

ISSN 1993-0135

ХВОЙНЫЕ

БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ



2023

Том XLI
Номер 1

<http://www.sibsau.ru>

Красноярск

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XLI
№ 1

Красноярск
2023

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XLI, № 1

Журнал основан в 1962 г.
(до 2002 г. носил название «Лиственница»).

Выходит 6 раз в год

Главный редактор

Братилова Наталья Петровна, д.с.-х.н. профессор

Ответственный секретарь

Коротков Александр Анатольевич, к.с.-х.н., доцент

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Авдеева Елена Владимировна, д.с.-х.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Алашкевич Юрий Давыдович, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Бабич Николай Алексеевич, д.с.-х.н., профессор (САФУ, Архангельск)
Бессчетнов Владимир Петрович, д.б.н., профессор (НГСХА, Нижний Новгород)
Верховец Сергей Владимирович, к.с.-х.н., доцент (Директор Проектного офиса
НОЦ МУ «Енисейская Сибирь», Красноярск)
Выводцев Николай Васильевич, д.с.-х.н., профессор (Тихоокеанский государственный университет,
Хабаровск)
Ермолин Владимир Николаевич, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Залесов Сергей Вениаминович, д.с.-х.н., профессор (УГЛТУ, Екатеринбург)
Иванов Валерий Александрович, д.с.-х.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Кобаяси Рёсукэ, к.с.-х.н. (Центр полевых биосферных исследований Севера, Университет Хоккайдо)
Казаков Яков Владимирович, д.т.н. (САФУ, Архангельск)
Корпачев Василий Петрович, к.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Крутовский Константин Валерьевич, профессор (Техасский агромеханический университет, США)
Кузнецов Борис Николаевич, д.х.н., профессор (ИХХТ СО РАН, Красноярск)
Матвеева Римма Никитична, д.с.-х.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Нагимов Зуфар Ягфарович, д.с.-х.н., профессор (УГЛТУ, Екатеринбург)
Нимц Петер, профессор (Институт строительных материалов и физики древесины (IfB)
Высшей швейцарской технической школы (ETH), Цюрих, Швейцария)
Огурцов Виктор Владимирович, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Онучин Александр Александрович, д.б.н., профессор (ИЛ СО РАН, Красноярск)
Пен Роберт Зусьевич, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Прохоров Валерий Николаевич, д.б.н., профессор, член-корреспондент НАН Беларуси
(Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, Беларусь)
Рязанова Татьяна Васильевна, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Сафин Руслан Рушанович, д.т.н., профессор (Казанский национальный исследовательский
технологический университет, Казань)
Селиховкин Андрей Витимович, д.б.н., профессор (СПбЛТА им. Кирова, Санкт-Петербург)
Стороженко Владимир Григорьевич, д.б.н. (Институт лесоведения РАН, Москва)
Субоч Георгий Анатольевич, д.х.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Суховольский Владислав Григорьевич, д.б.н., профессор (ИЛ СО РАН, Красноярск)
Усольцев Владимир Андреевич, д.с.-х.н., профессор (УГЛТУ, Екатеринбург)
Шевелев Сергей Леонидович, д.с.-х.н. профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Якубов Харис Галиулович, д.б.н., профессор (МГУ, Москва)

CONIFERS of the BOREAL AREA

Theoretical and Applied Research Journal

Volume XLI, № 1

The journal was founded in 1962
(Prior to 2002 it had the title «Larch»).

Issued 6 times a year

Editor-In-Chief

Dr. Natalia P. Bratilova, Professor

Executive secretary

Cand. Aleksandr A. Korotkov, Associate Professor

EDITORIAL BOARD:

- Avdeeva** Elena V., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Alashkevich Yuri D., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Babich Nikolay A., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Northern Arctic Federal University, Arkhangelsk)
Besschetnov Vladimir P., Dr. Sc. in Biology, Professor (Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod)
Ermolin Vladimir N., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Ivanov Valery A., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Kobayashi Ryosuke, Cand. Sc. in Agriculture, North Field Biosphere Research Center (Hokkaido University)
Kazakov Yakov V., Dr. Sc. in Engineering, Associate Professor (Northern Arctic Federal University, Arkhangelsk)
Korpachev Vasily P., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Krutovsky Konstantin V., Professor (Texas A&M University, College Station, USA)
Kuznetsov Boris N., Dr. Sc. in Chemistry, Professor (Institute of Chemistry and Chemical Technology, Krasnoyarsk)
Matveeva Rimma N., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Nagimov Zufar Ya., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Ural State Forestry University, Ekaterinburg)
Niemz Peter, Professor (Institute for Building Materials and Wood Physics (IfB) at Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich, Switzerland)
Ogurtsov Victor V., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Onuchin Alexandr A., Dr. Sc. in Biology, Professor (Sukachev Institute of Forest, Krasnoyarsk)
Pen Robert Z., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Prokhorov Valery V., Dr. Sc. in Biology, Professor, Associate Member of the National Academy of Sciences of Belarus (Institute of experimental botany of NAS of Belarus, Minsk, Belarus)
Ryazanova Tatyana V., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Safin Ruslan R., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Kazan National Research Technological University, Kazan)
Selikhovkin Andrey V., Dr. Sc. in Biology, Professor (Saint-Petersburg State Forest-Technical Academy)
Shevelev Sergei L., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Storochenko Vladimir G., Dr. Sc. in Biology, Professor (Institute of Forest Sciences, Moscow)
Suboch Georgii A., Dr. Sc. in Chemistry, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Suhovolsky Vladislav G., Dr. Sc. in Biology, Professor (Sukachev Institute of Forest, Krasnoyarsk)
Verkhovets Sergei V., Cand. Sc. in Agriculture, Docent (Director of the Project Office of the REC MU "Yenisey Siberia", Krasnoyarsk)
Vyvodtsev Nikolay V., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Pacific National University, Khabarovsk)
Usoltsev Vladimir A., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Ural State Forestry University, Ekaterinburg)
Zalesov Sergey V., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Ural State Forestry University, Ekaterinburg)
Yakubov Haris H. Dr. Sc. in Biology, Professor (Moscow State University, Moscow)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-70531 от 25 июля 2017 г.
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Certificate of Registration as a Mass Media Resource.
Certificate: PI No. FC77-70531, dated 25 July 2017,
given by The Federal Service for Supervision of Communications,
Information Technology and Mass Media

Статьи в журнале публикуются бесплатно после обязательного рецензирования
и при оформлении их в соответствии с требованиями редакции (www.hbz.sibsau.ru).

Журнал выходит 6 раз в год.

Электронная версия журнала представлена на сайте Научной электронной библиотеки
(<http://www.elibrary.ru>) и сайте журнала (<https://hbz.sibsau.ru/>)

При перепечатке или цитировании материалов из журнала
«Хвойные бореальной зоны» ссылка обязательна

Учредитель и издатель

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева» (СибГУ им. М. Ф. Решетнева)

Адрес учредителя и издателя

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева,
Российская Федерация, 660037, Красноярск,
проспект имени газеты «Красноярский Рабочий», 31

Адрес редакции

Российская Федерация, 660049, Красноярск, просп. Мира, 82, каб. ц-01а
Редакция журнала «Хвойные бореальной зоны»
Тел. (391) 266-03-96, e-mail: hbz@sibsau.ru, www.hbz.sibsau.ru

Address: Editorial office of the journal “Conifers of the Boreal Area”
82, Mira Av., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation.
Department of Forest Cultures
Phone: (391) 266-03-96, e-mail: hbz@sibsau.ru, www.hbz.sibsau.ru

Ответственный редактор А. А. Коротков.
Корректор П. С. Бороздов. Оригинал-макет и верстка Л. В. Звонаревой.

Подписано в печать 20.02.2023. Дата выхода в свет 28.02.2023. Формат 70×108/8.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 10,7. Уч.-изд. л. 13,6. Тираж 700 экз.
Заказ С 663/23. Цена свободная.

Редакционно-издательский отдел СибГУ им. М. Ф. Решетнева.
660037, Красноярский край, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский Рабочий», 31.
E-mail: rio@mail.sibsau.ru. Тел. (391) 291-90-96.

Отпечатано в редакционно-издательском центре СибГУ им. М. Ф. Решетнева.
660049, Красноярский край, г. Красноярск, просп. Мира, 82. Тел. (391) 222-73-28.

Содержание

БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ, ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Батвенкина Т. В., Воробьева И. А., Романова Л. И. Ход роста модальных пихтовых древостоев Емельяновского лесничества	7
Воробьев Р. А., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Тютин А. Ю. Таксационные показатели клонов плюсовых деревьев ели европейской в архиве клонов в Нижегородской области	12
Долматов С. Н., Колесников П. Г., Черников Д. Ю., Гарифулин В. Ф. Использование широкополосного радиодоступа и технологий дистанционного мониторинга для обнаружения и управления тушением лесных пожаров	24
Залывская О. С., Бабич Н. А. Импульсно-томографная диагностика состояния древесных пород в городских условиях	33
Иванов А. В., Усольцев В. А., Цепордей И. С., Касаткин А. С. Сравнительный анализ биомассы кедровых и дубовых древостоев Приморья в контексте биоразнообразия	38
Тарасов П. А., Иванов В. А., Иванова Г. А., Безкоровая И. Н. Постпирогенные изменения гидротермических параметров песчаных подзолов в сосняках Южной тайги	46
Усольцев В. А., Цепордей И. С. Аллометрические модели и таблицы для оценки биомассы отмерших ветвей растущих деревьев дистанционными методами	56
Чанчикова С. А., Мельник А. И., Вайс А. А., Козлов Н. В. Динамика сосновых насаждений за 20-ий период в условиях учебно-опытного лесхоза СибГУ	65
Шевелев С. Л., Немич В. Н., Воробьева И. А., Усов С. В. Нормативная база для оценки лесосек в Сибири	73

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Бызов В. Е., Торопов А. С., Торопова Е. В., Микрюкова Е. В., Шарапов Е. С. Раскрой круглых лесоматериалов с ядровой напенной гнилью на пилопродукцию	80
Ермолина А. В. Влияние пропитки гидрофобизирующими кремнийорганическими составами на свойства древесины	89

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Иванов В. А., Лис Е. В., Фибих Е. В., Шимова Ю. С. Исследование химического состава шишек и семян хвойных пород Сибири	95
---	----

Авторская ссылка	101
-------------------------------	-----

Contents

BIOLOGY AND ECOLOGY, FORESTRY

Batvenkina T. V., Vorobeva I. A., Romanova L. I. The course of growth of modal fir stands of the Yemelyanovsky forestry	7
Vorobyov R. A., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Tyutin A. Yu. Taxation indicators of the norway spruce plus trees in the clone archive in the Nizhny Novgorod region	12
Dolmatov S. N., Kolesnikov P. G., Chernikov D. Yu., Garifulin V. F. Use of broadband radio access and remote monitoring technologies for detection and forest fire extinguishing control	24
Zalyvskaya O. S., Babich N. A. Pulse-tomograph diagnostics of the state of tree species in urban environments	33
Ivanov A. V., Usoltsev V. A., Tsepordey I. S., Kasatkin A. C. Comparative analysis of <i>Pinus koraiensis</i> S. ex Z. and <i>Quercus mongolica</i> F. ex L. stand biomass on Primorye in the context of biodiversity	38
Tarasov P. A., Ivanov V. A., Ivanova G. A., Bezkorovaynaya I. N. Post-pyrogenic changes in hydrothermal parameters of sandy podzols in the pine forests of the Southern taiga	46
Usoltsev V. A., Tsepordey I. S. Allometric models and tables for estimating the biomass of dead branches of growing trees by remote sensing	56
Chanchikova S. A., Melnik A. I., Vais A. A., Kozlov N. V. Dynamics of pine stands for the 20-th period in the conditions of the educational and experimental forestry of SibSU	65
Shevelev S. L., Nemich V. N., Vorobeva I. A., Usov S. V. Regulatory framework for the assessment of logging sites in Siberia	73

TECHNOLOGY OF HARVESTING AND MECHANICAL PROCESSING OF WOOD

Byzov V. E., Toropov A. S., Toropova E. V., Mikryukova E. V., Sharapov E. S. Sawing of round logs with heart butt rot	80
Ermolina A. V. Effect of impregnation with hydrophobizing organosilicon compounds on the properties of wood	89

CHEMICAL TECHNOLOGY OF PROCESSING OF VEGETABLE RAW MATERIALS

Ivanov V. A., Lis E. V., Fibikh E. V., Shimova Yu. S. Study of the chemical composition of cones and seeds of coniferous species of Siberia	95
--	----

Author's link	102
----------------------------	-----

ХОД РОСТА МОДАЛЬНЫХ ПИХТОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ЕМЕЛЬЯНОВСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА

Т. В. Батвенкина*, И. А. Воробьева, Л. И. Романова

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: tat-batv31@mail.ru

Закономерности роста и продуктивности насаждений являются не только теоретической основой лесохозяйственной деятельности, но и используются в практике для выполнения многих расчетов, служат базой для построения лесотаксационных нормативов. Таблицы хода роста нормальных насаждений предназначены для изучения закономерностей строения и могут служить эталоном при таксации лесов, их целесообразно составлять по классам бонитета. Для определения возрастов спелости и решения других вопросов, связанных с фактическим состоянием лесов, предназначаются таблицы хода роста модальных насаждений.

В данной статье на основе выборочных данных таксационных описаний Емельяновского лесничества Красноярского края составлена таблица хода роста пихтовых древостоев III класса бонитета. Выравнивание проводилось по высоте и диаметру для каждого из элементов леса и запаса яруса на 1 га. Коэффициент корреляции колеблется от 0,9737 до 0,9979, стандартная относительная ошибка уравнений не превышает $\pm 10\%$. Анализ составленной таблицы хода роста показал, что возраст естественной спелости пихтовых древостоев в 170 лет еще не наступает, что в целом характерно для модальных древостоев, возраст количественной спелости наблюдается в 80 лет. Для сопоставления составленной таблицы хода роста с аналогичной таблицей Э.Н. Фалалеева и В.С. Полякова используется метод сравнения среднеквадратического процента отклонения, предложенный В.В. Загребевым.

Проведенные исследования подтверждают необходимость разработки регрессионных моделей основных таксационных показателей и построения на их основе таблиц хода роста, отражающих особенности роста насаждений конкретного региона.

Ключевые слова: таблица хода роста, модальный древостой, элемент леса, динамика таксационных показателей, коэффициент корреляции.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 1, P. 7–11

THE COURSE OF GROWTH OF MODAL FIR STANDS OF THE YEMELYANOVSKY FORESTRY

T. V. Batvenkina*, I. A. Vorobeveva, L. I. Romanova

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: tat-batv31@mail.ru

The patterns of growth and productivity of plantings are not only the theoretical basis of forestry activities, but are also used in practice to perform many calculations, serve as the basis for the construction of forest taxation standards. Tables of the course of growth of normal plantings are designed to study the regularities of the structure and can serve as a standard for forest taxation, it is advisable to compile them by bonus classes. To determine the age of ripeness and to solve other issues related to the actual state of forests, tables of the course of growth of modal plantings are intended.

In this article, on the basis of sample data from the taxation descriptions of the Yemelyanovsky forestry of the Krasnoyarsk Territory, a table of the course of growth of fir stands of the III class of bonitet is compiled. The alignment was carried out according to the height and diameter for each of the elements of the forest and the stock of the tier per 1 ha. The correlation coefficient ranges from 0,9737 to 0,9979, the standard relative error of the equations does not exceed $\pm 10\%$. Analysis of the compiled growth progress table showed that the age of natural ripeness of fir stands at 170 years has not yet come, which is generally characteristic of modal stands, the age of quantitative ripeness is observed at 80 years. To compare the compiled growth progress table with a similar table by E.N. Falaleev and V.S. Polyakov, the method of comparing the standard deviation percentage proposed by V.V. Zagreev is used.

The conducted research confirms the need to develop regression models of the main taxation indicators and build growth progress tables based on them, reflecting the growth characteristics of plantings in a particular region.

Keywords: *table of growth, modal tree stand, a forest element, the dynamics of the inventory indices, the correlation coefficient.*

ВВЕДЕНИЕ

Закономерности роста и продуктивности насаждений являются не только теоретической основой лесохозяйственной деятельности, но и используются в практике для выполнения многих расчетов, служат базой для построения лесотаксационных нормативов (шкала бонитетов М.М. Орлова; стандартная таблица сумм площадей сечений и запасов при полноте 1,0 ЦНИИЛХа, составленная под руководством Н.В. Третьякова, и другие).

Важнейшая особенность таблиц хода роста (ТХР) состоит в том, что они почти единственные лесотаксационные нормативы, отражающие динамические закономерности. Опыт последних десятилетий показал, что ТХР используются как нормативы для актуализации таксационных показателей древостоев при таксации лесного и лесосечного фонда.

По мнению В.В. Антанайтиса [1], В.В. Кузьмичева [5] и других исследователей [3], ТХР нормальных насаждений предназначены для изучения закономерностей строения и могут служить эталоном при таксации лесов, их целесообразно составлять по классам бонитета. Для определения возрастов спелости и решения других вопросов, связанных с фактическим состоянием лесов, предназначаются ТХР модальных насаждений. Они строго местные и могут составляться как по типам леса, так и по классам бонитета.

Фактический ход роста и производительность встречаемых в природе разнообразных насаждений лучше всего отображают ТХР с разным количеством деревьев и суммами площадей сечений в молодом возрасте. Они облегчают решение многих лесохозяйственных задач, в том числе и проектирование промежуточного пользования. Такие таблицы допускается составлять по почвенно-типологическим условиям и классам бонитета.

Лесистость Емельяновского лесничества Красноярского края составляет 67,4 %. Большая часть территории занята лесами. Основными лесобразующими хвойными породами являются: пихта, ель, сосна, лиственница, кедр. Среди лиственных пород наиболее распространены береза и осина.

В пределах района широко распространены пихтовые леса, среди которых преобладают пихтачи зелено-

мошники и пихтачи разнотравные. Зеленомошные пихтачи распространены на крутых склонах. В подлеске распространена ель. Пихтачи разнотравные характеризуются большой примесью кедра, ели, режы березы и сосны, в подлесках – рябина, ольховник, черемуха, жимолость, спирея.

В практике лесного хозяйства страны, в том числе и в районе исследований, до настоящего времени используются всеобщие таблицы хода роста нормальных насаждений, составленные в разное время А.В. Тюриным [9] и В.В. Загребным [7].

Ход роста пихтовых древостоев Красноярского края изучали многие ученые. Самыми известными являются таблицы, составленные Э.Н. Фалалеевым и В.С. Поляковым в 1969 году для модальных древостоев пихты Красноярско-Ачинско-Канского района и для Восточного Саяна [10].

Однако в этих таблицах содержится информация динамики высот и диаметров только для главной породы, также в них не отражена динамика состава. В связи с этим в настоящей статье проведено исследование, как изменяются с возрастом высоты и диаметры всех составляющих пород.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Общая методика исследований основана на анализе таксационных описаний Емельяновского лесничества лесоустройства 2000 года. Общий размер выборки составил 278 выделов, то есть не менее 25 выделов с I по IX классы возраста.

Камеральная обработка материалов производилась на основании методических рекомендаций Н.П. Анучина [2], В.С. Моисеева [6] и И.В. Семечкина [8]. Н.П. Анучиным был предложен метод составления таблиц хода роста модальных насаждений, использующий в качестве основы для построения таблиц производственные материалы, то есть таксационные описания. Эти материалы отражают массовые наблюдения в натуре. Помимо выборки из таксационных описаний можно использовать таблицы классов возраста, бонитетов, полнот и запасов или ведомости итогов таблиц классов возраста.

Таблица 1
Краткая характеристика пихтовых древостоев по классам возраста

Класс возраста	Состав	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Средний бонитет	Средняя полнота	Запас на 1 га, м ³
I	5ПЗБ1Е1Ос	17,9	4,8	3,4	2,6	0,6	32,9
II	4ПЗБ2Е1К	34,0	7,6	6,3	3,8	0,6	55,0
III	5П2Б1К1Е	55,2	11,8	12,8	3,4	0,6	81,6
IV	6П2Б1К1Е	76,0	17,4	17,0	3,0	0,6	148,8
V	5П2Б1К1Е1Ос	90,0	19,0	18,4	3,2	0,6	164,0
VI	6П2Е1Б1Ос	112,4	21,6	22,2	3,0	0,6	225,6
VII	5П2Е1К1Б1Ос	132,0	22,3	23,4	3,2	0,6	207,2
VIII	6П1К1Е1Б1Ос	154,0	23,8	25,3	2,9	0,6	232,8
IX	7П1К1Е1Б	178,8	24,9	25,8	3,0	0,6	222,5

В итоге выравнивания средних величин по классам возраста большинства таксационных показателей получают средние нормативы, среднеквадратические отклонения и средние ошибки [2].

Исходя из вышесказанного, по каждому классу возраста через число наблюдений были рассчитаны средние арифметические величины таксационных показателей древостоев: состав, возраст, высота и диаметр каждого из элементов леса, средние бонитет, полнота и запас на 1 га яруса (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что пихтовые древостои смешанные, с долей пихты в составе от 4 до 7 единиц. Древостои характеризуются полнотой 0,6, что позволяет отнести их к модальным. Все они представлены преимущественно III классом бонитета.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Подбор регрессионных моделей и статистическая обработка проводились с помощью прикладных программ Curve Expert 1.4, Excel.

В результате исследований были получены регрессионные модели динамики средних высот для всех элементов леса, характеристика которых представлена в табл. 2.

Анализ таблицы показал, что все уравнения характеризуются достаточно высокими коэффициентами корреляции (R) от 0,9737 до 0,9979, а также небольшой величиной стандартной относительной ошибки ($\mu_{\text{отн}}$) от $\pm 3,0$ до $\pm 7,7$ %.

Аналогично проводилось исследование зависимости средних диаметров от возраста для всех элементов леса. Характеристика полученных регрессионных моделей приведена в табл. 3.

Полученные регрессионные модели также характеризуются высокими коэффициентами корреляции и более высокими относительными ошибками, по сравнению с высотами, но, тем не менее, находятся в допустимых пределах.

Динамика общих запасов на 1 га древостоя хорошо описывается уравнением Хойера:

$$M = a \cdot b^A \cdot A^c, \quad (1)$$

где M – средний запас древостоя, $\text{м}^3/\text{га}$; A – возраст, лет; a, b, c – коэффициенты уравнения.

Уравнение характеризуется следующими коэффициентами: $a = 0,2227$; $b = 0,9907$; $c = 1,6609$; коэффициент корреляции 0,9839, стандартная относительная ошибка $\pm 6,5$ %.

Далее была составлена таблица хода роста пихтовых древостоев (табл. 4). В ней также приводятся динамика сумм площадей поперечных сечений (Σg , м^2), числа стволов и изменения запаса.

Анализ составленной хода роста показал, что возраст естественной спелости пихтовых древостоев в 170 лет еще не наступает, что в целом характерно для модальных древостоев (табл. 4). Возраст количественной спелости в наблюдается в 80 лет.

