
заслуженного деятеля науки и заслуженного лесовода РФ**

23 июля 2020 г. ушел из жизни наш Друг и Коллега

Вся трудовая, научная и преподавательская деятельность Николая Александровича была посвящена служению Лесной науке, практике и воспитанию лесных специалистов. Научные труды академика Н.А. Моисеева известны во всем мире. Созданная им научная школа сформировала новое мировоззрение, понятия о Лесе, определила приоритетность лесных отношений и дала импульс к возрождению и развитию лесного комплекса не только сегодня, но и для будущих поколений.

Огромный научный потенциал и практический опыт академик Н.А. Моисеев реализовывал в сфере научной и педагогической деятельности в Московском государственном университете леса. За продолжительное время работы в университете он принимал активное участие во всех сферах деятельности. Была создана новая академическая научная школа, реализованы научно-исследовательские проекты. Активная жизненная позиция, интеллигентность, высокий профессионализм и мировая известность способствовали проведению ежегодных Международных конференций и семинаров с участием российских и зарубежных ученых и представителей бизнеса. Руководство университета высоко оценивало профессиональный и личный вклад Николая Александровича и поддерживало его деятельность.

Выдающийся ученый, талантливый руководитель, учитель и воспитатель, который вывел на орбиту не одно поколение профессионалов. В каждом из нас есть частичка его знаний, души, стремления двигаться только вперед, к новым свершениям.

Сегодня, как бы велики не были утраты, мы сознаем всю ответственность и важность возложенной на нас миссии следовать заветам и претворять в жизнь Учения и Деяния Николая Александровича, нашего Друга, Учителя и Соратника.

Коллектив Мытищинского филиала МГТУ им. Н. Э. Баумана