Наиболее подходящей для сравнения является таблица, составленная Э.Н. Фалалеевым и В.С. Поляковым для модальных пихтовых древостоев Красноярска-Ачинско-Канского района [10].

Для сопоставления выровненных рядов был использован метод сравнения среднеквадратического процента отклонения, который был предложен В.В. Загребевым [4]. Основываясь на этом методе, среднеквадратический процент отклонения рассчитывается по формуле

$$X_{\text{ср}} = \pm 200 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{a_i - b_i}{a_i + b_i} \right)^2}{n - 1}}, \quad (2)$$

где $X_{\text{ср}}$ – среднеквадратическое отклонение, %; a_i, b_i – соответственно попарно сравниваемые данные сопоставляемых таблиц по каждому возрасту; n – число сравниваемых пар.

Таблица 2

Параметры и показатели оценки адекватности моделей динамики средних высот

Элемент леса	Вид уравнения	Параметры уравнений				Статистические показатели	
		a	b	c	d	R	$\mu_{\text{отн}}, \%$
П	$y = a - be^{-cx^d}$	24,6923	21,7341	0,0006	1,7299	0,9979	$\pm 3,2$
Е	$y = a / (1 + be^{-cx})$	24,9753	12,7582	0,0463	–	0,9977	$\pm 3,0$
К	$y = a / (1 + be^{-cx})$	24,0321	8,9823	0,0411	–	0,9967	$\pm 3,5$
Б	$y = a + bx + cx^2$	0,1814	0,3069	-0,0011	–	0,9847	$\pm 6,2$
Ос	$y = a / (1 + be^{-cx})$	25,6834	10,7425	0,0407	–	0,9737	$\pm 7,7$

Таблица 3

Параметры и показатели оценки адекватности моделей динамики средних диаметров

Элемент леса	Вид уравнения	Параметры уравнений				Статистические показатели	
		a	b	c	d	R	$\mu_{\text{отн}}, \%$
П	$y = a - be^{-cx^d}$	26,7148	26,4159	0,0016	1,4792	0,9982	$\pm 3,0$
Е	$y = ab^x c^x$	0,0072	0,9867	2,0577	–	0,9945	$\pm 5,4$
К	$y = a / (1 + be^{-cx})$	36,0747	11,9991	0,0389	–	0,9921	$\pm 6,4$
Б	$y = ab^x c^x$	0,0093	0,9849	2,0023	–	0,9748	$\pm 9,8$
Ос	$y = a / (1 + be^{-cx})$	31,8324	58,6314	0,0583	–	0,9856	$\pm 9,9$

Таблица 4
Эскиз таблицы хода роста модальных пихтовых древостоев III класса бонитета

Возраст, лет	Таксационные показатели									
	яруса						составляющих пород			
	состав по элементам леса	средняя высота, м	$\Sigma g, m^2$	число стволов, шт.	запас, м ³ /га	изменение запаса, м ³		средние		запас, м ³
						среднее	текущее	высота, м	диаметр, см	
10	46П	3,4	—	—	9	—	0,93	3,6	1,5	4,3
	10Е							2,8	0,3	0,8
	5К							3,4	3,9	0,5
	32Б							3,1	0,8	3,0
	8Ос							3,2	0,9	0,7
30	48П	7,2	—	—	48	1,93	1,59	6,9	6,0	22,9
	11Е							5,9	6,3	5,3
	6К							6,6	7,6	2,9
	29Б							8,4	5,4	13,9
	6Ос							6,2	2,8	2,9
50	49П	11,7	14,0	1188	93	2,25	1,85	11,2	11,0	45,4
	13Е							11,0	11,7	12,0
	8К							11,2	13,3	7,4
	26Б							12,8	11,0	24,0
	5Ос							10,7	7,6	3,9
70	51П	15,9	17,3	830	134	2,10	1,92	15,5	15,5	68,5
	13Е							16,6	16,3	17,5
	9К							15,9	20,2	12,1
	22Б							16,2	15,9	29,6
	5Ос							15,9	15,9	6,7
90	53П	19,3	19,2	590	169	1,75	1,88	18,9	19,0	89,7
	14Е							20,8	20,3	23,7
	10К							19,6	26,5	16,9
	18Б							18,8	19,5	30,5
	5Ос							20,2	24,3	8,5
110	55П	21,6	20,4	427	196	1,34	1,78	21,4	21,7	107,9
	14Е							23,2	23,6	27,5
	11К							21,9	30,9	21,6
	15Б							20,5	21,6	29,4
	5Ос							22,9	29,0	9,8
130	56П	23,1	21,5	468	215	0,93	1,65	22,9	23,6	120,2
	14Е							24,6	26,1	30,1
	11К							23,6	33,5	23,6
	13Б							21,3	22,3	27,9
	6Ос							25,1	30,9	12,9
150	58П	23,9	22,1	492	226	2,06	1,51	23,8	24,8	131,0
	14Е							24,6	27,9	31,6
	12К							23,6	34,8	24,8
	11Б							21,3	21,9	24,8
	6Ос							25,1	31,5	13,6
170	60П	24,2	22,1	503	231	0,25	1,36	24,3	25,6	138,5
	14Е							24,9	29,1	32,3
	12К							23,8	35,5	27,7
	10Б							20,3	21,9	23,1
	5Ос							25,4	31,7	9,2

Таблица 5

Среднеквадратические проценты отклонения по ТХР авторов и ТХР, составленной Э.Н. Фалалеевым и В.С. Поляковым [10]

Возраст, лет	Ход роста по высоте ($H_{\text{ср}}$, м)		Ход роста по диаметру ($D_{\text{ср}}$, см)		Ход роста по запасу (M , $\text{м}^3/\text{га}$)	
	эскиз ТХР	ТХР других авторов	эскиз ТХР	ТХР других авторов	эскиз ТХР	ТХР других авторов
50	11,2	15,9	11,0	17,4	93	160
70	15,5	19,2	15,5	21,0	134	207
90	18,9	21,2	19,0	23,5	169	234
110	21,4	22,7	21,7	25,8	196	251
130	22,9	23,6	23,6	27,4	215	263
150	23,8	24,3	24,8	28,3	226	269
Среднеквадратический процент отклонения, %		±19,2		±28,6		±37,4

Сравниваемые показатели обеих таблиц хода роста и рассчитанные проценты среднеквадратического отклонения приведены в табл. 5.

Анализ таблицы показал, что наибольшие различия наблюдаются при сравнении запасов. Высокие показатели среднеквадратического отклонения в закономерностях динамики таксационных показателей, вероятнее всего, обуславливаются принятой методикой группировки данных и моделирования динамики таксационных показателей древостоев. Также это может быть связано некоторыми различиями типов рельефа или типов леса и особенностями глазомерной таксации насаждений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования подтверждают необходимость разработки регрессионных моделей основных таксационных показателей и построения на их основе таблиц хода роста, отражающих не только особенности роста насаждений конкретного региона, но и для разных типов леса и классов бонитета. Дополнение таких таблиц динамикой высот и диаметров всех составляющих пород дает более полную картину роста древостоев и помогает в решении ряда практических задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Антанайтис В. В. Современное направление лесостроительства. М. : Лесн. пром-сть, 1977. 280 с.
2. Анучин Н. П. Лесная таксация : учебник для вузов. 5-е изд., доп. М. : Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
3. Батвенкина Т. В., Гончарук В. В. Таксация лесосежного фонда сосновых древостоев Красноярского Приангарья. Красноярск : СибГТУ, 2006. 132 с.
4. Загребов В. В. Географические закономерности роста и продуктивности древостоев. М. : Лесная пром-сть, 1978. 240 с.
5. Кузьмичев В. В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск : Наука, 1977. 160 с.
6. Моисеев В. С., Мошкалева А. Г., Нахабцев Н. А. Методика составления таблиц хода роста и динамики товарной структуры модальных насаждений. Л. : ЛенЛТА, 1968. 87 с.
7. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В. В. Загребов [и др.]. М. : Колос, 1992. 492 с.

8. Семечкин И. В. Опыт использования данных глазомерной таксации для изучения динамики насаждений // Организация лесного хозяйства и инвентаризация лесов : сб. ст. Вып. 1. Красноярск : Красноярское книжное изд-во, 1962. С. 119–131.

9. Тюрин А. В., Науменко И. М., Воропанов П. В. Лесная вспомогательная книжка. 2-е изд., доп. М.-Л. : Гослесбумиздат, 1956. 532 с.

10. Ход роста основных лесобразующих пород Сибири : учеб. пособие. Ч. II. Красноярск, 1975. 162 с.

REFERENCES

1. Antanaytis V. V. Sovremennoe napravlenie lesoustroystva. M. : Lesn. prom-st, 1977. 280 s.
2. Anuchin N. P. Lesnaya taksatsiya : uchebnik dlya vuzov. 5-e izd., dop. M. : Lesn. prom-st, 1982. 552 s.
3. Batvenkina T. V., Goncharuk V. V. Taksatsiya lesechnogo fonda sosnovykh drevostoev Krasnoyarskogo Priangarya. Krasnoyarsk : SibGTU, 2006. 132 s.
4. Zagreev V. V. Geograficheskie zakonomernosti rosta i produktivnosti drevostoev. M. : Lesnaya prom-st, 1978. 240 s.
5. Kuzmichev V. V. Zakonomernosti rosta drevo-stoev. Novosibirsk : Nauka, 1977. 160 s.
6. Moiseev V. S., Moshkalev A. G., Nakhabtsev N. A. Metodika sostavleniya tablits khoda rosta i dinamiki tovarnoy struktury modalnykh nasazhdeniy. L. : LenLTA, 1968. 87 s.
7. Obshchesoyuznye normativy dlya taksatsii lesov / V. V. Zagreev [i dr.]. M. : Kolos, 1992. 492 s.
8. Semechkin I. V. Opyt ispolzovaniya dannykh glazomernoy taksatsii dlya izucheniya dinamiki nasazhdeniy // Organizatsiya lesnogo khozyaystva i inventarizatsiya lesov : sb. st. Vyp. 1. Krasnoyarsk : Krasnoyarskoe knizhnoe izd-vo, 1962. S. 119–131.
9. Tyurin A. V., Naumenko I. M., Voropanov P. V. Lesnaya vspomogatelnaya knizhka. 2-e izd., dop. M.-L. : Goslesbumizdat, 1956. 532 s.
10. Khod rosta osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Sibiri : uchebnoe posobie. Ch. II. Krasnoyarsk : RIO SibTI, 1975. 162 s.

© Батвенкина Т. В., Воробьева И. А., Романова Л. И., 2023

ТАКСАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КЛОНОВ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ В АРХИВЕ КЛОНОВ В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Р. А. Воробьев¹, Н. Н. Бессчетнова², В. П. Бессчетнов², А. Ю. Тютин²

¹Министерство лесного хозяйства и охраны объектов животного мира Нижегородской области
Российская Федерация, 603134, Нижний Новгород, ул. Костина, 2

²Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия
Российская Федерация, 603107, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 97
E-mail: lesfak@bk.ru

Исследовали таксационные показатели клонов плюсовых деревьев ели европейской (*Picea abies* (L.) Karsten) в архиве клонов № 3 на территории Семеновского районного лесничества Нижегородской области. Он создан в 1984 году привитыми саженцами в возрасте 2 лет. Источником привоя были плюсовые деревья, произрастающие в естественных насаждениях того же региона в типах лесорастительных условий В₂ и В₃. Их возраст на момент отбора достигал от 60 лет до 140 лет, а таксационные показатели составили: высота – от 24 м до 70 м; диаметр – от 24 см до 35 см. Размещение посадочных мест было 3×3 м, схема смешения клонов – рядовая при исходной повторяемости каждого ортега 3...12 ракетами. Первоначальная площадь составила 0,4 га, тип лесорастительных условий на ней соответствовал категории В₂. Рельеф участка равнинный с серыми лесными почвами. Он имеет географические координаты N56°44'18,97" E44°20'49,29", отнесен к району хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации и входит в зону хвойно-широколиственных лесов. Лесорастительные условия региона вполне благоприятны для произрастания и семеношения ели европейской. Сбор первичной лесоводственной информации осуществлен полевым стационарным методом при сплошном перечеке деревьев на всей площади архива клонов с соблюдением принципа единственного логического различия, типичности, пригодности, надежности и целесообразности опыта. Отмечена неоднородность вегетативного потомства плюсовых деревьев ели европейской по таксационным показателям, которая проявилась как на уровне различий между группами одноименных клонов, так и в пределах каждой из них.

Плюсовые деревья ели европейской, представленные своими вегетативными потомствами в составе обследованного архива клонов, в значительной мере различались между собой по основным таксационным показателям. По высоте ствола наибольшее среднее (19,83±1,14 м), у рамет ортега К-102, превосходило наименьший аналогичный показатель (10,50±1,85 м) у клонов с индексом К-100, в 1,88 раза или на 9,33 м. Обобщенное для всего массива данных среднее достигло 14,71±0,34 м при соотношении между абсолютными пределами (max = 3 м; min = 3,50 м) как 6,57 и абсолютном диапазоне, равном 19,50 м. Изменчивость признака, при этом, соответствовала повышенному уровню по шкале Мамаева (Cv = 28,41 %).

Ключевые слова: ель европейская, плюсовые деревья, клоны, архив клонов, таксационные показатели, изменчивость, наследственная обусловленность.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 1, P. 12–23

TAXATION INDICATORS OF THE NORWAY SPRUCE PLUS TREES IN THE CLONE ARCHIVE IN THE NIZHNY NOVGOROD REGION

R. A. Vorobyov¹, N. N. Besschetnova², V. P. Besschetnov², A. Yu. Tyutin²

¹Ministry of Forestry and Protection of Wildlife of Nizhny Novgorod region
2, Kostina str., Nizhny Novgorod, 603134, Russian Federation

²The Nizhny Novgorod State Agricultural Academy
97, Gagarin Av., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation
E-mail: lesfak@bk.ru

The taxation indicators of clones of the Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) plus trees were studied in the clone archive No. 3 on the territory of the Semenovskiy district forestry of the Nizhny Novgorod region. It was created in 1984 by grafted seedlings at the age of 2 years. The source of the graft was plus trees growing in natural plantings of the same region in the types of forest growing conditions B₂ and B₃. Their age at the time of selection ranged from 60 years to 140 years, and the taxation indicators were: height – from 24 m to 70 m; diameter – from 24 cm to 35 cm. The seating arrangement was 3×3 m, the clone mixing scheme was ordinary with the initial repeatability of each orthet

by 3...12 ramets. The initial area was 0.4 hectares, the type of forest conditions on it corresponded to category B₂. The terrain of the site is flat with gray forest soils. It has geographical coordinates N56°44'18.97" E44°20'49.29", is assigned to the area of coniferous-deciduous (mixed) forests of the European part of the Russian Federation and is included in the zone of coniferous-deciduous forests. The forest growing conditions of the region are quite favorable for the growth and seed-bearing of Norway spruce. The collection of primary forestry information was carried out by a stationary field method with a continuous enumeration of trees over the entire area of the clone archive in compliance with the principle of the only logical difference, typicality, suitability, reliability and expediency of the experiment. The heterogeneity of the vegetative offspring of the plus trees of the Norway spruce was noted in terms of taxation indicators, which manifested itself both at the level of differences between groups of the same name clones, and within each of them. The plus trees of the Norway spruce, represented by their vegetative offspring as part of the examined clone archive, differed significantly among themselves in terms of the main taxation indicators. In terms of trunk height, the highest average (19.83 ± 1.14 m), in the frame of the K-102 orthet, exceeded the lowest similar indicator (10.50 ± 1.85 m) in clones with the K-100 index, by 1.88 times or by 9.33 m. The average generalized for the entire data set reached 14.71 ± 0.34 m with the ratio between absolute limits (max = 23 m; min = 3.50 m) both 6.57 and an absolute range equal to 19.50 m. The variability of the trait, at the same time, corresponded to an increased level on the Mamaev scale ($C_v = 28.41\%$).

Keywords: Norway spruce, plus trees, clones, clone archive, taxation indicators, variability, hereditary conditionality.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из векторов, заданных Стратегией развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2030 г., выступает непрерывное повышение ресурсного, экологического и рекреационного потенциала отечественных лесов, в том числе, посредством их селекционного улучшения. В первую очередь это относится к важнейшим лесообразующим породам, среди которых ель европейская (*Picea abies* (L.) Karsten) занимает одно из центральных мест не только в Российской Федерации [15; 16; 17; 18; 21], но и в странах центральной Европы [56], Болгарии [25], Румынии [26; 55], Швеции [30; 34; 48], Финляндии [35; 62], Литве [57] и многих других европейских государствах [32], откуда достаточно активно интродуцируется для использования в плантационном лесоводстве в Канаде [31] и Японии [42]. Обладая уникальным комплексом полезных признаков и свойств, она служит объектом разноплановых исследований отечественных [5; 7; 9; 10; 18; 21] и зарубежных [41; 44; 52; 63] ученых на протяжении длительного периода времени. Важнейшими направлениями исследований выступают семеноводство [61], лесные культуры [17; 47] и плантации [38; 51], фотосинтез, пигментный состав и другие характеристики хвои [4; 5; 15; 21; 42; 43; 46; 54; 60], биотехнологии [45] и физиология [6; 14; 27; 28; 40]. Немало работ посвящено выявлению селекционного потенциала данного вида, оценке масштабов изменчивости и перспектив создания лесосеменных плантаций, формированию резервов генетического материала [12; 29; 36; 37; 59]. Являясь представителем аборигенной флоры Приволжского федерального округа, ель занимает обширные площади на территории Нижегородской области [1; 2; 4; 8; 10; 18; 19; 22]. Здесь её вводят в состав лесных культур, защитных насаждений различного целевого назначения и конструкций и озеленительных посадок, способных эффективно выполнять санитарно-гигиенические, декоративно-эстетические и рекреационно-бальнеологические функции. Однако детальных и всесторонних исследований имеющихся коллекций плюсовых деревьев пока еще мало.

Цель исследования – оценить наследственную обусловленность изменчивости таксационных показателей плюсовых деревьев ели европейской, представленных вегетативными потомствами в составе архива клонов на территории Семеновского районного лесничества Нижегородской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили клоны 21 плюсового дерева ели европейской, сосредоточенные в архиве клонов № 3. Он был создан в 1984 году привитыми саженцами, возраст которых на момент посадки составил 2 года. Источником привоя для их производства выступали плюсовые деревья, произрастающие в том же регионе в естественных насаждениях, сформировавшихся в типах лесорастительных условий В₂ и В₃, а собственно прививку «в расщеп» выполняли специалисты государственного автономного учреждения Нижегородской области «Семеновский спецсемлесхоз». Таксационные показатели плюсовых деревьев на момент отбора варьировали: по высоте – от 24 м до 35 м; по диаметру – от 24 см до 70 см, возраст при отборе из естественных насаждений составлял от 60 лет до 140 лет. Указанный объект единого генетико-селекционного комплекса расположен в лесном выделе № 9 лесного квартала № 139 в границах Семеновского участкового лесничества Семеновского районного лесничества Министерства лесного хозяйства и охраны объектов животного мира Нижегородской области. Участок имеет географические координаты N56.74161° E44.35436°. Его территория, согласно действующему лесорастительному районированию, входит в район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации (зона хвойно-широколиственных лесов), а по лесосеменному районированию включена в третий лесосеменной район ели. Для данной породы здесь сложились вполне благоприятные для произрастания и семеношения климатические и почвенные условия [1; 2; 19; 22], о чем свидетельствуют работы по созданию лесных культур [19; 20; 21] и многочисленных объектов постоянной лесосеменной базы и единого генети-

ко-селекционного комплекса [4; 5; 8; 10; 15; 16]. Проектное размещение посадочных мест на участке было 3×3 м, густота первоначальной посадки – 1111 шт./га, схема смещения клонов – рядовая при исходной повторяемости каждого ортета 3...12 ракетами. Возможный объем заготовки черенков каждого клона в год (в среднем) – 100 шт. Первоначальная площадь составила 0,4 га, тип лесорастительных условий на ней соответствовал категории В₂. На текущий момент в травянистом покрове поверхности архива клонов распространена преимущественно злаковая растительность с примесью земляники, зверобоя, душицы и некоторых других травянистых видов. Первичная лесоводственная информация собрана полевым стационарным методом при соблюдении принципа единственного логического различия, а также требований к типичности, пригодности, надежности и целесообразности опыта. В ходе натурной таксации выполнен сплошной пересчет 150 деревьев. Высоту измеряли высотомером Suunto PM-5/360 PC с точностью шкалы 0,1 м, диаметр на высоте 1,3 м – мерной вилкой с точностью 1 см, диаметр проекции кроны в двух направлениях и расстояние до первого сучка – мерной рейкой с точностью 1 см. В организации работы учитывали накопленный опыт таксации подобных объектов [13; 23; 24]. Наряду с морфометрическими показателями, фиксируемыми при непосредственном учете, в работе использовали производные признаки, применение которых в лесоводственных и биологических исследованиях широкого спектра видов традиционно и весьма продуктивно [3; 53]. Они с успехом исполь-

зуются в различных селекционных программах [4; 5; 8], в том числе, при изучении различных видов ели [10; 15; 16; 18]. Статистическая обработка данных выполнена по действующим рекомендациям [11; 33; 39; 49; 50; 58; 64].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Плюсовые деревья ели европейской, представленные своими вегетативными потомствами в составе обследованного архива клонов № 3, в значительной мере различались между собой по основным таксационным показателям (рис. 1–5).

Сопоставление оценок одного из основных критериев, по которым из естественных насаждений традиционно проводится отбор плюсовых деревьев – высоты ствола – показало, что наибольшее среднее ($19,83 \pm 1,14$ м), отмеченное у рамет ортета К-102, превосходило наименьший аналогичный показатель ($10,50 \pm 1,85$ м), зафиксированный у клонов с индексом К-100, в 1,88 раза или на 9,33 м. Обобщенное для всего массива данных среднее (см. рис. 1) достигло величины $14,71 \pm 0,34$ м при соотношении между абсолютными пределами ($\max = 23$ м; $\min = 3,50$ м) как 6,57 и абсолютном диапазоне, равном 19,50 м. Изменчивость признака, при этом, соответствовала повышенному уровню по шкале Мамаева ($C_v = 28,41\%$).

Еще одним базовым показателем, на который также ориентирован массовый отбор плюсовых деревьев по фенотипу, служит диаметр их ствола на высоте 1,3 м (см. рис. 2).

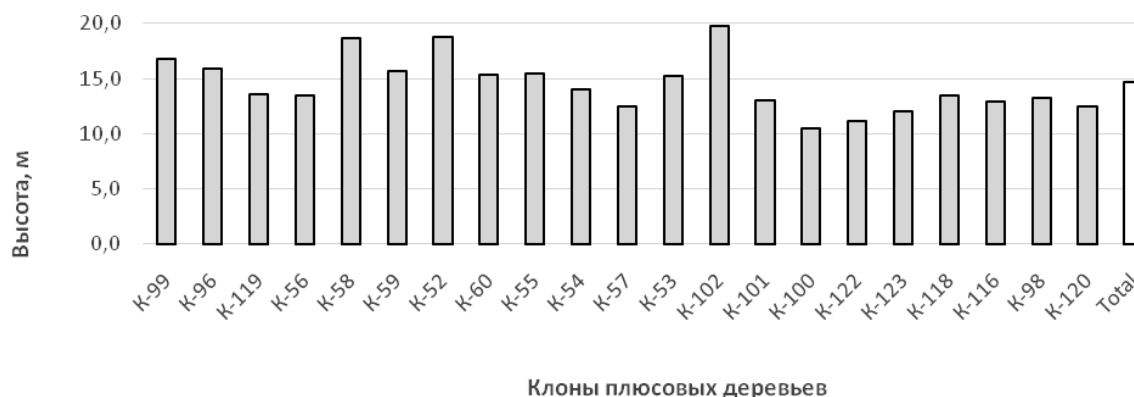


Рис. 1. Высота ствола клонов плюсовых деревьев ели европейской

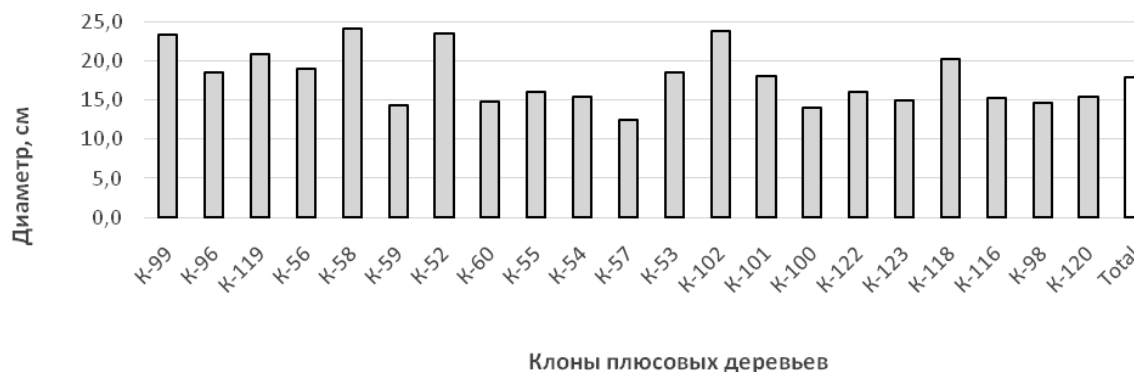


Рис. 2. Диаметр ствола клонов плюсовых деревьев ели европейской на высоте 1,3 м

Этот параметр оказался менее стабильным (см. рис. 2). Наибольшее среднее значение ($24,20 \pm 1,60$ см), отмеченное у рамет К-58, превысило соответствующую наименьшую величину ($12,50 \pm 2,22$ см), наблюдавшуюся у клонов плюсового дерева К-57, в 1,93 раза или на 11,7 см. При этом, обобщенное для всего опытного участка среднее (вариант Total) составило $17,92 \pm 0,57$ см; соотношение между абсолютными лимитами ($\max=38,00$ см; $\min=5,00$ см) оценивалось как 7,60 при абсолютном диапазоне, равном 33,00 см. Изменчивость в обобщенном массиве данных достигла высокого уровня по шкале Мамаева ($C_v = 39,35\%$).

Во многом значимый для описания общего биологического состояния древесных растений индикатор – диаметр ствола у шейки корня – демонстрировал примерно такой же уровень неоднородности (см. рис. 3).

На фоне принципиального сходства с картиной соотношения средних значений плюсовых деревьев по предыдущему признаку наибольшая оценка этого параметра ($31,83,78 \pm 3,35$ см), отмеченная у рамет орета К-99, превысила соответствующий меньший показатель ($15,00 \pm 2,38$ см), наблюдавшийся у клонов плюсового дерева К-57, в 2,12 раза или на 16,83 см. Единое для всего массива данных среднее (вариант Total) составило $22,10 \pm 0,67$ см при соотношении между абсолютными лимитами ($\max = 44,0$ мм; $\min = 6,0$ см) как 7,33 и абсолютном диапазоне, равном 38,0 см. Общий фон изменчивости данного показателя был несколько выше и так же, как и предыдущем случае, соответствовал высокому уровню по шкале Мамаева ($C_v = 37,62\%$).

Наглядное представление о росте деревьев в высоту и о сохранении его ритма в процессе онтогенеза дает информация о величине осевых расстояний меж-

ду мутовками, возникшими на стволе (см. рис. 4). Наибольшее среднее значение ($69,67 \pm 24,73$ см) по данному признаку, наблюдалось у клонов К-99. Наименьшая величина показателя ($24,40 \pm 10,60$ см) была зафиксирована у клонов К-56 в том же их архиве. Такие оценки создали разницу между ними на 45,27 см или в 2,85 раза. На этом фоне обобщенное для всех опытных участков среднее (вариант Total) приобрело значение $37,57 \pm 1,39$ см, а соотношении между абсолютными лимитами ($\max = 191$ см; $\min = 10,50$ см) составило 18,19 при абсолютном диапазоне, равном 180,50 см.

Изменчивости рассматриваемой характеристики здесь была еще выше и соответствовала очень высокому уровню по шкале Мамаева ($C_v = 46,01\%$).

Базовый таксационный показатель, определяющий объем стволовой части дерева – площадь поперечного сечения на высоте 1.3 м – был еще более вариabельным (см. рис. 5).

Как удалось установить, наибольшее среднее значение указанного признака ($477,99 \pm 65,24$ см²) наблюдалось у рамет плюсового дерева К-58, а наименьшая площадь ($134,30 \pm 45,64$ см²) – у клонов с индексом К-57. Полученные в ходе статистической обработки материала оценки образовали разницу между ними на 343,69 см², что создало превышение в 3,56 раза. Обобщенное по всем учетным деревьям среднее (вариант Total) составило $290,87 \pm 17,40$ см². На этом фоне соотношении между абсолютными лимитами ($\max = 1134,11$ см²; $\min = 19,63$ см²) представлялось как 56,7 при их диапазоне в 1114,48 см². В оценках по коэффициенту вариации ($C_v = 74,22\%$) изменчивость этого таксационного показателя была еще выше и соответствовала очень высокому уровню по шкале Мамаева.

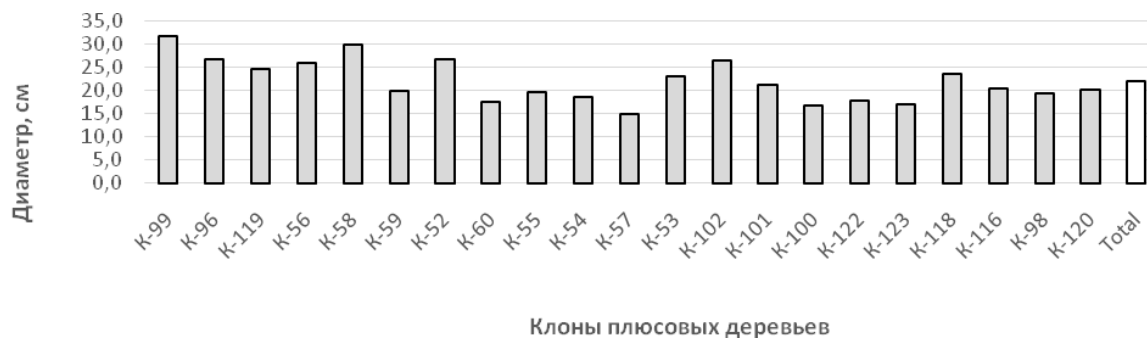


Рис. 3. Диаметр ствола клонов плюсовых деревьев ели европейской у шейки корня

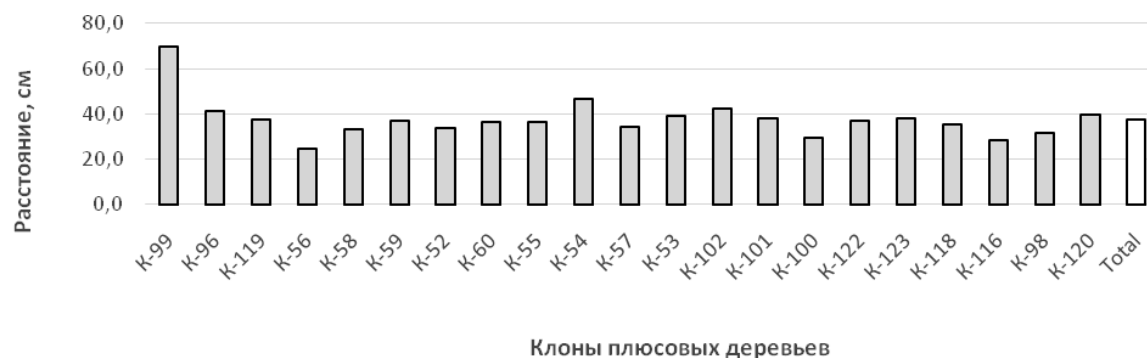


Рис. 4. Среднее расстояние между мутовками на стволе клонов плюсовых деревьев

Важной технологической характеристикой древесных растений, имеющей большое хозяйственное значение, выступает протяженность бессучковой зоны ствола, которая зависит от способности к его очищаемости от сучьев и определяется по расстоянию от поверхности почвы до первого сучка (см. рис. 6), в нашем случае – до первого живого. Изменчивость данного таксационного показателя также может быть признана одной из самых высоких ($C_v = 72,07\%$), и в оценках по коэффициенту вариации она соответствует очень высокому уровню шкалы Мамаева. При этом в отношении него значительно большее среднее ($5,40 \pm 0,70$ м) было зафиксировано у клонов плюсового дерева К-96, а наименьшая площадь ($0,75 \pm 0,22$ м) – у рамет ортета К-99.

Разница в оценках составила 4,65 м или в 7,2 раза. Обобщенное для всех среднее составило $2,45 \pm 0,14$ м. На этом фоне абсолютный диапазон лимитов ($\max = 10,00$ м; $\min = 0,08$ м) составил 9,92 м при их отношении, составившем 125,0 ровно.

Наиболее информативным показателем полнодревесности ствола в таксации признан его сбеги, который на обследованном участке был сравнительно выровненным по вариантам опыта при некоторых неизбежных различиях (см. рис. 7).

Как удалось установить, в отношении означенного признака наибольший сбеги ($0,159 \pm 0,02$ см/м) был характерен для вегетативного потомства плюсового дерева К-119, а наименьший ($0,089 \pm 0,01$ см/м) – был присущ клонам плюсового дерева К-59. Разница в оценках составила 0,07 см/м или в 1,78 раза. Обобщенное для всех вариантов опыта среднее было $0,12 \pm 0,001$ см/м при абсолютном диапазоне лимитов ($\max = 0,24$ см/м; $\min = 0,06$ см/м), составившим 4,04 см/м, и их отношении, равном 14. По коэффициенту вариации в пределах всего массива данных ($C_v = 23,91\%$) изменчивость соответствовала среднему уровню принятой нами шкалы.

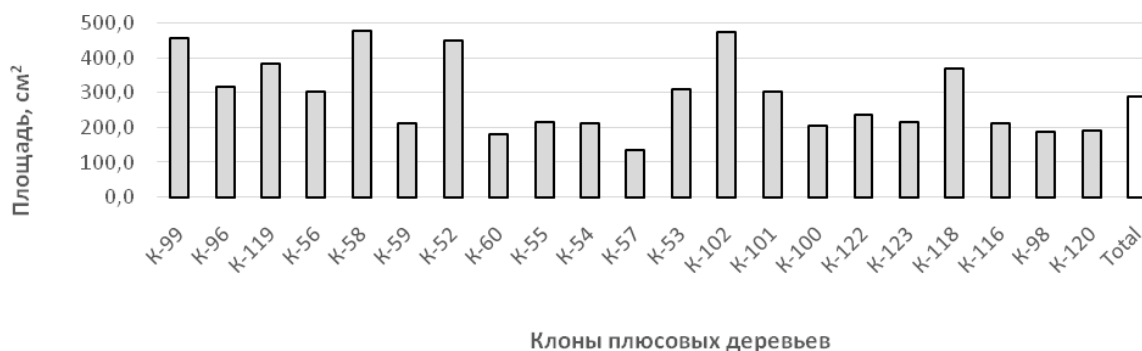


Рис. 5. Площадь поперечного сечения ствола на высоте 1,3 м

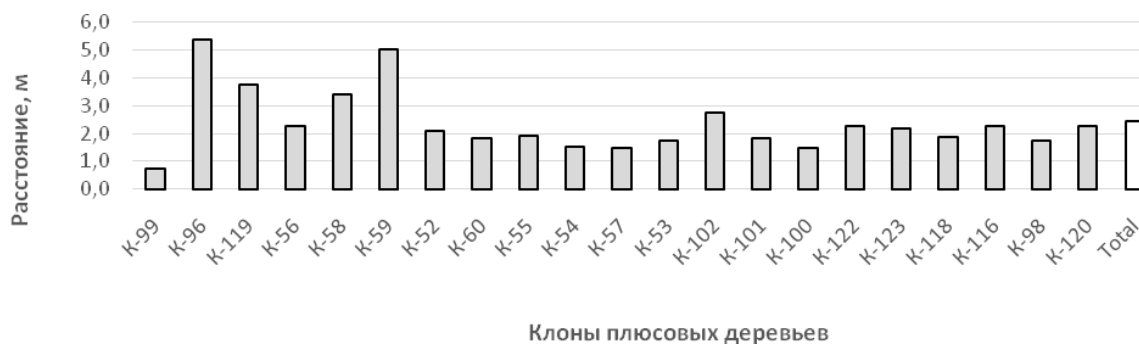


Рис. 6. Расстояние от поверхности почвы до первого сучка

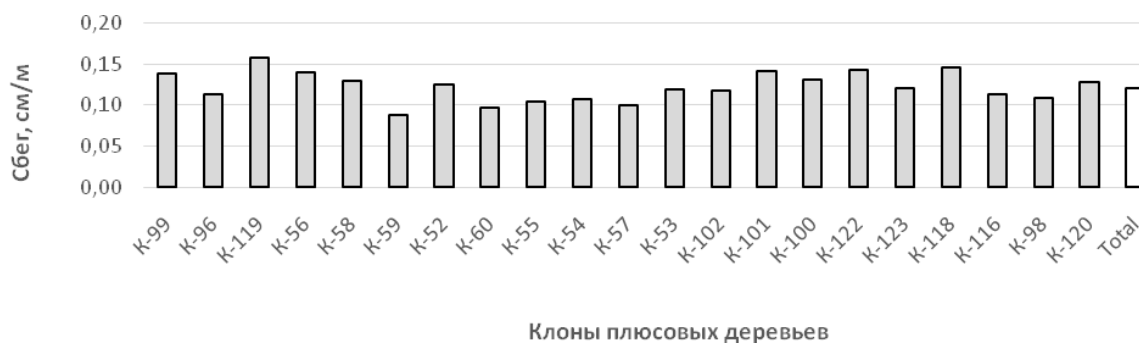


Рис. 7. Сбег ствола плюсовых деревьев ели в архиве клонов

Поскольку все наблюдавшиеся в опыте фенотипические различия проявились на выровненном экологическом фоне в границах единого участка при одинаковых схемах агротехнических и лесоводственных уходов, сложились основания для признания в качестве причин их возникновения генотипические особенности плюсовых деревьев, введенных в состав исследованного архива клонов. Однофакторный дисперсионный анализ подтвердил факт наличия существенных различий между ними (табл. 1).

В подавляющем большинстве случаев (13 из 15), за исключением расстояния до первого сучка (признак 4) и коэффициента асимметрии кроны (признак 15), различия между плюсовыми деревьями имели ранг существенных на 5-процентном уровне значимости: расчетные критерии Фишера превысили пороговые значения для заданного в опыте числа степеней свободы. Для признаков с подтвержденной существенностью различий они принимали значения от 1,70 (признак 6) до 6,74 (признак 14) при критическом пороге 1,64 (см. табл. 1). Такой исход данного этапа дисперсионного анализа позволил продолжить его выполнение в части получения оценок доли влияния эндогенных различий между плюсовыми деревьями на формирование общего фона фенотипической дисперсии.

В расчетах по алгоритму Плохинского в большей мере ($50,35 \pm 7,47$ %) этот эффект оказался выраженным по среднему диаметру кроны (признак 14), в то время как его наименьшая величина ($20,38 \pm 11,97$ %) зафиксирована по среднему расстоянию между му-

товками (признак 6). Достаточно высокие оценки получены еще для трех признаков – расстоянию до первого живого сучка (признак 5); диаметру кроны в направлении С-Ю (признак 12); диаметру кроны в направлении В-З (признак 13): $44,46 \pm 8,35$ %; $42,66 \pm 8,62$ %; $43,86 \pm 8,44$ % соответственно. Оценки оставшихся признаков при условии их достоверности располагались в указанном интервале. Использование в вычислениях аналогичных показателей алгоритма Снедекора дало вполне сопоставимый, хотя и несколько заметно меньший, результат. В вариантах анализа с подтвержденной существенностью различий между сравниваемыми плюсовыми деревьями полученные оценки доли влияния меж-клоновых различий статистически надежны, что подтверждается расчетными величинами показателей достоверности оценок силы влияния фактора (F_h^2), превысившими соответствующие табличные значения не только на 5-процентном, но и на 1-процентном уровне значимости.

Оценки существенности различий (см. таблицу) между сравниваемыми вегетативными потомствами плюсовых деревьев по анализируемым признакам позволили установить предел, преодолев который фактическая разность средних величин, приобретает статус существенных. Например, по высоте ствола (признак 1) плюсовое дерево К-102 в оценках по НСР на 5-процентном уровне значимости демонстрировало наличие существенных отклонений в большую сторону от 17 других других, входящих в состав рассматриваемого архива клонов № 3.

Существенность различий клонов плюсовых деревьев по таксационным показателям^{1,2}

Учетные зоны, признаки	F _{оп}	Доля влияния фактора (h ² ±s _h ²)						Критерии различий	
		по Плохинскому			по Снедекору				
		h ²	±s _h ²	F _h ²	h ²	±s _h ²	F _h ²	HCP ₀₅	D ₀₅
Признак 1	3,80	0,3638	0,0957	3,803	0,2774	0,1087	2,553	3,668	3,705
Признак 2	2,42	0,2672	0,1102	2,424	0,1632	0,1258	1,297	6,639	6,707
Признак 3	2,71	0,2892	0,1069	2,706	0,1894	0,1219	1,553	7,714	7,792
Признак 4	1,61	0,1945	0,1211	1,605	0,0766	0,1389	0,551	16,619	16,787
Признак 5	5,32	0,4446	0,0835	5,323	0,3719	0,0945	3,937	1,448	1,463
Признак 6	1,70	0,2038	0,1197	1,702	0,0877	0,1372	0,639	16,969	17,142
Признак 7	2,27	0,2544	0,1121	2,268	0,1480	0,1281	1,155	205,097	207,179
Признак 8	3,74	0,3597	0,0963	3,736	0,2725	0,1094	2,491	0,025	0,026
Признак 9	4,21	0,3879	0,0920	4,214	0,3056	0,1044	2,927	1,887	1,906
Признак 10	2,78	0,2947	0,1061	2,778	0,1958	0,1209	1,619	0,048	0,048
Признак 11	2,65	0,2849	0,1075	2,650	0,1843	0,1227	1,502	0,411	0,415
Признак 12	4,95	0,4266	0,0862	4,948	0,3509	0,0976	3,595	1,012	1,023
Признак 13	5,20	0,4386	0,0844	5,196	0,3649	0,0955	3,821	0,967	0,976
Признак 14	6,74	0,5035	0,0747	6,743	0,4402	0,0842	5,230	0,841	0,850
Признак 15	0,60	0,0827	0,1379	0,599	−0,0580	0,1591	−0,365	0,240	0,242

¹ Показатели: $F_{оп}$ – опытный критерий Фишера; F_{05}/F_{01} – табличные значения критерия Фишера соответственно на 5-процентном и 1-процентном уровнях значимости – $F_{05/01} = 1,64$ и $2,00$; h^2 – показатель силы влияния фактора; $\pm s_h^2$ – ошибка показателя силы влияния фактора; F_h^2 – показатель достоверности силы влияния фактора; НСР₀₅ – наименьшая существенная разность на 5-процентном уровне значимости; D₀₅ – критерий Тьюки на 5-процентном уровне значимости.

² Признаки: 1) высота; 2) диаметр ствола на высоте 1,3 м; 3) диаметр ствола у шейки корня; 4) расстояние до первого сучка; 5) расстояние до первого живого сучка; 6) среднее расстояние между мутовками; 7) площадь поперечного сечения ствола на высоте 1,3 м; 8) сбеж ствола; 9) отношение высоты ствола к его диаметру на высоте 1,3 м; 10) индекс напряженности роста дерева; 11) объем видового цилиндра; 12) диаметр кроны в направлении С-Ю; 13) диаметр кроны в направлении В-З; 14) средний диаметр кроны; 15) коэффициент асимметрии кроны.

Раметы плюсовых деревьев К-58 и К-52 имели по 12 таких различий с другими элементами того же ассортимента, раметы плюсовых деревьев К-100 и К-122 – по 9, раметы плюсового дерева К-99 – 7. Ряд других плюсовых деревьев (К-119, К-56, К-59, К-60, К-55, К-54, К-53, К-118, К-98), напротив, обладал существенной разностью только с 3 другими в рассматриваемом ассортименте. В оценке по более строгому критерию в Тьюки-тесте (D_{05}) указанные тенденции сохранились. По другим таксационным показателям исследуемых растений наблюдалась аналогичная картина, притом что по каждому из них прослеживалась своя специфика в этом плане. Для большинства анализируемых признаков характерно преобладающее (до 96,87 %) влияние внешних факторов на формирование общего фона фенотипической дисперсии таксационных показателей вегетативного потомства плюсовых деревьев, введенных в состав архива клонов № 3. Можно констатировать, что ассортиментный состав созданного в соответствии с действующими регламентами и нормативами архива клонов № 3 представлен вегетативным потомством плюсовых деревьев ели европейской, которое существенно различается на меж-клоновом уровне по большинству таксационных показателей. Произрастая совместно в границах одного участка на выровненном по базовым параметрам экологическом фоне, представители разноименных клонов проявили фенотипическую неоднородность, причина возникновения которой во многом связана со спецификой их генотипов. Это соответствует представлениям о масштабах наследственной обусловленности фенотипической дисперсии таксационных показателей многих видов хвойных и получило подтверждение в результатах дисперсионного анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Плюсовые деревья ели европейской в составе архива клонов на территории Семеновского районного лесничества Нижегородской области, представленные вегетативными потомствами, вступившими в репродуктивную фазу онтогенеза, заметно различались между собой по основным таксационным показателям: высоте ствола, диаметру на высоте 1,3 м и у шейки корня, сбегу, а также по отношению высоты ствола к площади его поперечного сечения, которое выступает показателем напряженности роста деревьев. Зафиксированные фенотипические различия между обследованными клонами плюсовых деревьев проявились на выровненном экологическом фоне, в границах одного участка при одинаковых лесорастительных условиях и общих схемах проводимых агротехнических и лесоводственных уходов, что может служить основанием для признания наследственного характера установленной изменчивости. Дисперсионный анализ подтвердил наследственную обусловленность фенотипических проявлений таксационных показателей вегетативного потомства плюсовых деревьев ели европейской.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Аверкиев Д.С. История развития растительного покрова Горьковской области и ее ботанико-географическое деление // Ученые записки Горьковского университета. Горький, 1954. Вып. XXXV. С. 119–136.
2. Алехин В.В. Объяснительная записка к геоботаническим картам (современной и восстановленной) бывшей Нижегородской губернии (в масштабе 1:500.000). Ленинград – Горький: Горьковский государственный университет – 1 картографическая фабрика ВКТ (тип. 1 картогр. фабрики ВКТ), 1935. 67 с.
3. Бабаев Р.Н., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Лигнификация ксилемы разных видов березы при интродукции в условиях Нижегородской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 235. С. 40–56. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.40-56.
4. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Щербаков А.Ю. Популяционная структура географических культур ели европейской в оценках пигментного состава хвои // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 237. С. 113–134. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.113-134.
5. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Ершов П.В. Генотипическая обусловленность пигментного состава хвои плюсовых деревьев ели европейской // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 1. С. 63–76. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.63.
6. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кулькова А.В., Мишукова И.В. Содержание крахмала в тканях побегов разных видов ели (*Picea A. Dietr.*) в условиях интродукции // Лесной журнал. Известия высших учебных заведений. 2017. № 4. С. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57.
7. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Носов С.С. Влияние технологических элементов на рост и развитие сеянцев ели европейской при контейнерном выращивании // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии. Материалы международной научно-практической конференции: г. Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под общей редакцией Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Нижегородская ГСХА, 2019. С. 107–114.
8. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Орнатский А.Н., Щербаков А.Ю. Корреляция показателей пигментного состава хвои ели европейской в географических культурах // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XXXX, № 1. С. 9–17.
9. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Храмова О.Ю., Дорожкина Л.А. Стимулирующий эффект препарата ЭкоФус в предпосевной обработке семян ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.) // Агрохимический вестник. 2017. № 2. С. 41–44.
10. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Щербаков А.Ю. Пигментный состав хвои ели европейской (*Picea abies*) в географических культурах // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. XXXIX, № 3. С. 161–166.
11. Бондаренко А.С., Жигунов А.В. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследо-

ваний : учебное пособие // Санкт Петербург: Издательство Политехнического университета. 2016. 125 с.

12. Бондаренко А.С., Жигунов А.В., Левкоев Э.А. Влияние селекционных мероприятий на фенотипическое и генетическое разнообразие семенного потомства плюсовых деревьев ели европейской и сосны обыкновенной // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. Вып. 216. С. 6–17. DOI: 10.21266/2079-4304.2016.216.6-17.

13. Горелов А.Н., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Сравнительная оценка таксационных показателей плюсовых деревьев сосны обыкновенной на лесосеменной плантации // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XXXX, № 1. С. 27–37.

14. Гричар Дж., Чуфар К. Влияние засухи на сезонную динамику образования флоэмы и ксилемы у пихты белой и ели обыкновенной // Физиология растений, 2008. Т. 55. № 4. С. 597–603.

15. Ершов П.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Пигментный состав хвои плюсовых деревьев ели европейской // Хвойные бореальной зоны. 2017. Т. XXXVI, № 3-4. С. 29–37.

16. Ершов П.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Многомерная оценка плюсовых деревьев ели европейской (*Piceaabies*) по пигментному составу хвои // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 233. С. 78–99.

17. Жигунов А.В., Шевчук С.В. Лесные культуры сосны и ели из посадочного материала, выращенного комбинированным методом // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2006. № 6. С. 14–20.

18. Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Многопараметрический анализ в оценке видоспецифичности представителей рода ель (*Picea*) // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 6. С. 23–38.

19. Куприянов Н.В., Веретенников С.С., Шишов В.В. Леса и лесное хозяйство Нижегородской области. Нижний Новгород: Волго-Вятское книжное издательство, 1995. 349 с.

20. Лабутин А.Н., Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Эффективность лесных культур сосны и ели, созданных в Нижегородской области в рамках реализации проекта «Леса Киото» // Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Материалы XVIII Международной научно-технической конференции: Вологда, 1 декабря 2020 г. / отв. ред. С.М. Хамитова. Вологда: ВоГУ, 2020. С. 72–74.

21. Лугинина Л.И., Бессчетнов В.П. Пигментация хвои сеянцев ели обыкновенной (*Piceaabies* L.) с закрытой корневой системой // Актуальные проблемы лесного комплекса. Материалы XVIII-й международной науч.-техн. Интернет-конференции «Лес-2017»: г. Брянск, 1–30 мая 2017 г. / Под общей редакцией Е.А. Памфилова. Сборник научных трудов. Вып. 47. Брянск: БГИТУ, 2017. С. 131–137.

22. Полуяхтов К.К. Лесорастительное районирование Горьковской области // Биологические основы повышения продуктивности и охраны лесных, луговых и водных фитоценозов Горьковского Поволжья. Горький: ГГУ, 1974. С. 4–20.

23. Сорокин Д.М., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Сравнительная оценка плюсовых деревьев

сосны обыкновенной величине годичных приростов// Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии. Материалы международной научно-практической конференции: г. Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под общ. ред. Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Нижегородская ГСХА, 2019. С. 113–118.

24. Улитин М.М., Бессчетнов В.П. Сравнительная оценка таксационных показателей лесных культур лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) при интродукции в Нижегородской области // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 6. С. 33–41. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-33-41.

25. Alexandrov A. Structure of the populations and growth of the progeny of representative populations of *Picea abies* (L.) Karsten in the Rila Mountain // Forest Science. 2006. Vol. 55, Is. 60. Pp. 190–191.

26. Budeanu M., Șofletea N., Pârnută Gh. Testing Romanian seed sources of Norway spruce (*Piceaabies* L. Karst.): results on growth traits and survival at age 30 // Annals of Forest Research. 2012. Vol. 55, Is. 1. Pp. 43–52. DOI:10.15287/AFR.2012.74.

27. Businge E., Egertsdotter U. A possible biochemical basis for fructose-induced inhibition of embryo development in Norway spruce (*Picea abies*) // Tree Physiology. 2014. Vol. 34 Is. 6. Pp. 657–669. DOI: 10.1093/treephys/tpu053.

28. Cabálková J., Příbyl J., Skládal P., Kulich P., Chmelík J. Size, shape and surface morphology of starch granules from Norway spruce needles revealed by transmission electron microscopy and atomic force microscopy: effects of elevated CO₂ concentration // Tree Physiology. 2008. Vol. 28, Is. 10. Pp. 1593–1599. DOI: 10.1093/treephys/28.10.1593.

29. Chmura D., Guzicka M., McCulloh K.A., Żytkowiak R. Limited variation found among Norway spruce half-sib families in physiological response to drought and resistance to embolism // Tree Physiology. 2016. Vol. 36, Is. 2. Pp. 252–266. DOI: 10.1093/treephys/tpv141.

30. Chrimes D., Lundqvist L., Atlegrim O. *Picea abies* sapling height growth after cutting *Vaccinium myrtillus* in an uneven-aged forest in northern Sweden // Forestry. 2004. Vol. 77, Is. 1. Pp. 61–66. DOI: 10.1093/forestry/77.1.61.

31. Chui Y.H. Grade yields and wood properties of Norway spruce [*Piceaabies* (L.) Karst.] from the Maritimes // The Forestry Chronicle. 1995, Vo. 71, No. 4. Pp. 473–478. DOI: 10.5558/tfc71473-4.

32. Collignon A.M., Favre J.M. Contribution to the Postglacial History at the Western Margin of *Piceaabies*' Natural Area Using RAPD Markers // Annals of Botany. 2000. Vol. 85, Is. 6. Pp. 713–722. DOI:10.1006/anbo.2000.1119.

33. Dean A., Voss D., Draguljić D. Design and Analysis of Experiments (Springer Texts in Statistics) 2nd Edition, Kindle Edition. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag GmbH, 2017. 865 p.

34. Egbäck S., Nilsson U., Nyström K., Högborg K.-A., Fahlvik N. Modeling early height growth in trials of genetically improved Norway spruce and Scots pine in southern Sweden // Silva Fennica. 2017. Vol. 51, No. 3, article id. 5662. Pp. 1–19. DOI: 10.14214/sf.5662.

35. Eerikäinen K., Valkonen S., Saksa T. Ingrowth, survival and height growth of small trees in uneven-aged *Picea abies* stands in southern Finland // *Forest Ecosystems*. 2014. Vol. 1, Is. 5. Pp. 1–10. DOI: 10.1186/2197-5620-1-5.
36. Gerendiaín A.Z., Peltola H., Pulkkinen P., Kellomäki S. Effects of genetic entry and competition by neighbouring trees on growth and wood properties of cloned Norway spruce (*Picea abies*) // *Annals of Forest Science*. 2009. Vol. 66, No. 8, article no. 806, Pp. 806p1–806p9. DOI: 10.1051/forest/2009075.
37. Hallingbäck H.R., Jansson G., Hannrup B. Genetic parameters for grain angle in 28-year-old Norway spruce progeny trials and their parent seed orchard // *Annals of Forest Science*. 2008. Vol. 65, Numb. 3, Article Number 301. Pp. 301p1 – 301p8. DOI: 10.1051/forest:2008005.
38. Hérault B., Thoen D., Honnay O. Assessing the potential of natural woody species regeneration for the conversion of Norway spruce plantations on alluvial soils // *Annals of Forest Science*. 2004. Vol. 61, Numb. 7. Pp. 711–719. DOI: 10.1051/forest:2004057.
39. Hinkelmann K., Kempthorne O. Design and Analysis of Experiments, Volume 1: Introduction to Experimental. 2nd edition. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2008. 631 p.
40. Hudec L., Konrádová H., Hašková A., Lipavská H. Norway spruce embryogenesis: changes in carbohydrate profile, structural development and response to polyethylene glycol // *Tree Physiology*. 2016. Vol. 36 Is. 5. Pp. 548–561. DOI: 10.1093/treephys/tpw016.
41. Humplík P., Čermák P., Žid T. Electrical impedance tomography for decay diagnostics of Norway spruce (*Picea abies*): possibilities and opportunities // *Silva Fennica*. 2016. Vol. 50, No. 1, article id. 1341. Pp. 1–13. DOI: 10.14214/sf.1341.
42. Kayama M., Sasa K., Koike T. Needle life span, photosynthetic rate and nutrient concentration of *Picea glehnii*, *P. jezoensis* and *P. abies* planted on serpentine soil in northern Japan // *Tree Physiology*. 2002. Vol. 22, No. 10. Pp. 707–716. DOI: 10.1093/treephys/22.10.707.
43. Kivimäenpää M., Riikonen J., Sutinen S., Holopainen T. Cell structural changes in the mesophyll of Norway spruce needles by elevated ozone and elevated temperature in open-field exposure during cold acclimation // *Tree Physiology*. 2014. Vol. 34 Is. 4. Pp. 389–403. DOI: 10.1093/treephys/tpu023.
44. Konôpka B., Pajtik J., Šebeň V., Lukac M. Belowground biomass functions and expansion factors in high elevation Norway spruce // *Forestry*. 2011. Vol. 84, Is. 1. Pp. 41–48. DOI: 10.1093/forestry/cpq042.
45. Koutaniemi S., Malmberg H.A., Simola L.K., Teeri T.H., Kärkönen A. Norway spruce (*Picea abies*) laccases: Characterization of a laccase in a lignin-forming tissue culture // *Journal of Integrative Plant Biology*. 2015. Vol. 57, Is. 4. Pp. 341–348. DOI: 10.1111/jipb.12333.
46. Kvičala M., Lacková E., Urbancová L. Photosynthetic Active Pigments Changes in Norway Spruce (*Picea abies*) under the Different Acclimation Irradiation and Elevated CO₂ Content // *Environmental Chemistry*. 2014. Vol. 11, Is. 1, Article ID 572576, 4 pages. Pp. 572–576.
47. Lähde E., Laiho O., Lin C.J. Silvicultural alternatives in an uneven-sized forest dominated by *Picea abies* // *Journal of Forest Research*. 2010. Vol. 15, Is. 1. Pp. 14–20. DOI: 10.1007/s10310-009-0154-4.
48. Lindgren, D. *Picea abies* breeding in Sweden is based on clone testing // *Dendrobiology*. 2009. Vol. 61, supplement. Pp. 79–82.
49. Mason R.L., Gunst R. F., Hess J.L. Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science. 2nd. Edition. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2003. 752 p.
50. Mead R., Curnow R. N., Hasted A.M. Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology. 3rd ed. New York: Chapman and Hall/CRC, 2003. 488 p.
51. Mottet M.-J., Daoust G., Zhang S.Y. Impact of the white pine weevil (*Pissodes strobi* [Peck]) on Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) plantations. Part 2: Lumber properties // *The Forestry Chronicle*. 2006. Vol. 82, No. 6. Pp. 834–843. DOI: 10.5558/tfc82834-6.
52. Niinemets Ü. Acclimation to low irradiance in *Picea abies*: influences of past and present light climate on foliage structure and function // *Tree Physiology*. 1997. Vol. 17, No. 11. Pp. 723–732.
53. Noll F., Lyons C.K. A novel method for manually falling trees // *The Forestry Chronicle*. 2010. Vol. 86, No. 5. Pp. 608–613. DOI: 10.5558/tfc86608-5.
54. Otter T., Polle A. Characterization of Acidic and Basic Apoplastic Peroxidases from Needles of Norway Spruce (*Picea abies*, L., Karsten) with Respect to Lignifying Substrates // *Plant & Cell Physiology*. 1997. Vol. 38, Is. 5. Pp. 595–602. DOI: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a029209.
55. Radu R., Curtu A.L., Spârchez Gh., Șofletea N. Genetic diversity of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] in Romanian Carpathians // *Annals of Forest Research*. 2014. Vol. 57, Is. 1. Pp. 19–29. DOI: 10.15287/afr.2014.178.
56. Skrøppa T., Tollefsrud M.M., Sperisen C., Johnsen Ø. Rapid change in adaptive performance from one generation to the next in *Picea abies* – Central European trees in a Nordic environment // *Tree Genetics & Genomes*. 2010. Vol. 6, No. 1, Pp. 93–99. DOI: 10.1007/s11295-009-0231-z.
57. Skuodiene L. Quantitative changes in amino acid proline and chlorophyll in the needles of *Picea abies* Karst. (L.) during stress and adaptation // *Biologija / Lithuanian academy of sciences, Vilnius university*. 2001. Vol., No. 2. Pp. 54–56.
58. Srinagesh K. The Principles of Experimental Research. Waltham, Massachusetts (United States): Butterworth-Heinemann, 2005. 432 p.
59. Steffenrema A., Saranpää P., Lundqvist S.-O., Skrøppa T. Variation in wood properties among five full-sib families of Norway spruce (*Picea abies*) // *Annals of Forest Science*. 2007. Vol. 64, Numb. 8. Pp. 799–806. DOI: 10.1051/forest:2007062.
60. Stinziano J.R., Hüner N.P.A., Way D.A. Warming delays autumn declines in photosynthetic capacity in a boreal conifer, Norway spruce (*Picea abies*) // *Tree Physiology*. 2015. Vol. 35 Is. 12. Pp. 1303–1313. DOI: 10.1093/treephys/tpv118.

61. Suszka B., Chmielarz P., Walkenhorst R. How long can seeds of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) be stored? // *Annals of Forest Science*. 2005. Vol. 62, Numb. 1. Pp. 73–78. DOI: 10.1051/forest:2004082.

62. Uotila K., Rantala J., Saksa T. Estimating the need for early cleaning in Norway spruce plantations in Finland // *Silva Fennica*. 2012. Vol. 46, No. 5, article id. 919. Pp. 683–693. DOI: 10.14214/sf.919.

63. Viherä-Aarnio A., Sutinen S., Partanen J., Häkkinen R. Internal development of vegetative buds of Norway spruce trees in relation to accumulated chilling and forcing temperatures // *Tree Physiology*. 2014. Vol. 34, Is. 5. Pp. 547–556. DOI: 10.1093/treephys/tpu038.

64. Zar J.H. *Biostatistical Analysis: Fifth Edition*. Edinburg Gate: Pearson New International edition – Pearson Education Limited, 2014. 756 p.

REFERENCES

1. Averkiev D.S. The history of the development of the vegetation cover of the Gorky region and its botanical and geographical division // *Scientific notes of the Gorky University*. Gorky, 1954. Issue XXXV. Pp. 119–136.

2. Alyokhin V.V. Explanatory note to geobotanical maps of the (modern and restored) former Nizhny Novgorod province (on a scale of 1:500.000). Leningrad – Gorky: Gorky State University – 1 cartographic factory of the CGT (type 1 cartographic factory of the CGT), 1935. 67 p.

3. Babaev R.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Lignification of xylem of different birch species during introduction in the conditions of the Nizhny Novgorod region // *Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy*. 2021. Issue 235. Pp. 40–56. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.40-56.

4. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Shcherbakov A.Yu. Population structure of geographical cultures of European spruce in estimates of the pigment composition of needles // *Izvestiya St. Petersburg Forestry Academy*. 2021. Issue 237. Pp. 113–134. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.113-134.

5. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Ershov P.V. Genotypic conditionality of the pigment composition of the needles of the plus trees of the European spruce // *Izvestia of higher educational institutions. Forest magazine*. 2019. No. 1. Pp. 63–76. DOI: 10.17238/issn 0536-1036.2019.1.63.

6. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kulkova, A.V., Mishukova I.V. Starch content in the tissues of shoots of different types of spruce (*Picea A. Dietr.*) in the conditions of introduction // *Lesnoy zhurnal. News of higher educational institutions*. 2017. No. 4. Pp. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57.

7. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Nosov S.S. The influence of technological elements on the growth and development of seedlings of European spruce in container cultivation // *Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus. Materials of the International scientific and practical conference: Nizhny Novgorod, September 26, 2019 / edited by N.N. Besschetnova*. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019. Pp. 107–114.

8. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Ornatsky A.N., Shcherbakov A.Yu. Correlation of indicators of the pigment composition of European spruce needles in geographical cultures // *Coniferous boreal zones*. 2022. Vol. XXXX, No. 1. Pp. 9–17.

9. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Khranova O.Yu., Dorozhkina L.A. Stimulating effect of EcoFus preparation in pre-sowing treatment of European spruce seeds (*Picea abies* (L.) H. Karst.) // *Agrochemical Bulletin*. 2017. No. 2. Pp. 41–44.

10. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Shcherbakov A.Yu. Pigment composition of European spruce needles (*Picea abies*) in geographical cultures // *Coniferous boreal zones*. 2021. Vol. XXXIX, No. 3. Pp. 161–166.

11. Bondarenko A.S., Zhigunov A.V. Statistical processing of forestry research materials: Textbook // *St. Petersburg: Polytechnic University Publishing House*, 2016. 125 p.

12. Bondarenko A.S., Zhigunov A.V., Levkoev E.A. The influence of breeding measures on the phenotypic and genetic diversity of the seed progeny of plus trees of European spruce and Scots pine // *Izvestia of the St. Petersburg Forestry Academy*. 2016. Issue 216. Pp. 6–17. DOI: 10.21266/2079-4304.2016.216.6-17.

13. Gorelov A.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Comparative assessment of taxonomic indicators of plus trees of scots pine on a forest-seed plantation // *Coniferous boreal zones*. 2022. Vol. XXXX, No. 1. Pp. 27–37.

14. Grichar J., Chufar K. The influence of drought on the seasonal dynamics of phloem and xylem formation in white fir and common spruce // *Plant physiology*, 2008. Vol. 55. No. 4. Pp. 597–603.

15. Ershov P.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Pigment composition of needles of plus trees of European spruce // *Coniferous boreal zone*. 2017. Vol. XXXVI, No. 3-4. pp. 29–37.

16. Ershov P.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Multivariate assessment of plus trees of European spruce (*Picea abies*) by the pigment composition of needles // *Izvestiya of the St. Petersburg Forestry Academy*. 2018. Issue 233. Pp. 78–99.

17. Zhigunov A.V., Shevchuk S.V. Forest cultures of pine and spruce from the planting material grown by the combined method // *Izvestiya vyshnykh uchebnykh zavedeniy. Forest magazine*. 2006. No. 6. Pp. 14–20.

18. Kulkova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Multiparametric analysis in assessing the species specificity of representatives of the genus spruce (*Picea*) // *Izvestia of higher educational institutions. Forest magazine*. 2018. No. 6. pp. 23–38.

19. Kupriyanov N.V., Veretennikov S.S., Shishov V.V. *Forests and forestry of the Nizhny Novgorod region*. Nizhny Novgorod: Volga-Vyatka Book Publishing House, 1995. 349 p.

20. Labutin A.N., Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. The effectiveness of pine and spruce forest crops created in the Nizhny Novgorod region within the framework of the Kyoto Forests project // *Actual problems of the development of the forest complex. Materials of the XVIII International Scientific and Technical Conference: Vologda, December 1, 2020*

Responsible editor S.M. Khamitova. Vologda: VSU, 2020. Pp. 72–74.

21. Luginina L.I., Besschetnov V.P. Pigmentation of needles of seedlings of spruce (*Picea abies* L.) with a closed root system // Actual problems of the forest complex. Materials of the XVIII-th International Scientific and Technical Internet Conference “Forest-2017”: Bryansk, May 1-30, 2017 / Under the general editorship of E.A. Pamfilov. Collection of scientific papers. Issue 47. Bryansk: BGITU, 2017. Pp. 131–137.

22. Poluyakhtov K.K. Forest-growing zoning of the Gorky region // Biological bases of increasing productivity and protection of forest, meadow and aquatic phytocenoses of the Gorky Volga region. Gorky: GSU, 1974 Pp 4–20.

23. Sorokin D.M., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Comparative evaluation of plus pine trees by the ordinary value of annual increments// Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus. Materials of the International scientific and practical conference: Nizhny Novgorod, September 26, 2019 / edited by N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019. Pp. 113–118.

24. Ulitin M.M., Besschetnov V.P. Comparative assessment of taxation indicators of Siberian larch (*Larix sibirica*) forest crops during introduction in the Nizhny Novgorod region // News of higher educational institutions. Forest magazine. 2020. No. 6. Pp. 33–41. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-33-41.

25. Alexandrov A. Structure of the populations and growth of the progeny of representative populations of *Picea abies* (L.) Karsten in the Rila Mountain // Forest Science. 2006. Vol. 55, Is. 60. Pp. 190–191.

26. Budeanu M., Șofletea N., Pârnuța Gh. Testing Romanian seed sources of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.): results on growth traits and survival at age 30 // Annals of Forest Research. 2012. Vol. 55, Is. 1. Pp. 43–52. DOI:10.15287/AFR.2012.74.

27. Businge E., Egertsdotter U. A possible biochemical basis for fructose-induced inhibition of embryo development in Norway spruce (*Picea abies*) // Tree Physiology. 2014. Vol. 34 Is. 6. Pp. 657–669. DOI: 10.1093/treephys/tpu053.

28. Cabálková J., Příbyl J., Skládal P., Kulich P., Chmelík J. Size, shape and surface morphology of starch granules from Norway spruce needles revealed by transmission electron microscopy and atomic force microscopy: effects of elevated CO₂ concentration // Tree Physiology. 2008. Vol. 28, Is. 10. Pp. 1593–1599. DOI: 10.1093/treephys/28.10.1593.

29. Chmura D., Guzik M., McCulloh K.A., Żytkowiak R. Limited variation found among Norway spruce half-sib families in physiological response to drought and resistance to embolism // Tree Physiology. 2016. Vol. 36, Is. 2. Pp. 252–266. DOI: 10.1093/treephys/tpv141.

30. Chrimes D., Lundqvist L., Atlegrim O. *Picea abies* sapling height growth after cutting *Vaccinium myrtillus* in an uneven-aged forest in northern Sweden // Forestry. 2004. Vol. 77, Is. 1. Pp. 61–66. DOI: 10.1093/forestry/77.1.61.

31. Chui Y.H. Grade yields and wood properties of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] from the

Maritimes // The Forestry Chronicle. 1995, Vo. 71, No. 4. Pp. 473–478. DOI: 10.5558/tfc71473-4.

32. Collignon A.M., Favre J.M. Contribution to the Postglacial History at the Western Margin of *Picea abies*’ Natural Area Using RAPD Markers // Annals of Botany. 2000. Vol. 85, Is. 6. Pp. 713–722. DOI:10.1006/anbo.2000.1119.

33. Dean A., Voss D., Draguljić D. Design and Analysis of Experiments (Springer Texts in Statistics) 2nd Edition, Kindle Edition. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag GmbH, 2017. 865 p.

34. Egbäck S., Nilsson U., Nyström K., Högborg K.-A., Fahlvik N. Modeling early height growth in trials of genetically improved Norway spruce and Scots pine in southern Sweden // Silva Fennica. 2017. Vol. 51, No. 3, article id. 5662. Pp. 1–19. DOI: 10.14214/sf.5662.

35. Eerikäinen K., Valkonen S., Saksa T. Ingrowth, survival and height growth of small trees in uneven-aged *Picea abies* stands in southern Finland // Forest Ecosystems. 2014. Vol. 1, Is. 5. Pp. 1–10. DOI: 10.1186/2197-5620-1-5.

36. Gerendiaín A.Z., Peltola H., Pulkkinen P., Kellomäki S. Effects of genetic entry and competition by neighbouring trees on growth and wood properties of cloned Norway spruce (*Picea abies*) // Annals of Forest Science. 2009. Vol. 66, No. 8, article no. 806, Pp. 806p1–806p9. DOI: 10.1051/forest/2009075.

37. Hallingbäck H.R., Jansson G., Hannrup B. Genetic parameters for grain angle in 28-year-old Norway spruce progeny trials and their parent seed orchard // Annals of Forest Science. 2008. Vol. 65, Numb. 3, Article Number 301. Pp. 301p1 – 301p8. DOI: 10.1051/forest:2008005.

38. Héault B., Thoen D., Honnay O. Assessing the potential of natural woody species regeneration for the conversion of Norway spruce plantations on alluvial soils // Annals of Forest Science. 2004. Vol. 61, Numb. 7. Pp. 711–719. DOI: 10.1051/forest:2004057.

39. Hinkelmann K., Kempthorne O. Design and Analysis of Experiments, Volume 1: Introduction to Experimental. 2nd edition. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2008. 631 p.

40. Hudec L., Konrádová H., Hašková A., Lipavská H. Norway spruce embryogenesis: changes in carbohydrate profile, structural development and response to polyethylene glycol // Tree Physiology. 2016. Vol. 36 Is. 5. Pp. 548–561. DOI: 10.1093/treephys/tpw016.

41. Humplík P., Čermák P., Žid T. Electrical impedance tomography for decay diagnostics of Norway spruce (*Picea abies*): possibilities and opportunities // Silva Fennica. 2016. Vol. 50, No. 1, article id. 1341. Pp. 1–13. DOI: 10.14214/sf.1341.

42. Kayama M., Sasa K., Koike T. Needle life span, photosynthetic rate and nutrient concentration of *Picea glehnii*, *P. jezoensis* and *P. abies* planted on serpentine soil in northern Japan // Tree Physiology. 2002. Vol. 22, No. 10. Pp. 707–716. DOI:10.1093/treephys/22.10.707.

43. Kivimäenpää M., Riikonen J., Sutinen S., Holopainen T. Cell structural changes in the mesophyll of Norway spruce needles by elevated ozone and elevated temperature in open-field exposure during cold

- acclimation // *Tree Physiology*. 2014. Vol. 34 Is. 4. Pp. 389–403. DOI: 10.1093/treephys/tpu023.
44. Konôpka B., Pajtik J., Šebeň V., Lukac M. Belowground biomass functions and expansion factors in high elevation Norway spruce // *Forestry*. 2011. Vol. 84, Is. 1. Pp. 41–48. DOI: 10.1093/forestry/cpq042.
45. Koutaniemi S., Malmberg H.A., Simola L.K., Teeri T.H., Kärkönen A. Norway spruce (*Picea abies*) laccases: Characterization of a laccase in a lignin-forming tissue culture // *Journal of Integrative Plant Biology*. 2015. Vol. 57, Is. 4. Pp. 341–348. DOI: 10.1111/jipb.12333.
46. Kvičala M., Lacková E., Urbancová L. Photosynthetic Active Pigments Changes in Norway Spruce (*Picea abies*) under the Different Acclimation Irradiation and Elevated CO₂ Content // *Environmental Chemistry*. 2014. Vol. 11, Is. 1, Article ID 572576, 4 pages. Pp. 572–576.
47. Lähde E., Laiho O., Lin C.J. Silvicultural alternatives in an uneven-sized forest dominated by *Picea abies* // *Journal of Forest Research*. 2010. Vol. 15, Is. 1. Pp. 14–20. DOI: 10.1007/s10310-009-0154-4.
48. Lindgren, D. *Picea abies* breeding in Sweden is based on clone testing // *Dendrobiology*. 2009. Vol. 61, supplement. Pp. 79–82.
49. Mason R.L., Gunst R. F., Hess J.L. *Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science*. 2nd. Edition. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2003. 752 p.
50. Mead R., Curnow R. N., Hasted A.M. *Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology*. 3rd ed. New York: Chapman and Hall/CRC, 2003. 488 p.
51. Mottet M-J., Daoust G., Zhang S.Y. Impact of the white pine weevil (*Pissodes strobi* [Peck]) on Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) plantations. Part 2: Lumber properties // *The Forestry Chronicle*. 2006. Vol. 82, No. 6. Pp. 834–843. DOI: 10.5558/tfc82834-6.
52. Niinemets Ü. Acclimation to low irradiance in *Picea abies*: influences of past and present light climate on foliage structure and function // *Tree Physiology*. 1997. Vol. 17. No. 11. Pp. 723–732.
53. Noll F., Lyons C.K. A novel method for manually falling trees // *The Forestry Chronicle*. 2010. Vol. 86, No. 5. Pp. 608–613. DOI: 10.5558/tfc86608-5.
54. Otter T., Polle A. Characterization of Acidic and Basic Apoplastic Peroxidases from Needles of Norway Spruce (*Picea abies*, L., Karsten) with Respect to Lignifying Substrates // *Plant & Cell Physiology*. 1997. Vol. 38, Is. 5. Pp. 595–602. DOI: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a029209.
55. Radu R., Curtu A.L., Spârchez Gh., Șofletea N. Genetic diversity of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] in Romanian Carpathians // *Annals of Forest Research*. 2014. Vol. 57, Is. 1. Pp. 19–29. DOI: 10.15287/afr.2014.178.
56. Skrøppa T., Tollefsrud M.M., Sperisen C., Johnsen Ø. Rapid change in adaptive performance from one generation to the next in *Picea abies* – Central European trees in a Nordic environment // *Tree Genetics & Genomes*. 2010. Vol. 6, No. 1, Pp. 93–99. DOI: 10.1007/s11295-009-0231-z.
57. Skuodiene L. Quantitative changes in aminoacid proline and chlorophyll in the needles of *Picea abies* Karst. (L.) during stress and adaptation // *Biologija / Lithuanian academy of sciences, Vilnius university*. 2001. Vol., No. 2. Pp. 54–56.
58. Srinagesh K. *The Principles of Experimental Research*. Waltham, Massachusetts (United States): Butterworth-Heinemann, 2005. 432 p.
59. Steffenrema A., Saranpää P., Lundqvist S.-O., Skrøppa T. Variation in wood properties among five full-sib families of Norway spruce (*Picea abies*) // *Annals of Forest Science*. 2007. Vol. 64, Numb. 8. Pp. 799–806. DOI: 10.1051/forest:2007062.
60. Stinziano J.R., Hüner N.P.A., Way D.A. Warming delays autumn declines in photosynthetic capacity in a boreal conifer, Norway spruce (*Picea abies*) // *Tree Physiology*. 2015. Vol. 35 Is. 12. Pp. 1303–1313. DOI: 10.1093/treephys/tpv118.
61. Suszka B., Chmielarz P., Walkenhorst R. How long can seeds of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) be stored? // *Annals of Forest Science*. 2005. Vol. 62, Numb. 1. Pp. 73–78. DOI: 10.1051/forest:2004082.
62. Uotila K., Rantala J., Saksa T. Estimating the need for early cleaning in Norway spruce plantations in Finland // *Silva Fennica*. 2012. Vol. 46, No. 5, article id. 919. Pp. 683–693. DOI: 10.14214/sf.919.
63. Viherä-Aarnio A., Sutinen S., Partanen J., Häkkinen R. Internal development of vegetative buds of Norway spruce trees in relation to accumulated chilling and forcing temperatures // *Tree Physiology*. 2014. Vol. 34, Is. 5. Pp. 547–556. DOI: 10.1093/treephys/tpu038.
64. Zar J.H. *Biostatistical Analysis: Fifth Edition*. Edinburg Gate: Pearson New International edition – Pearson Education Limited, 2014. 756 p.

© Воробьев Р. А., Бессчетнова Н. Н.,
Бессчетнов В. П., Тютин А. Ю., 2023

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА И ТЕХНОЛОГИЙ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТУШЕНИЕМ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

С. Н. Долматов¹, П. Г. Колесников¹, Д. Ю. Черников², В. Ф. Гарифулин³

¹Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: pipinaskus@mail.ru, mfsibgtu@mail.ru

²Институт инженерной физики и радиоэлектроники СФУ
Российская Федерация, 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 28
E-mail: dchernikov@sfu-kras.ru

³АО НПО «Радиосвязь»
Российская Федерация, 660009, г. Красноярск, ул. Декабристов, 19
E-mail: vadimgar@mail.ru

Повышение оперативности обнаружения и ликвидации очагов лесных пожаров – важная задача, стоящая перед работниками органов лесного хозяйства, сил оперативного реагирования МЧС. Особенно актуальна такая задача для регионов России, имеющих значительные лесные массивы, где ведется интенсивное лесопользование, заготовка и переработка лесной продукции. Несовершенство средств обнаружения и оперативного управления ликвидацией лесных пожаров приводит к катастрофическим последствиям, ущербу, измеряемому в миллиардах рублей, и человеческим жертвам в случаях перехода лесных пожаров на территории поселений.

В исследовании приведены результаты экспериментального тестирования автономного передвижного комплекса управления тушением лесных пожаров. Комплекс предназначен для обеспечения связи и координации ресурсов, необходимых для обнаружения и ликвидации лесного пожара. Проведен анализ факторов, оказывающих существенное влияние на обеспечение устойчивой связи и управления обнаружением и ликвидацией лесных пожаров. Обобщена информация по технической применимости технологий широкополосного радиодоступа и технологий спутникового дистанционного мониторинга поверхности Земли в интересах органов лесного хозяйства и лесопожарных центров. Экспериментально подтверждена высокая эффективность обеспечения связи с использованием технологий широкополосного оперативного радиодоступа на территориях, где отсутствует покрытие сетями сотовой связи. Предлагаемые решения, совместно с технологиями дистанционного зондирования и спутникового мониторинга поверхности Земли, позволяют существенно снизить ущерб, причиняемый лесными пожарами, который в России ежегодно составляет более 11 млрд руб.

Полученные результаты могут быть использованы при организации служб мониторинга лесных пожаров, работе служб и организаций, занятых ликвидацией лесных пожаров.

Ключевые слова: лесосырьевые ресурсы; лесной пожар, обнаружение, мониторинг, широкополосный радиодоступ, автономный комплекс управления тушением лесных пожаров.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 1, P. 24–32

USE OF BROADBAND RADIO ACCESS AND REMOTE MONITORING TECHNOLOGIES FOR DETECTION AND FOREST FIRE EXTINGUISHING CONTROL

S. N. Dolmatov¹, P. G. Kolesnikov¹, D. Yu. Chernikov², V. F. Garifulin³

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: pipinaskus@mail.ru, mfsibgtu@mail.ru

²Institute of Engineering Physics and Radioelectronics Siberian Federal University
28, Kirensky st., Krasnoyarsk, 660074, Russian Federation
E-mail: dchernikov@sfu-kras.ru

³AO NPO Radiosvyaz
19, Decembrists st., Krasnoyarsk, 660009, Russian Federation
E-mail: vadimgar@mail.ru

Increasing the efficiency of detection and elimination of forest fires is an important task facing the employees of the forestry authorities, the emergency response forces of the Ministry of Emergency Situations. This task is especially relevant for the regions of Russia with significant forest areas, where intensive forest management, harvesting and

processing of forest products is carried out. The imperfection of means for detecting and operatively managing the elimination of forest fires leads to catastrophic consequences, damage measured in billions of rubles, and human casualties in cases of forest fires crossing the territory of settlements. The study presents the results of experimental testing of an autonomous mobile forest fire extinguishing control system. The complex is designed to provide communication and coordination of resources necessary for the detection and elimination of a forest fire. The analysis of the factors that have a significant impact on the provision of sustainable communication and management of the detection and elimination of forest fires has been carried out. The information on the technical applicability of broadband radio access technologies and technologies of satellite remote monitoring of the Earth's surface in the interests of forestry authorities and forest fire centers is summarized. The high efficiency of providing communication using technologies of broadband operational radio access has been experimentally confirmed in areas where there is no coverage by cellular networks. Proposed solutions, together with technologies of remote sensing and satellite monitoring of the Earth's surface, will significantly reduce the damage caused by forest fires, which in Russia annually amounts to more than 11 billion rubles. The results obtained can be used in the organization of forest fire monitoring services, the work of services and organizations involved in the elimination of forest fires.

Keywords: timber resources; forest fire, detection, monitoring, broadband radio access, autonomous forest fire extinguishing control complex.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность лесного сектора и его вклад в валовый национальный продукт определяется, прежде всего, наличием лесных ресурсов и возможностью их промышленной эксплуатации. Российская Федерация обладает максимальными объемами лесных площадей среди десятка стран – лидеров лесного сектора [1]. Однако само наличие лесных ресурсов является лишь необходимым, но не достаточным условием высокой доходности лесного сектора. Наряду с фактором обладания значительными лесными запасами, на современном этапе важнейшую роль играет качество лесопользования и лесоохраны, наличие современных средств и приемов комплексного рачительного использования природных богатств. Колоссальный ущерб для лесного комплекса, экономики страны и региональной и мировой экологической ситуации наносят лесные пожары.

Предварительный ущерб от лесных пожаров в 2021 году в России составил 10,6 млрд рублей. 2021 год стал рекордным по площади, пройденной огнем. На землях лесного фонда возникло почти 15 тыс. лесных пожаров на площади свыше 10 млн гектаров. По данным Рослесхоза, в 2019 году ущерб составил более 13 млрд рублей, в 2020 году – порядка 11,5 млрд рублей [2].

Негативные последствия лесных пожаров затрагивают, как правило, таежную зону СФО и ДВО. Существенные площади лесных ресурсов Красноярского края гибнут в лесных пожарах, становятся ослабленными и интенсивно заселяются лесными вредителями. Согласно данным [3] основными причинами ослабления и гибели лесов за период с 2009 по 2018 г.г. являлись лесные пожары и вредные организмы, площадь лесных массивов, поврежденных этими факторами, составила 84,7 % (625 804,7 га) от общей площади поврежденных насаждений (738 601,1 га). За последние 9 лет наблюдений в Красноярском крае площадь поврежденных древостоев увеличилась более чем в 2 раза и составила 738 601,1 га. Средняя площадь погибших насаждений за последние 9 лет (2009–2017 годы) составляет 32 406,9 га. Контрольные обследования 2017 г., проведенные в очагах повреждения, подтвердили необходимость проведения

восстановительных мероприятий на площади 887,7 тыс. га. Основная причина гибели насаждений – лесные пожары. Колоссальные потери лесных территорий от воздействия лесных пожаров характеризуются повсеместным распространением очагов пожаров и сложностями их обнаружения и ликвидации, обусловленными удаленностью и малообжитостью региона, несовершенством средств лесного мониторинга и оперативного управления, отсутствием или труднопроходимостью дорог, малочисленностью профессиональных специалистов [4].

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования: Анализ перспектив применения широкополосного доступа и технологий дистанционного зондирования Земли для обнаружения и управления тушением лесных пожаров.

Задачи исследования:

1. Оценить применимость технологий широкополосного радиодоступа и дистанционного зондирования Земли в интересах обнаружения и управления тушением лесных пожаров.
2. Провести анализ возможностей и доложить о результатах экспериментальных испытаний автономного передвижного комплекса управления тушением лесных пожаров (АПКТ).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования служили данные о горимости лесов России и Красноярского края, применяемых технологиях обнаружения и управления тушением лесных пожаров. Данные федеральных и муниципальных систем контроля и мониторинга лесного хозяйства. Объектом исследования являлся автономный передвижной комплекс управления тушения лесных пожаров (АПКТ). Использовались источники, расположенные в свободном доступе. В качестве методов исследования использовались натурный эксперимент, анализ данных, метод обобщения, систематизации и построения гипотез.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно [5] передовые системы обнаружения и ликвидации лесных пожаров в процессе своего разви-

тия требуют ряда современных решений и технологий, к которым можно отнести следующие:

1. Применения приборов для инструментального контроля состояния пожара и результатов тушения.
2. Автоматизация работы систем обнаружения пожаров и их интеграция с иными системами в рамках единой информационной среды.
3. Автоматизированные системы управления (АСУ) и системы поддержки принятия решений руководителем тушения лесного пожара.

Техническая реализация современных решений и средств обнаружения и ликвидации лесного пожара сопровождается постоянным и нарастающим темпом использования различных технологий, средств связи и доступа. Оперативное управление тушением лесного пожара возможно только при наличии устойчивого канала подачи и приема информации от центра управления тушением до непосредственного ликвидатора очага возгорания. Такой канал связи (КС) может быть реализован на основе использования средств сотовой связи общего пользования (СС) или при наличии канала специальной ведомственной связи (ВС). В том или ином случае ликвидатор лесного пожара должен находиться в зоне уверенного покрытия радиоволнами этих систем связи.

Системы сотовой связи получили широчайшее распространение и имеют такие преимущества как доступность связи, низкие тарифы и возможность обеспечения абонентов средствами связи в виде стандартных сотовых телефонов стандартов 3,4G, LTE. СС системы преимущественно ориентированы на обеспечение доступного средства обмена информации неограниченного объема абонентов, т. е. массового сектора потребления. Поэтому традиционное расположение точек приема-передачи, базовых станций и ретрансляторов имеют прямую корреляционную связь с плотностью населения и фактическим и потенциальным платежеспособным спросом, имеющим тесную увязку с физическим наличием абонентов. На рис. 1 [6] изображен фрагмент карты покрытия сетями сотовой связи СФО. Исходя из данных зоны покрытия, можно сделать вывод, о том, что сотовая связь будет работать на расстояниях не более чем 30...50 км от крупных населенных пунктов.

Если говорить о традиционных районах интенсивной лесозаготовительной деятельности, к которым можно отнести районы Ангаро-Енисейской группы, то ситуация с покрытием и обеспечением уверенного приема сигналов сотовой связи выглядит еще более удручающе (рис. 2) [7].

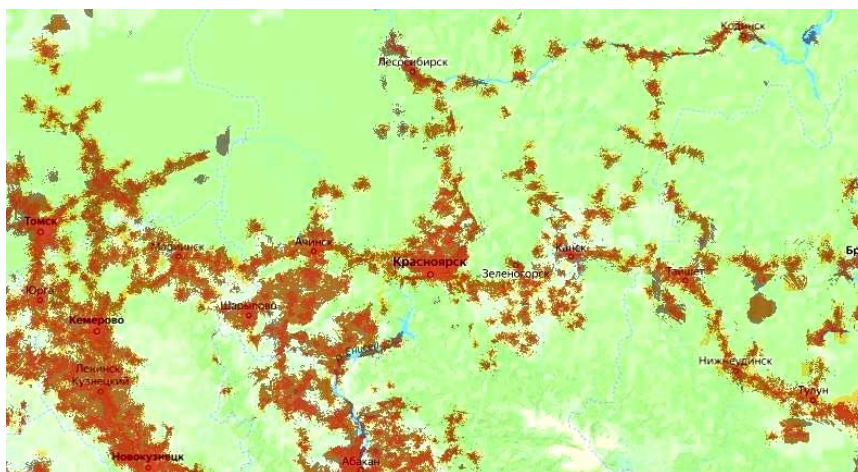


Рис. 1. Зона покрытия мобильной связи Ростелеком (Зона приема сигнала отмечена красным цветом)

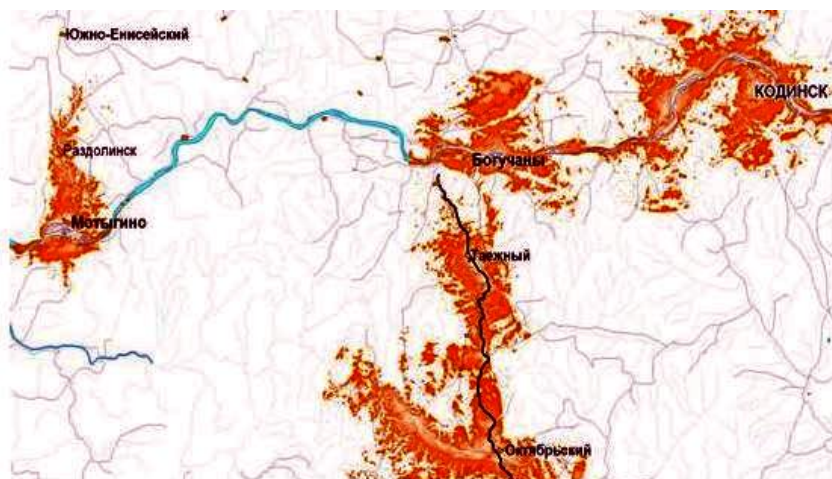


Рис. 2. Зона покрытия мобильной связи Богучанского района Красноярского края (Зона приема сигнала отмечена красным цветом)

Административно-регулятивными постановлениями предусмотрен ряд мер по обеспечению устойчивого управления отраслями добывающей промышленности РФ. В ноябре 2021 г. было подписано Распоряжение Правительства РФ [8], определяющее стратегические направления преобразования российской обрабатывающей промышленности, которую ожидает масштабная цифровая трансформация. Документ предусматривает активное внедрение в производственную практику искусственного интеллекта, робототехники, интернета, технологий дополненной реальности, новых производственных и коммуникационных технологий. Они в свою очередь помогут повысить производительность труда, снижат себестоимость продукции и ускорят вывод товаров на рынок. По данным J'son & Partners Consulting к концу 2021 года в России функционировало более 30 сетей LTE и 5G частного управления. Основные отрасли потребителей: горнодобывающая, нефтегазовая, энергетика, транспортно-логистические узлы (ж/д станции). Лидером в области частных сетей и проектов Private LTE является компания МТС, которая организовала работу более 10 проектов для компаний «Сибур», «Северсталь». Крупный проект сетей Private LTE реализуется в Республике Саха на месторождениях по добыче золота. По прогнозам J'son & Partners Consulting, объем российского рынка частных сетей LTE/5G будет расти на 36,3 % в год и в 2025-м достигнет 3,2 млрд рублей [8].

Относительно задач оперативного управления тушением лесных пожаров применение технологий сотовой связи и LTE/5G сетей практически малореализуемо, поскольку действует ряд объективных факторов, делающих применение подобных решений неоправданными. К таким факторам следует отнести:

1. Недостаточное покрытие зон устойчивого приема сигнала сотовой связи в лесной таежной зоне.
2. Стохастический характер возникновения очагов лесных пожаров.

3. Значительные (миллионы гектар) площади, где потенциально может возникнуть лесной пожар.

4. Невозможность энергообеспечения автономно работающих станций – ретрансляторов сигнала из-за транспортной недоступности значительной части лесных массивов.

5. Чрезвычайно низкая плотность дорог и транспортных путей и их ограниченная проходимость и зависимость от природно-климатических явлений, атмосферных осадков, сезона года и т. п.

В таких условиях решать вопрос оперативного обнаружения, управления тушением и ликвидацией лесных пожаров можно с использованием сочетания технологий дистанционного зондирования поверхности Земли (ДЗЗ), спутниковой связи и применения систем широкополосного радиодоступа, например на основе транкинговых сетей [9]. В случае реализации широкополосного доступа в системе транкинговой сети схема работы системы будет соответствовать рис. 3 [9].

Структурная схема транкинговой системы основана на совокупности нескольких пользователей, объединенных в общую сеть базовых станций (БС). Такая архитектура позволяет строить сеть связи различной конфигурации и масштаба. Это может быть простая сеть с небольшим территориальным охватом или крупная территориальная сеть. Важен фактор возможности оперативного централизованного управления такой сетью. Транкинговые системы связи имеют ряд характерных особенностей, отличающих их от систем СС, и делающих перспективными применяемые технические решения для систем ВС:

1. Обеспечение группового режима доступа и связи.
2. Доступность приоритетных и аварийных вызовов.
3. Возможность группировки и динамического управления абонентами.
4. Высокая скорость соединения.

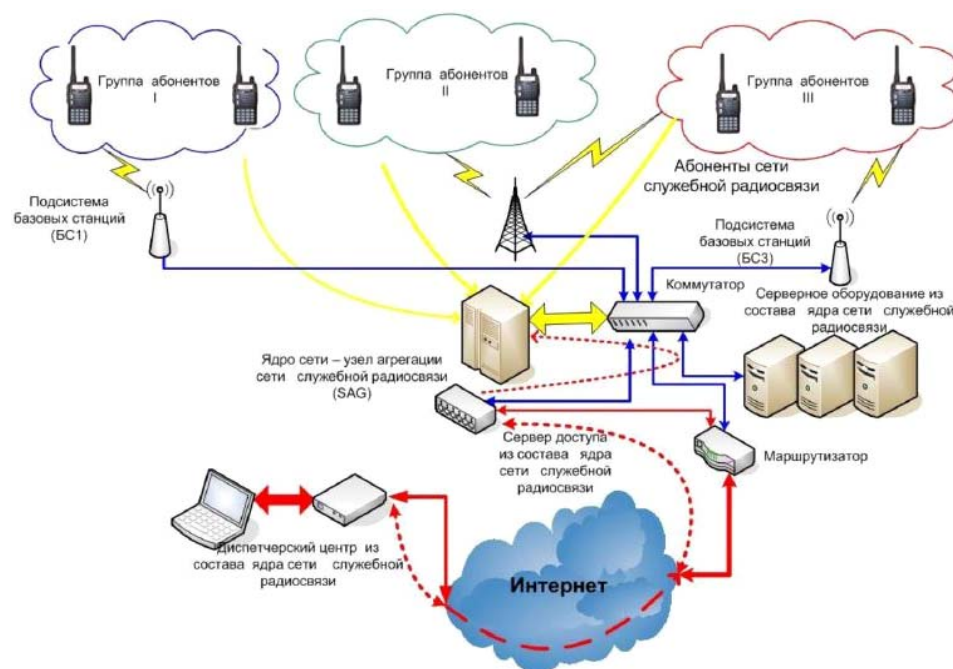


Рис. 3. Структура транкинговой сети (источник [9])

Транкинговая система широкополосного радиодоступа состоит из стационарного оборудования и абонентских станций. Основной частью стационарного оборудования транкинговой сети является базовая станция с системой антенн, контроллеров, коммутационных устройств и управляющего сервера. Подсистема транкинговой связи представлена системой широкополосного доступа основана на технологии McWill [9], имеющей характерные признаки, связанные с передачей пакетных данных при коммутации по протоколам TCP/IP. При этом имеется возможность индивидуального и группового управления, передачи видео, речи и текстовых сообщений и их диспетчеризация. Система имеет возможность оперативного расширения и наращивания. Радиостанциями могут быть оборудованы как стационарные объекты, так и подвижные системы, например транспортные средства [10].

Применительно к технологии оперативного обнаружения и управления тушением лесных пожаров, на основе принципов доступа посредством широкополосной радиосвязи совместными усилиями СибГУ имени М.Ф. Решетнева, ОА НПП «Радиосвязь», Сибирского Федерального Университета был разработан автономный передвижной комплекс управления тушения лесных пожаров (АПКТ) (рис. 4), входящий

как один из основных компонентов в эту систем оперативного обнаружения и управления ликвидацией лесных пожаров (рис. 5).

Технология обнаружения и управления ликвидацией лесных пожаров может работать в нескольких режимах и состоять из необходимого числа компонентов, необходимых для обеспечения мониторинга на уровне спутникового, авиационного, тепловизионного, визуального наблюдения. При работе с использованием технологии ДЗЗ искусственный спутник Земли, находясь на орбите при помощи видеонаблюдения с фиксацией соответствующих длин волн и интенсивности излучения, распознает и фиксирует термоточку, которая с высоким уровнем достоверности является источником теплового излучения или лесным пожаром. В автоматическом режиме информация о местоположении, географических координатах термоточки передается в центр ДЗЗ и/или Региональную диспетчерскую службу (РДС). В РДС анализируются имеющиеся доступные средства для оперативной ликвидации лесного пожара. При этом учитывается местоположение возгорания, наличие транспортной сети, покрытие сетями связи, наличие техники и личного состава. Принимается решение о выделении сил и техники для тушения лесного пожара.



Рис. 4. Разработанный комплекс АПКТ в транспортном положении

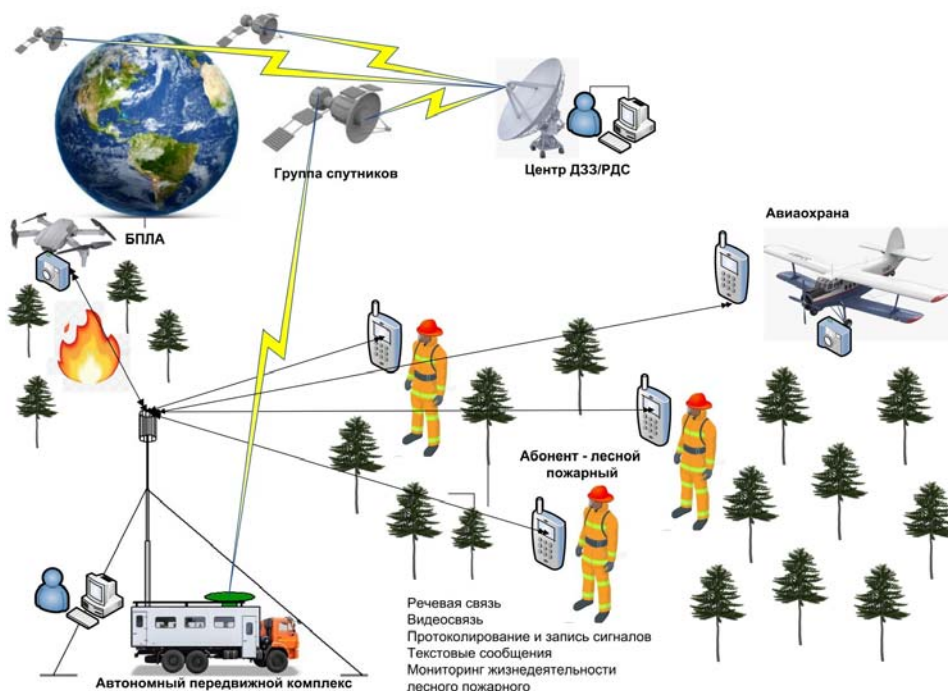


Рис. 5. Схема технологии оперативного обнаружения и управления ликвидацией лесных пожаров

При наличии термоточки на территориях, имеющих ограниченное покрытие стандартными средствами связи, ДЗЗ и РДС связывается с АПКТ используя спутниковый канал связи. При этом передается информация, необходимая для оперативного визуального обнаружения лесного пожара и управления его ликвидацией. АПКТ выдвигается к месту лесного пожара и разворачивается из транспортного положения в рабочее. Время разворачивания АПКТ составляет 1 час. АПКТ становится оперативным штабом управления ликвидацией лесного пожара. Для установления границ лесного пожара, потенциальных факторов способствующих или ограничивающих лесной пожар, а также тактике его тушения используется беспилотный летательный аппарат (БПЛА), которым укомплектован АПКТ. Исследованиями ряда авторов [11; 12] установлена высокая эффективность применения БПЛА при обнаружении и управлении ликвидацией лесных пожаров.

Автономность действия БПЛА АПКТ составляет 45 минут летного времени. За это время можно обследовать территорию в радиусе до 6 км. Полет БПЛА может проводиться по сценарию полета, либо в ручном управлении. Устойчивая связь АПКТ с БПЛА и передача видеосигнала обеспечивается на удалении до 2 км. Для устойчивой связи на большем удалении необходимо применение усилителя сигнала, которым запланировано укомплектовать АПКТ. Личный состав, задействованный на ликвидации лесного пожара, имеет индивидуальные передатчики с возможностью обмена сигналами речи, видео и текстовой информации. Штаб ликвидации пожара в АПКТ имеет возможность протоколирования источника передачи и приема информации, отслеживания координат местоположения передатчика устройства и соответственно номера пожарного расчета. Запланировано оснащение каждого работника, задействованного на ликвидации лесного пожара, индивидуальным браслетом жизненных показателей. Такой браслет позволит автоматически проводить мониторинг жизненных показателей ликвидатора пожара и при необходимости, в случае критического ухудшения этих показателей, оперативно эвакуировать работника из зоны поражения факторами лесного пожара (высокая температура, задымление). АПКТ ведет активный радиообмен с пунктом ДЗЗ и РДС, используя спутниковый канал связи. При этом идет корректировка действий штаба ликвидации с учетом вновь выявленных факторов, включая новую информацию, полученную со спутников наблюдения системы ДЗЗ.

АПКУ смонтирован на шасси автомобиля КаМАЗ 4310. Автомобиль повышенной проходимости, имеет колесную формулу 6×6. В составе радиотехнического оборудования АПКУ находится автономный фрагмент станционного оборудования ядра системы служебной радиосвязи Маквилл [9; 10], а также базовая станция (БС) данной системы. Общая балансовая стоимость АПКУ составила 37 млн руб.

Основная проблема устойчивого радиообмена при прохождении радиоволн через лесной массив – существенное ослабление сигнала. Установлено, что лесная среда, как и сложный рельеф местности, является одним из основных факторов, затрудняющих прохождение

радиосигнала, причем во всех диапазонах частот [13–15]. Для обеспечения устойчивого радиообмена приемопередающая антенна АПКУ смонтирована на телескопической мачте (рис. 6). Выдвижение телескопической мачты осуществляется при помощи пневматического привода. Пневматический привод состоит из автономного компрессора, фитингов и приборов управления. Привод установлен внутри фургона базового автомобиля. Подъем антенны производится на высоту 18 метров. Поскольку АПКУ потенциально пригоден для разворачивания на неподготовленных площадках, где имеются местные неровности почвы, предусмотрен винтовой упор подпятника телескопической мачты (рис. 6). При установке винтового упора практически исключается негативное влияние перемещений рессорно-балансирной подвески базового автомобиля. Кроме того, предусмотрены тросовые растяжки мачты. Растяжки крепятся к анкерам, забиваемым в землю, либо к деревьям.

В транспортном положении антенная разбирается на отдельные штанги и кольца-основания. Монтажный комплект антенны крепится на крыше фургона базового автомобиля. Для возможности доступа на крышу и перемещений предусмотрена складная лестница и площадки с ограждениями (рис. 7). Приемопередающая антенна спутниковой системы установлена на крыше в передней части фургона и заключена в пластиковый кожух.



Рис. 6. Телескопическая мачта АПКУ (фото слева) и винтовой упор блокирования работы подвески автомобиля-базы (фото справа)

В соответствии расчетами и техническим заданием АПКУ обеспечивает уверенное покрытие радиосигналом в радиусе до 30 км. При этом должен быть обеспечен непрерывный радиообмен до 100 абонентов с возможностью передачи речи, текстовых сообщений и видеосигнала. Кроме того, АПКУ позволяет получать точный маркер с координатами местоположения абонентов с указанием на карте их геопозиции.

Для проверки возможностей осуществления широкого радиодоступа и работ по обнаружению и ликвидации лесного пожара средствами БПЛА 29 марта 2022 года на территории Учебно-опытного лесхоза Сибирского государственного университета науки и технологий имени М.Ф. Решетнева (Красноярск ул. Лесная, 158) проводился эксперимент в условиях, приближенных к реальным.



Рис. 7. Антенна АПКУ в нижнем положении мачты, видна площадка доступа и лестница (фото слева), АПКУ в развернутом положении, установлены тросовые растяжки (фото справа)

На территории лесных насаждений Учебно-опытного лесхоза был условно смоделирован очаг возгорания. Для этого площадь размером 0,1 га была обозначена при помощи флажков (рис. 8). В соответствии с принятым порядком эксперимента была принята установка о получении из центра ДЗЗ сигнала о фиксации термоточки с определёнными координатами. Физически спутниковая связь не отрабатывалась из-за наличия определенных ограничений гражданско-правового характера. Затем в зону расположена



Рис. 8. Имитация очага возгорания флажками



Рис. 9. Момент запуска БПЛА



Рис. 10. Рабочее место оператора АПКУ

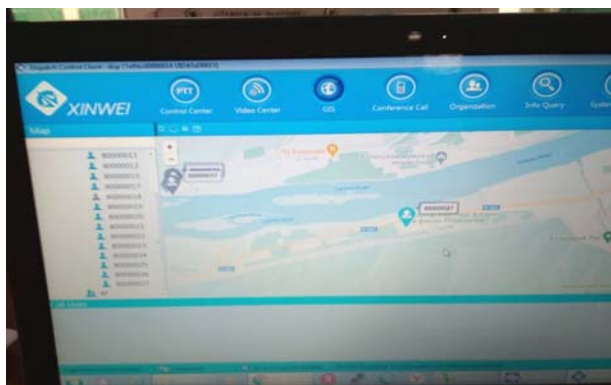


Рис. 11. Положение групп абонентов-участников эксперимента на карте

предполагаемого лесного пожара был произведен запуск БПЛА (рис. 9).

Оператор БПЛА после успешного обнаружения площадки, имитирующей пожар, передал координаты пожара оператору АПКУ. Оператор АПКУ, рабочее место которого показано на рисунке 10, запротоколировал факт обнаружения лесного пожара, присвоил ему порядковый номер и посредством широкополосного радиодоступа связался абонентами – лесными пожарными. Основной целью проведения данного испытания в полевых условиях являлось тестирование качества передачи различных видов информации и проверка точности определения местоположения абонентов. Одна из групп находилась на территории ботанического сада СибГУ имени М.Ф. Решетнева по адресу Красноярск Свердловский район, Сад Крутовского-1. Удаленность Сада Крутовского от АПКУ составила 6,5 км. Радиосигнал проходил через территорию лесного массива, а также городскую застройку и р. Енисей. В таких условиях оператор АПКУ зафиксировал запланированный протоколом испытаний видеоматериал, передаваемый из Сада Крутовского, т. е. был обеспечен уверенный прием видеосигнала. С другими участниками-абонентами поддерживался речевой контакт. Оператор АПКУ наблюдал, как точки, обозначающие геопозицию абонентов-лесных пожарных приближаются в отмеченной точки лесного пожара. На экране ноутбука оператор АПКУ наблюдал и фиксировал физическое положение абонентов – участников эксперимента (рис. 11).

Местоположение группы было получено на карте-схеме на ноутбуке в АПКУ с точностью в несколько метров. После того, как лесные пожарные достигли и обнаружили имитационный лесной пожар, оператор АПКУ получил и зафиксировал сообщение о времени прибытия и пожарного расчета. Далее оператор АПКУ транслировал указания штаба тушения лесного пожара и персонализировано мог протоколировать действия каждого участника тушения.

Трансляция радиосигнала шла в полосе частот 340 МГц на участке выделенного спектра около 2 МГц. При этих показателях наличие лесного массива, сложного рельефа (перепады высот до 160 м) и городской застройки не оказали влияние на качество связи. Учитывая заявленную дальность связи в 30 км, достаточно обоснованно можно предположить о возможности выполнения этого показателя. Кроме того, имеется возможность по увеличению используемой полосы частот до величины в 5 МГц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Оценить применимость технологий широкополосного радиодоступа и дистанционного зондирования Земли в интересах обнаружения и управления тушением лесных пожаров.

2. Провести анализ возможностей и доложить о результатах экспериментальных испытаний автономного передвижного комплекса управления тушением лесных пожаров (АПКТ).

Современные тенденции широчайшего внедрения информационных технологий и средств высокоскоростного обмена данными и оперативной связи проникают и закрепляются практически во всех сферах деятельности и промышленного производства. Обеспечение устойчивыми каналами связи работников лесной промышленности, лесного хозяйства, лесоохраны, сил и средств МЧС, всех тех ресурсов, которые могут быть задействованы для обнаружения и ликвидации лесных пожаров – актуальная задача, решение которой позволит кардинально снизить ущерб от лесных пожаров, который ежегодно составляет более 11 млрд руб. Решение этой задачи ведется по двум направлениям:

1. Развитие дистанционного зондирования и спутникового мониторинга поверхности Земли.

2. Обеспечение широкополосного оперативного радиодоступа на территориях, где отсутствует покрытие сетями сотовой связи.

Разработанный и экспериментально апробированный автономный передвижной комплекс управления тушением лесных пожаров (АПКТ) сочетает возможности этих двух направлений. Дальнейшие, уже запланированные, работы по промышленному испытанию этого комплекса в условиях реальных лесных пожаров сезона лета 2022 года позволит провести полную комплексную оценку эффективности его работы, определить методологию и тактику, экономическую эффективность применения современного дорогостоящего оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Глобальная оценка лесных ресурсов: страновые доклады. 2018 / Продовольственная и сельскохозяйственная ООН. URL: <http://www.fao.org/forest-resources-assessment/fra-2020/country-reports/ru/> (дата обращения: 03.05.2022).

2. В Минприроды оценили экономический ущерб от лесных пожаров в России в 2021 году. URL: https://tass.ru/ekonomika/13265341?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (дата обращения: 03.05.2022).

3. Об утверждении стратегии развития лесного комплекса Красноярского края до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: <http://mlx.krskstate.ru/dat/File/57/dokumenty/Proekt%20Strategii.pdf> (дата обращения: 11.04.2022).

4. Ковалев Р. Н., Долматов С. Н. Анализ сырьевого потенциала поврежденных лесов Красноярского края в целях промышленного производства древесно-цементных композитов // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39. № 6. С. 483–491.

5. Коршунов Н.А., Мартынюк А.А., Савченкова В.А., Калинин М.С. Оценка состояния средств тушения лесных пожаров и экономической эффективности их применения // Лесохозяйственная информация. 2019. № 1. С. 77–88.

6. Зона покрытия мобильной связи Ростелеком URL: https://krasnoyarsk.rt.ru/map_mvno (дата обращения 22.04.2022).

7. Схема территориального планирования Богучанского района URL: <https://pandia.ru/text/80/280/88005-46.php> (дата обращения: 22.04.2022).

8. Беспроводные сети Wi-Fi и private LTE/5G в промышленности. URL: https://json.tv/ict_telecom_analytics_view/besprovodnye-seti-wi-fi-i-private-lte5g-v-promyshlennosti-20211229090304 (дата обращения: 22.04.2022).

9. Войцеховский В. Н., Черников Д. Ю. Подсистема транкинговой связи в составе мультисервисной сети широкополосного радиодоступа McWILL // Современное состояние и перспективы развития специальных систем радиосвязи и радиоперехвата : сборник докладов Всероссийской юбилейной научно-технической конференции, посвященной 60-летию образования Омского научно-исследовательского института приборостроения, Омск, 03–05 октября 2019 года. Омск : Омский научно-исследовательский институт приборостроения, 2018. С. 28–34.

10. Липовка М. А., Черников Д. Ю. Использование систем широкополосного радиодоступа для управления транспортным обслуживанием // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте : сборник материалов III Международной научно-практической конференции, Кемерово, 14–17 октября 2019 года / редколлегия: Д.М. Дубинкин [и др.]. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2019. С. 109–112.

11. Wildfire Front Monitoring with Multiple UAVs using Deep Q-Learning Viseras, Alberto & Meißner, Michael & Marchal, Juan. (2021). Wildfire Front Monitoring

with Multiple UAVs using Deep Q-Learning. IEEE Access. Pp. 1-1. 10.1109/ACCESS.2021.3055651.

12. Коптев С. В., Скуднева О. В. О возможностях применения беспилотных летательных аппаратов в лесохозяйственной практике // Изв. вузов. Лесн. журн. 2018. № 1. С. 130–135.

13. Li L.W., Yeo T. S., Kooi P. S., Leong M. S. Radio wave propagation along mixed paths through a four – layered model of rain forest: an analytical approach / IEEE Trans. Antennas and Propagat. Vol. 46, No. 7, 1098–1111, 1998.

14. Басанов Б. В., Ветлужский А. Ю., Калашников В. П. Метод определения эффективной диэлектрической проницаемости лесного полога // Журнал радиоэлектроники. 2010. № 4. С. 34–40.

15. Meng Y. S., Lee Y. H., Ng B. C. Study of propagation loss prediction in forest environment. PIER B. 2009. Vol. 17. Pp. 117–133.

REFERENCES

1. Global'naya otsenka lesnykh resursov: stranovyye doklady. 2018 / Prodovol'stvennaya i sel'skokhozyaystvennaya OON. URL: <http://www.fao.org/forest-resources-assessment/fra-2020/country-reports/ru/> (data obrashcheniya: 03.05.2022).

2. V Minprirody otsenili ekonomicheskiy ushcherb ot lesnykh pozharov v Rossii v 2021 godu. URL: https://tass.ru/ekonomika/13265341?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (data obrashcheniya: 03.05.2022).

3. Ob utverzhdenii strategii razvitiya lesnogo kompleksa Krasnoyarskogo kraya do 2030 goda [Elektronnyy resurs]. URL: <http://mlx.krskstate.ru/dat/File/57/dokumenty/Proekt%20Strategii.pdf> (data obrashcheniya: 11.04.2022).

4. Kovalev R. N., Dolmatov S. N. Analiz syr'yevogo potentsiala povrezhdennykh lesov Krasnoyarskogo kraya v tselyakh promyshlennogo proizvodstva drevesno-tsementnykh kompozitov // Khvoynyye boreal'noy zony. 2021. T. 39. № 6. S. 483–491.

5. Korshunov N.A., Martynyuk A.A., Savchenkova V.A., Kalinin M.S. Otsenka sostoyaniya sredstv tusheniya lesnykh pozharov i ekonomicheskoy effektivnosti ikh primeneniya // Lesokhozyaystvennaya informatsiya. 2019. № 1. S. 77–88.

6. Zona pokrytiya mobil'noy svyazi Rostelekom URL:https://krasnoyarsk.rt.ru/map_mvno (data obrashcheniya 22.04.2022).

7. Skhema territorial'nogo planirovaniya Boguchanskogo rayona. URL: <https://pandia.ru/text/80/280/88005-46.php> (data obrashcheniya: 22.04.2022).

8. Besprovodnyye seti Wi-Fi i private LTE/5G v promyshlennosti. URL: https://json.tv/ict_telecom_analytics_view/besprovodnye-seti-wi-fi-i-private-lte5g-v-promyshlennosti-20211229090304 (data obrashcheniya: 22.04.2022).

9. Voytsekhovskiy V. N., Chernikov D. Yu. Podsystema trankingovoy svyazi v sostave mul'tiservisnoy seti shirokopolosnogo radiodostupa McWILL // Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya spetsial'nykh sistem radiosvyazi i radioupravleniya : sbornik dokladov Vserossiyskoy yubileynoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 60-letiyu obrazovaniya Omskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta priborostroyeniya, Omsk, 03–05 oktyabrya 2019 goda. Omsk : Omskiy nauchno-issledovatel'skiy institut priborostroyeniya, 2018. S. 28–34.

10. Lipovka M. A., Chernikov D. Yu. Ispol'zovaniye sistem shirokopolosnogo radiodostupa dlya upravleniya transportnym obsluzhivaniyem // Innovatsii v informatsionnykh tekhnologiyakh, mashinostroyeni i avtotransporte : sbornik materialov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kemerovo, 14–17 oktyabrya 2019 goda / redkollegiya: D.M. Dubinkin [i dr.]. Kemerovo : Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet imeni T.F. Gorbacheva, 2019. S. 109–112.

11. Wildfire Front Monitoring with Multiple UAVs using Deep Q-Learning Viseras, Alberto & Meißner, Michael & Marchal, Juan. (2021). Wildfire Front Monitoring with Multiple UAVs using Deep Q-Learning. IEEE Access. Pr. 1-1. 10.1109/ACCESS.2021.3055651.

12. Koptev S. V., Skudneva O. V. O vozmozhnostyakh primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov v lesokhozyaystvennoy praktike // Izv. vuzov. Lesn. zhurn. 2018. № 1. S. 130–135.

13. Li L.W., Yeo T. S., Kooi P. S., Leong M. S. Radio wave propagation along mixed paths through a four – layered model of rain forest: an analytical approach / IEEE Trans. Antennas and Propagat. Vol. 46, No. 7, 1098–1111, 1998.

14. Basanov B. V., Vetluzhskiy A. Yu., Kalashnikov V. P. Metod opredeleniya effektivnoy dielektricheskoy pronitsayemosti lesnogo pologa // Zhurnal radioelektroniki. 2010. № 4. S. 34–40.

15. Meng Y. S., Lee Y. H., Ng B. C. Study of propagation loss prediction in forest environment. PIER B. 2009. Vol. 17. Rr. 117–133.

© Долматов С. Н., Колесников П. Г., Черников Д. Ю., Гарифулин В. Ф., 2023

ИМПУЛЬСНО-ТОМОГРАФИЯ ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

О. С. Залывская, Н. А. Бабич

Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова
Российская Федерация, 163002, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 17

Городская экологическая система является объектом постоянного комплексного изучения.

Цель данной работы – обследование встречающихся в насаждениях Архангельской агломерации видов древесных пород при помощи комплекса аппаратуры акустической томографии «Арботом».

В работе приведены данные двумерных звуковых томограмм стволов тополя бальзамического, дуба черешчатого, вяза шершавого, клёна остролистного, яблони ягодной, лиственницы сибирской, ясеня обыкновенного.

Согласно проведенным исследованиям данные породы рекомендуются к применению для формирования закрытых пространств в северных городах.

Методика импульсно-томографической диагностики состояния хвойных и лиственных древесных пород позволяет оптимизировать проведение исследований патологии растений и помогает в принятии решений по своевременному удалению или лечению и укреплению деревьев.

Ключевые слова: акустическая томография, качество древесины, скорость прохождения звуковых импульсов.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 1, P. 33–37

PULSE-TOMOGRAPHY DIAGNOSTICS OF THE STATE OF TREE SPECIES IN URBAN ENVIRONMENTS

O. S. Zalyvskaya, N. A. Babich

Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov
17, Severnaya Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

The urban ecological system is the object of constant comprehensive study.

The purpose of this work is to survey the common types of dendroflora of the Arkhangelsk agglomeration in roadside, intra-block, group, alley single-breed and multi-breed plantings using the complex of acoustic tomography equipment "Arbotom".

The paper presents the data of two-dimensional sound tomograms of trunks of balsamic poplar, pedunculate oak, rough elm, holly maple, berry apple, Siberian larch, common ash.

According to the conducted research, these breeds can be recommended for use for the formation of enclosed spaces in northern cities.

The technique of pulse tomography diagnostics of the condition of tree species should be used in conjunction with other studies of plant pathologies and will help in making decisions on timely removal or conservative treatment and strengthening of trees.

Keywords: Acoustic tomography, wood quality, velocity of sound pulses.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема сохранения биоразнообразия дендрофлоры остается актуальной как в России, так и за рубежом (Antonov, Sungurova, Marich, 2020; Cowett, Bassuk, 2017; Sjöman, Bassuk, 2015).

Ассортимент применяемых в Архангельской агломерации древесных и кустарниковых пород представлен аборигенной и интродуцированной флорой. Детальное исследование инорайонных пород и выявление устойчивых в городской среде видов представляет научный интерес (Бабич и др., 2008).

Эффективность выполняемых функций древесных насаждений на урбанизированных территориях (сани-

тарно-гигиенической, архитектурно-планировочной, декоративной) в большой степени зависит как от их породного состава, так и от состояния.

В настоящее время высокотехнологичным диагностикам санитарного состояния хвойной и лиственной арборифлоры уделяется особое внимание, поскольку в городских насаждениях запрещены отдельные способы исследований деревьев, например, определение возраста с помощью возрастного бура или путем подсчета годичных колец у срубленного дерева (Артемьев, 2004).

Цель данной работы – обследование встречающихся в насаждениях Архангельской агломерации

видов хвойных и лиственных древесных пород при помощи комплекса аппаратуры акустической томографии «Арботом».

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в течение 2020–2022 гг. в городских посадках, число наблюдений по каждому виду составляет от 11 до 30, что соответствует малой выборке. При обработке исходных данных перировали общепринятыми статистическими показателями.

В работе применили импульсный томограф «Арботом», разработанный для проведения анализа состояния внутренней структуры деревьев. Скорость прохождения звуковых импульсов коррелирует с плотностью исследуемых тел, что позволяет получить информацию о состоянии материала данного тела.

Принцип действия прибора акустической томографии «Арботом» при исследовании деревьев основан на том, что скорость распространения звукового сигнала в древесине зависит от её плотности. Участки ствола, затронутые гнилью, имеют меньшую плотность по сравнению со здоровой древесиной. При этом плотность тем ниже, чем выше степень деструкции.

У отобранных деревьев определяли высоту, диаметр, класс возраста, отмечали тип посадки и местоположение. В зависимости от количества сенсоров и мест их расположения при работе с прибором воспроизведены двумерные или трехмерные графические построения. Датчики устанавливали согласно методическим рекомендациям к прибору на высоте 1,3 м.

При оценке состояния древостоя выделяли области градации состояний внутренней части древесины: естественная плотность (зеленый цвет), пониженная плотность (жёлтый), патологическое снижение плотности (оранжевый), образование некротических полостей (красный). Данная условная градационная шкала состояния древесины предложена нами, опираясь на предшествующие работы учёных (Мельничук и др., 2012) и позволяет выполнить сравнительную оценку состояния древесины различных пород.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что у распространенной в агломерации древесной породы – тополя бальзамического III класса возраста наблюдается увеличение суммы частей некротических полостей и патологического снижения плотности и снижение суммы частей естественной плотности и пониженной плотности, что позволяет сделать вывод об ухудшении структуры древесины данной породы с возрастом.

У дуба черешчатого II класса возраста в строении древесины зафиксировали только две категории: естественная плотность и пониженная плотность, в III классе возраста патологическое снижение плотности достигает лишь 12 %, а образования некротических полостей нет. Полученные данные позволяют сделать вывод об устойчивом санитарном состоянии породы.

В древесине вяза шершавого III класса возраста образуются небольшие (10 %) некротические полости и в его строении увеличиваются зоны патологического снижения плотности древесины (с 10 до 15 %).

У клена остролистного в строении древесины присутствуют только зоны естественной и пониженной плотности и отсутствуют патологические и некротические зоны.

У яблони ягодной III класса возраста существенно увеличивается зона пониженной плотности (с 38 до 63 %), главным образом, за счёт снижения процента зоны естественной плотности (с 52 до 20).

У лиственницы сибирской I и II класса возраста состояние древесины возраста без патологий, что позволяет сделать вывод о перспективности её применения в озеленении.

Ясень обыкновенный характеризуется равномерным состоянием древесины во II и III классе возраста, сохраняет внутренне строение без некротических полос, но имеет высокий процент патологического снижения плотности древесины (более 50).

Результаты проведенных исследований представлены на рис. 1 и в таблице.

Доля древесины с естественной плотностью высока у деревьев лиственницы сибирской I класса возраста, дуба черешчатого II класса возраста. С течением времени часть её заменяется на древесину с пониженной плотностью, которая не относится к патологической, не ведёт к деструкции дерева и не требует проведения компенсационных озеленительных работ.

У вяза шершавого, клена остролистного, яблони ягодной и ясеня обыкновенного II и III класса возраста внутреннее состояние древесины соответствует здоровому.

Интерпретация данных, полученных методами акустической томографии для различных пород, подвергалась дискуссии в научных публикациях, а именно указывалось о необходимости уточнять особенности программного обеспечения, задействованные для получения значения скоростей распространения звуковых импульсов в древесине, чтобы их можно было использовать для дальнейшего сопоставления результатов (Тюкавина, 2015).

Румянцев Д. Е. (2021) отмечает, что данный прибор является полезным инструментом исследования, но его применение имеет ограничения, а именно биологически обусловленное варьирование плотности здоровой (не пораженной гнилью) древесины. Арботом при определенных режимах работы может ввести исследователя в заблуждение. Древесина ствола в поперечном сечении варьирует по плотности. Как правило, у хвойных наблюдается следующая закономерность: в центре ствола расположены широкие годичные кольца с малой долей поздней древесины (малая плотность), а на периферии, около коры, расположены узкие годичные кольца с большим процентом поздней древесины (высокая плотность). С учетом того, что работа Арботома построена не на четких количественных показателях скорости прохождения звука по древесине (что затруднено по биологическим причинам), а на анализе относительных значений, при определенных условиях может складываться ошибочное мнение о наличии в ядре древесины, подвергнувшейся деструкции. Однозначно данный вопрос в спорных случаях может быть разрешен с помощью отбора керном древесины (Румянцев, Фролова, 2021).

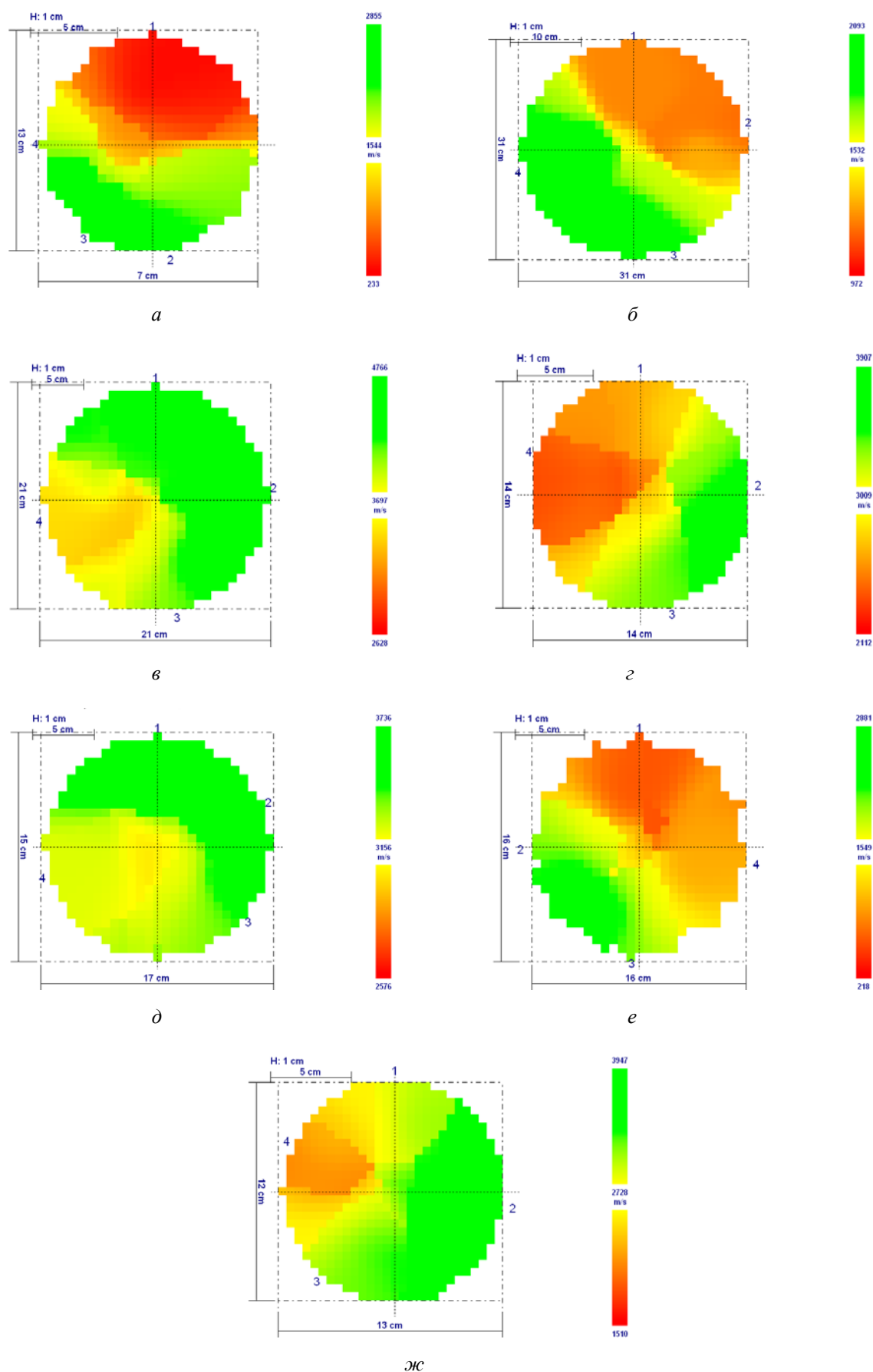


Рис. 1. Двумерные звуковые томограммы стволов деревьев (III класс возраста):

a – тополя бальзамического; *б* – вяза шершавого; *в* – дуба черешчатого; *г* – яблони ягодной; *д* – клёна остролистного; *е* – ясеня обыкновенного; *ж* – лиственницы сибирской

Результаты обработки данных звуковой томографии деревьев

Порода	Класс возраста	Структура древесины, %			
		Естественная плотность (зеленый цвет)	Пониженная плотность (жёлтый цвет)	Патологическое снижение плотности (оранжевый цвет)	Образование некротических полостей (красный цвет)
Вяз шершавый	II	27±2,1	63±2,2	10±0,5	—
	III	35±2,0	40±2,0	15±0,5	10±0,1
Дуб черешчатый	II	70±2,2	30±1,5	—	—
	III	45±1,8	43±1,5	12±0,6	—
Клен остролистный	II	40±2,4	60±2,0	—	—
	III	45±0,6	55±1,5	—	—
Лиственница сибирская	I	90±2,5	10±1,6	—	—
	II	43±0,2	52±2,0	5±0,1	—
Тополь бальзамический	II	17±1,0	24±1,0	23±1,0	36±2,0
	III	20±1,2	19±1,2	21±1,0	40±2,0
Яблоня ягодная	II	52±1,5	38±1,5	10±0,5	—
	III	20±1,0	63±1,0	15±0,1	2±0,1
Ясень обыкновенный	II	25±1,0	15±1,0	60±2,2	—
	III	38±1,0	15±0,2	44±2,5	3±0,1

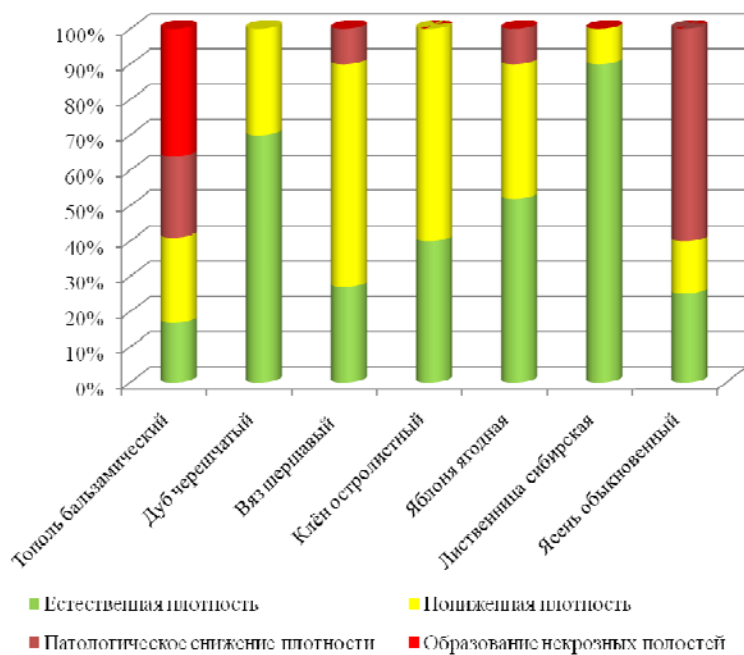


Рис. 2. Диаграмма внутренней структуры древесины различных пород (II класс возраста)

Для оценки состояния хвойных и лиственных пород необходимо проводить измерения с указанием условий произрастания деревьев, их возраста, таксономических и таксационных характеристик. Сравнительный анализ внутреннего состояния древесины исследованных пород по результатам звуковой томографии представлен на рис. 2.

ВЫВОДЫ

1. В ходе исследований с применением комплекса аппаратуры акустической звуковой томографии «Арботом» выявлено, что породы лиственница сибирская, вяз шершавый, дуб черешчатый, яблоня ягодная, ясень обыкновенный, клён остролистный в насажде-

ниях Архангельской агломерации имеют невысокий процент патологического снижения плотности древесины (от 0 у клёна остролистного до 44 у ясеня обыкновенного) и низкий процент образования некротических полостей (в среднем не более 2), что позволяет сделать вывод об их устойчивом состоянии.

2. Данные породы рекомендуются к применению для формирования закрытых пространств в северных городах.

3. Методика импульсно-томографной диагностики состояния древесных пород позволит оптимизировать проведение исследований патологий растений и поможет в принятии решений по своевременному удалению или лечению и укреплению деревьев.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Артемьев О. С. Методологические основы таксации городских насаждений с применением материалов дистанционных съёмок : автореф. дис.... д-ра с.-х. наук. Красноярск : СибГТУ, 2004. 35 с.
2. Бабич Н. А., Залывская О. С., Травникова Г. И. Интродуценты в зеленом строительстве северных городов : монография. Архангельск : АГТУ, 2008. 144 с.
3. Мельничук И. А., Яссин Солиман Й. М., Черданцева О. А. Диагностика внутреннего состояния деревьев *Tilia cordata* Mill. с использованием комплекса аппаратуры ультразвуковой томографии «Арботом» // Вестник РУДН. Сер. Агрономия и животноводство. 2012. № 5. С. 25–32.
4. Румянцев Д. Е., Фролова В. А. Проблемы диагностики аварийности деревьев в урбанизированной среде // Принципы экологии. 2021. С. 102–119.
5. Тюкавина О. Н. О методах интерпретации результатов акустической томографии древесины сосны // Лесной журнал. 2015. № 4. С. 61–67.
6. Introduction as a way to increase biodiversity of urban dendroflora / A. M. Antonov, N. R. Sungurova, S. N. Marich [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: conference proceedings, Krasnoyarsk, Russia / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 82031.
7. Cowett F., Bassuk N. Street Tree Diversity in Three Northeastern U.S. / *Arboriculture & Urban Forestry* 43 (1), 2017. p. 14.
8. Sjöman, H., Bassuk N. Urban Forest Resilience through Tree Selection // Variation in Drought Tolerance in Acer.Urban for Urban Greening, 2015. № 14. Pp. 858–865.

REFERENCES

1. Artem'yev O. S. Metodologicheskiye osnovy taksatsii gorodskikh nasazhdeniy s primeneniym materialov distantsionnykh s'yemok : avtoref. dis.... d-ra s.-kh. nauk. Krasnoyarsk : SibGTU, 2004. 35 s.
2. Babich N. A., Zalyvskaya O. S., Travnikova G. I. Introdutsenty v zelenom stroitel'stve severnykh gorodov : monografiya. Arkhangel'sk : AGTU, 2008. 144 s.
3. Mel'nichuk I. A., Yassin Soliman Y. M., Cherdantseva O. A. Diagnostika vnutrennego sostoyaniya derev'yev *Tilia cordata* Mill. s ispol'zovaniym kompleksa apparatury ul'trazvukovoy tomografii «Arbotom» // Vestnik RUDN. Ser. Agronomiya i zhivotnovodstvo. 2012. № 5. S. 25–32.
4. Rumyantsev D. E., Frolova V. A. Problemy diagnostiki avariynosti derev'yev v urbanizirovannoy srede // Printsipy ekologii. 2021. S. 102–119.
5. Tyukavina O. N. O metodakh interpretatsii rezul'tatov akusticheskoy tomografii drevesiny sosny // Lesnoy zhurnal. 2015. № 4. S. 61–67.
6. Introduction as a way to increase biodiversity of urban dendroflora / A. M. Antonov, N. R. Sungurova, S. N. Marich [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: conference proceedings, Krasnoyarsk, Russia / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 82031.
7. Cowett F., Bassuk N. Street Tree Diversity in Three Northeastern U.S. / *Arboriculture & Urban Forestry* 43 (1), 2017. p. 14.
8. Sjöman, H., Bassuk N. Urban Forest Resilience through Tree Selection // Variation in Drought Tolerance in Acer.Urban for Urban Greening, 2015. № 14. Pp. 858–865.

© Залывская О. С., Бабич Н. А., 2023

Поступила в редакцию 03.10.2022
Принята к печати 10.01.2023

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОМАССЫ КЕДРОВЫХ
И ДУБОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПРИМОРЬЯ В КОНТЕКСТЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ****А. В. Иванов^{1,2}, В. А. Усольцев^{3,4}, И. С. Цепордей⁴, А. С. Касаткин¹**¹Приморская государственная сельскохозяйственная академия
Российская Федерация, 692510 Уссурийск, просп. Блюхера, 44²Дальневосточный НИИ лесного хозяйства
Российская Федерация, 680020 Хабаровск, ул. Волочаевская, 71³Уральский государственный лесотехнический университет
Российская Федерация, 620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37⁴Ботанический сад УрО РАН
Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а

Взаимосвязь между биоразнообразием и продуктивностью растительных сообществ является одним из основных направлений в экологических исследованиях. Имеются многочисленные подтверждения положительной связи продуктивности с биоразнообразием, особенно очевидной при взаимодействии двух комплементарных видов в локальных условиях, когда их смешение обуславливает продуктивность, большую по отношению к продуктивности чистых древостоев в тех же местообитаниях. Когда исследуется связь между продуктивностью и биоразнообразием на региональном и глобальном уровнях при взаимодействии десятков и сотен видов, названная положительная связь становится очевидной лишь на массовом эмпирическом материале. Поскольку известно, что хвойные и лиственные виды приспособлены к специфичным лесорастительным условиям и могут занимать разные экологические ниши, в настоящем исследовании предпринята попытка сравнительного анализа биомассы кедровых (*Pinus koraiensis* S. ex Z.) и дубовых (*Quercus mongolica* F. ex L.) естественных насаждений Приморья в контексте биоразнообразия. Леса Приморья характеризуются сложным породным составом, только в основном пологе может насчитываться до 15 и более пород, что осложняет определение из биологической продуктивности. Объектом исследования послужили кедровые и дубовые насаждения, заложенные соответственно на 12 и 14 пробных площадях в возрастном диапазоне от 35 до 200 лет. Сделан вывод об отсутствии значимого вклада доли основной породы в объяснение изменчивости биомассы ассимиляционного аппарата кедровых и дубовых насаждений, а также об отсутствии влияния обилия пород (количества пород в составе) на соотношение надземной биомассы кедровых и дубовых насаждений, что может быть объяснено недостаточным объемом фактического материала. Сравнение биомассы кедровников и дубняков в возрастной динамике показало, что в дубняках по отношению к кедровникам масса стволов больше на 17, масса ветвей на 53, надземная на 20 %, а масса ассимиляционного аппарата, напротив, меньше на 33 %. Таким образом, дубняки при меньшей массе ассимилирующих органов имеют большую массу ствола и ветвей. По-видимому, это происходит вследствие более высокой эффективности работы ассимиляционного аппарата дубняков. Полученные результаты могут быть полезны при оценке углерод депонирующей способности хвойно-широколиственных лесов Приморья.

Ключевые слова: *Pinus koraiensis* S. ex Z., *Quercus mongolica* F. ex L., биомасса насаждений, обилие пород, сравнительный анализ, регрессионные модели.

*Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 1, P. 38–45***COMPARATIVE ANALYSIS OF *PINUS KORAIENSIS* S. EX Z. AND *QUERCUS MONGOLICA* F. EX L.
STAND BIOMASS ON PRIMORYE IN THE CONTEXT OF BIODIVERSITY****A. V. Ivanov^{1,2}, V. A. Usoltsev^{3,4}, I. S. Tsepordey⁴, A. C. Kasatkin¹**¹Primorskaya State Academy of Agriculture,
44, Blyukhera av., Ussuriysk, 692510, Russian Federation²Far East Forestry Research Institute
71, Volochaevskaya st., Khabarovsk, 680020, Russian Federation³Ural State Forest Engineering University
37, Siberian tract, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation⁴Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
202a, 8 Marta st., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

The relationship between biodiversity and the productivity of plant communities is one of the main directions in environmental research. There are numerous confirmations of a positive relationship between productivity and

biodiversity, especially evident in the interaction of two complementary species in local conditions, when their mixing causes productivity greater in relation to the productivity of pure stands in the same habitats. When the relationship between productivity and biodiversity is investigated at the regional and global levels with the interaction of tens and hundreds of species, this positive relationship becomes apparent only on huge empirical material. Since it is known that coniferous and deciduous species are adapted to specific forest growing conditions and can occupy different ecological niches, our study attempts to compare the biomass of *Pinus koraiensis* S. ex Z. and *Quercus mongolica* F. ex L. natural forests of Primorye in the context of biodiversity. The forests of Primorye are characterized by a complex species composition, when only in the main canopy there can be up to 15 or more species, which complicates the determination of their biological productivity. The object of the study was *Pinus koraiensis* and *Quercus mongolica* natural stands, growing respectively on 12 and 14 sample plots in the age range from 35 to 200 years. It is concluded that there is no significant contribution of the share of the main species to explain the variability of the biomass of the assimilation apparatus of these species, as well as the absence of the influence of the species abundance (the number of species in the canopy composition) on the ratio of aboveground biomass of two species, which can be explained by insufficient volume of empirical material. A comparison of the biomass of two species in age dynamics showed that in *Quercus mongolica* forests, in relation to *Pinus koraiensis* forests, the biomass of stems is by 17, of branches is by 53, aboveground is by 20% more, and the mass of the assimilation apparatus, on the contrary, is by 33% less. Thus, *Quercus mongolica* stands with a smaller mass of assimilating organs have a larger mass of stems and branches. Apparently, this is due to the higher efficiency of the assimilation apparatus of *Quercus mongolica*. The results obtained can be useful in assessing the carbon-depositing capacity of coniferous-deciduous forests of Primorye.

Keywords: *Pinus koraiensis* S. ex Z., *Quercus mongolica* F. ex L., plant biomass, species abundance, comparative analysis, regression models.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия взаимосвязь между биоразнообразием и продуктивностью растительных сообществ стала одним из основных направлений в экологических исследованиях. Лес является основным хранилищем наземного биоразнообразия, но обезлесение, изменение климата и другие факторы способствуют его снижению [19]. Поэтому лесопользование, при котором монокультуры преобразуются в смешанные насаждения, часто оказывает существенное положительное влияние на их продуктивность и устойчивость к внешним факторам [14]. Имеются многочисленные доказательства положительной связи продуктивности с биоразнообразием [12; 13; 18; 19; 21]. Во многих случаях названная связь имеет асимптотическую форму (рис. 1), обусловленную тем, что виды на более высоких уровнях разнообразия оказываются «лишними» в функционировании сообщества [8; 9; 22].

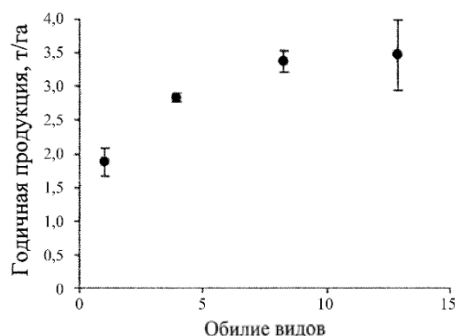


Рис. 1. Соотношение между обилием видов (количеством видов в пологе древостоя) и годичной продукцией в лесах США [12]

Исследование надземной биомассы древостоев при разном соотношении в составе сосны и березы в Белоруссии, например, показало, что по мере перехода состава от 10С к 1С9Б биомасса сосны снижается с 4,8 до 0,6 т/га, а биомасса березы в диапазоне от 9С1Б до 10Б, напротив, возрастает с 0,4 до 2,3 т/га,

при этом максимальная совокупная биомасса достигает 6,4 т/га при составе 7С3Б [7]. В Португалии в чистых древостоях сосны (*Pinus pinaster* Aiton) и пиренейского дуба (*Quercus pyrenaica* Willd.) надземная биомасса составляет соответственно 83,4 и 61,4 т/га, тогда как в смешанных сосново-дубовых насаждениях продуктивность существенно выше – 110,5 т/га. При этом регрессионный анализ показал, что во всех древостоях имеется тесная взаимосвязь между надземной биомассой и площадью сечений древостоев [20].

Однако в некоторых исследованиях не наблюдалось существенной взаимосвязи названных показателей, в то время как в других установлено, что увеличение видового разнообразия приводит к снижению продуктивности [16]. Эта противоречивость результатов во многом связана с наличием комплементарности (взаимодополняемости) видов в одних случаях и их конкурентных взаимоотношений – в других [17]. Приведенные примеры связаны с взаимодействием двух комплементарных видов в локальных условиях, когда их смешение обуславливает продуктивность, большую по отношению к продуктивности чистых древостоев в тех же местообитаниях.

Более сложные ситуации возникают при анализе связи продуктивности с биоразнообразием на региональных и глобальных уровнях, при множестве вариантов соотношений видов в разных возрастных стадиях и разных лесорастительных условиях. Например, в 11 штатах США названная зависимость выведена по материалам от 5 до 10 видов на 25 тыс. пробных площадей [12], на северо-востоке Северной Америки – по совокупности 59 видов на 12 тыс. пробных площадей [21], в бореальных лесах Аляски получена положительная связь продуктивности с биоразнообразием по совокупности 283 видов на 440 пробных площадях [18], а на глобальном уровне – по совокупности 8737 видов соответственно на 777 тыс. пробных площадей [19].

Хвойно-широколиственные леса Южного Приморья характеризуются большим разнообразием породного состава. Сложные по составу насаждения имеют

естественное происхождение и, несмотря на интенсивную эксплуатацию в 2000–2009 гг., имеют относительную полноту преимущественно 0,6–0,8. В возрастной структуре преобладают древостои возрастом от 80 до 160 лет. По преобладающей породе большая доля лесов представлена кедровниками (*Pinus koraiensis* S. ex Z.) и дубняками (*Quercus mongolica* F. ex L.) с разным участием других пород [3].

Известно, что масса ассимиляционного аппарата темнохвойных превышает таковую у мелколиственных [25]. Хвойные и лиственные породы приспособлены к специфичным лесорастительным условиям и могут занимать разные экологические ниши. Один и тот же тип лесорастительных условий может быть для хвойных более подходящим, чем для лиственных, и наоборот [15]. Хвойные породы бывают более приспособлены к суровым местообитаниям, имеющим замедленный круговорот веществ, что позволяет им ограничивать количество поступающих в хвою ассимилятов. Лиственные породы часто более приспособлены к условиям мягкого климата, обеспечивающего ускоренный круговорот элементов питания, который необходим лиственным для удовлетворения повышенных затрат на ежегодную замену листьев [22]. В этой связи представляет интерес сравнительный анализ биологической продуктивности кедровых и дубовых насаждений Приморья в контексте биоразнообразия.

Целью настоящего исследования было:

- установить, влияет ли доля основной породы в составе древостоя на соотношение биомасс ассимиляционного аппарата кедровых и дубовых насаждений;
- установить, влияет ли породный состав кедровых и дубовых насаждений на соотношение их надземной биомассы;
- разработать модели и таблицы, предназначенные для оценки биомассы кедровых и дубовых насаждений, и выполнить их сравнительный анализ;
- оценить вклады независимых переменных разработанных моделей в объяснение изменчивости биомассы кедровых и дубовых насаждений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования послужили сложные кедровые и дубовые насаждения на юге Дальнего Востока. Определение фитомассы лесных насаждений здесь осложняется многообразием пород лесобразователей (табл. 1). Только в первом ярусе может насчитываться до 15 и более пород [2].

Определение биомассы выполнено на временных пробных площадях, где взято по 7 модельных деревьев каждой породы. Методика работы на пробных площадях и обработки модельных деревьев, а также фактические данные их биомассы опубликованы ранее [4–6]. По каждой породе рассчитаны аллометрические модели вида

$$\ln Pi = a_0 + a_1 \ln D, \quad (1)$$

где Pi – биомасса i -й фракции в абсолютно сухом состоянии, кг (ствола, ветвей, хвои (листья) и надземной, соответственно Ps , Pb , Pf и Pa); D – диаметр ствола на высоте груди, см. Результаты расчета моделей (1) опубликованы ранее [3]. Далее были исполь-

зованы данные перерасчетов деревьев на пробных площадях по ступеням толщины и породному составу. Путем табулирования моделей (1) по ступеням толщины каждой породы на пробной площади и умножения на число деревьев в них получены оценки биомассы на 1 га, показанные в табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На начальном этапе анализа данных табл. 1 проведен подбор оптимальной структуры модели, описывающей зависимость всех фракций надземной биомассы от массообразующих (таксационных) показателей древостоев. Породная принадлежность древостоев обозначена в модели бинарной переменной X [1]. Оказалось, что статистически значимыми в модели являются лишь возраст и запас древостоя. Очевидно, влияние остальных таксационных показателей на изменчивость биомассы опосредуется таким интегральным показателем, как запас. Модель имеет общий вид

$$\ln Pi = a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln M + a_3 X, \quad (2)$$

где Pi – биомасса i -й фракции в абсолютно сухом состоянии, т/га (ствола, ветвей, хвои (листья) и надземной, соответственно Ps , Pb , Pf и Pa); $X = 0$ для кедровников и $X = 1$ для дубняков.

Чтобы установить, влияет ли доля основной породы в составе древостоя на соотношение биомасс ассимиляционного аппарата кедровых и дубовых насаждений, в модель (2) была введена дополнительная независимая переменная, обозначающая долю основной породы в составе древостоя ($Comp$). Эта доля варьирует в кедровниках от 1 до 5 единиц и в дубняках от 2 до 10 единиц (табл. 1). Оказалось, что как переменная ($Comp$), так и синергизм $[(Comp) \times X]$, характеризующий совместное влияние породной принадлежности исходных данных и доли основной породы в составе, были статистически не значимыми ($t = 0,5 - 1,1 < t_{05} = 1,96$). В итоге сделан вывод об отсутствии вклада доли основной породы в объяснение изменчивости биомассы ассимиляционного аппарата кедровых и дубовых насаждений.

Чтобы установить, влияет ли породный состав кедровых и дубовых насаждений на соотношение их надземной биомассы, в модель (2) введена дополнительная независимая переменная n , обозначающая количество пород в составе древостоев. Поскольку зависимость продуктивности от числа пород в составе характеризуется асимптотической кривой (рис. 1), переменная, обозначающая число пород в составе, введена в модель (2) в виде $(1/n)$. В первом варианте учитывали только число основных пород в пологе, которое в кедровниках варьирует от 3 до 5 и в дубняках от 1 до 6 пород. Во втором варианте учитывали общее количество пород, включая те, доля которых в составе меньше единицы (табл. 1), но их вклад в биомассу составляет доли процента. Оказалось, что в обоих случаях переменная $(1/n)$ была статистически не значимой для всех фракций биомассы ($t = 0,1 - 1,3 < t_{05} = 1,96$). В итоге сделан вывод об отсутствии влияния количества пород в составе на соотношение надземной биомассы кедровых и дубовых насаждений.

Таблица 1
Результаты расчета таксационных показателей и надземной биомассы кедровых и дубовых насаждений

№	ПП	Состав	<i>A</i> , лет	<i>D</i> , см	<i>H</i> , м	<i>N</i> , шт./га	<i>G</i> , м ² /га	<i>M</i> , м ³ /га	<i>Ps</i> , т/га	<i>Pb</i> , т/га	<i>Pf</i> , т/га	<i>Pa</i> , т/га
Кедровые насаждения												
1	Ст1	4К2ЛП1П1КЛ1БЖ+Г, Ил, Бх, Яс, Тр, Чм	110	400	24,2	544	26,8	273,0	168,5	48,6	7,0	222,2
2	Ст2	6П2Д1К1ЛП+Бж, Г, Кл, Кп, Я, Бх, Тр	90	42,7	26,2	484	42,4	506,3	245,1	111,4	16,7	376,6
3	Ст3	6П2К1Бж1КЛ+Лп+Г+Я+Бб	102	43,5	26,7	436	37,1	466,5	208,4	67,8	15,5	287,0
4	Ср1	3К2П2Ил2Кл1Гр+Лп, Тр, Бж, Маа, Ор	94	31,1	21,2	448	41,3	418,4	252,3	57,5	11,0	326,2
5	Ср2	3П2К2ЛП1Бж1Кл1Г+Я, Ил, Тр, Чр, Мел, Ор	110	37,8	22,3	504	29,1	283,2	163,8	48,4	8,5	224,5
6	Ср3	3П2К2Бж1Лп1Кл1Г+Ор, Д, Ил, Кол, Ма, Я, Бх, Тр	80	24,2	19,0	752	32,0	311,8	174,0	51,1	8,2	236,4
7	Кас4	2К2КЛ5ЛП1ПЦ+БЖ, Ия, Я, Ор, Бх	160	23,4	18,0	572	30,7	246,9	192,3	45,1	5,8	239,6
8	Кас10	4К2ЕА1П1БЖ2ЛПА+Кл, Г	185	47,3	22,3	866	45,5	354,4	239,1	60,2	12,4	308,7
9	К50	4К5Ос1Бб+Кл, Д, П, Иг	50	18,8	16,3	1096	37,5	353,1	185,7	32,2	8,7	229,2
10	К80	5К1П1Д1Лип1Кл1Ор+Иг, Я, Г	80	27,0	20,6	752	37,9	342,6	186,7	57,9	11,8	256,9
11	К130	5К2Д1Лип1К1Ос+П, Иш, Г	130	22,9	17,9	944	43,4	360,1	237,0	96,9	11,3	345,9
12	К200	5К3П1Лип1Кл+Бб, Д, Я	200	62,8	30,9	856	61,5	642,5	334,4	82,6	23,8	442,4
Дубовые насаждения												
1	32	9Д2Бч	60	17,3	13,8	632	16,0	125,0	97,4	18,2	1,8	120,7
2	33	5Д5Ос+Бч	60	20,8	15,3	912	33,0	328,8	199,5	43,9	4,1	249,1
3	37	10Д	100	24,3	16,6	496	28,1	242,5	193,8	106,7	5,8	299,5
4	312	8Д1Ос1Бб+Кл, Ия, Я, Лп	70	20,9	15,4	824	26,5	223,6	167,8	51,7	4,1	221,1
5	313	3Ор2Д2Лп1Бб1Ос1Кл+Я, Ия, Бх, Пц	40	11,6	10,6	1696	20,6	148,0	99,8	14,1	3,0	118,9
6	2020-2	10Д+Ос+Бч, К	80	14,1	12,8	968	17,4	128,2	104,6	16,0	1,8	125,6
7	2020-3	9Д1К+Бч, Ос	90	16,1	14,8	1408	25,7	182,4	147,7	24,1	3,6	180,7
8	2020-4	10Д+Бч	90	16,3	15,0	1168	26,3	200,4	159,7	26,4	2,9	195,0
9	Д35	4Д3Лип1Ор+К, ББ, Кл, Бхс, Бч, Я, Пц, Ил, Ос	35	12,0	14,6	1876	16,8	173,8	95,3	13,4	2,8	113,3
10	Д45	10 Д+Лип, ББ, Кл, Ия	45	22,7	20,0	1004	27,4	291,4	185,6	53,2	4,5	245,4
11	Д90	7Д1БЧ1ББ1Ос+Ия, Кл, Лип, К, Олх, Маа	90	21,1	18,1	532	21,6	231,0	138,9	38,6	3,2	181,0
12	Д140	6Д3Лип1Кл+Пц, Бч, ед Ия, Маа, Кп	140	24,8	14,7	544	23,1	230,4	202,1	88,5	5,2	294,8
13	Кас8	7Д1Бч2Ос+Бб, Кл, Я, Пц, Лп, Ия	95	21,5	14,9	864	38,3	279,1	208,1	56,2	4,6	267,9
14	Кас2	4Д4Лп1Яс1Пц+Кл, Ия, Бб, Бх, Ол, Ос	110	34,6	21,7	530	34,1	334,8	230,5	101,3	6,9	332,5

Обозначения: *A* – средний возраст; *D* – средний диаметр; *H* – средняя высота; *N* – густота древостоя; *G* – сумма площадей сечений; *M* – запас древостоя; *Ps*, *Pb*, *Pf* и *Pa* – соответственно фитомасса стволов, ветвей, хвой (листвы) и надземная; К – кедр корейский; Д – дуб монгольский; П – пихта цельнолистная; Я – ясень маньчжурский; Лип – липы амурская и маньчжурская; Кл – клен мелколистный; Клз – клен ложнозибольдов; Бж – береза ребристая; Ия – ильм японский; Маа – маакия амурская; Г – граб сердцелистный; Ос – осина; Бб – береза плосколистная; Чм – черемуха Мака; Е – ель аянская; Бх – бархат амурский; Кп – калопанакс семилопастный; Ол – ольха волосистая; Ор – орех маньчжурский; Бч – береза даурская; Клм – клен моно.

Таким образом, биомасса кедровников и дубняков Приморья определяется только независимыми переменными, включенными в структуру модели (2). При расчете модели применена поправка ее свободного члена на логарифмическое преобразование [11]. Характеристика модели (2) для фракций надземной биомассы приведена в табл. 2.

Программа Statgraphics-19 [24] дает возможность оценить вклад независимых переменных в объяснение изменчивости зависимых переменных моделей (2). Мы видим в табл. 3, что средние значения вкладов таксационных показателей древостоев, а именно, возраста и запаса, в объяснение изменчивости фракций биомассы составляют соответственно 24 и 55 %. В целом, таксационные показатели имеют вклад 79 %, а остальные 21 % приходятся на принадлежность исходных данных к кедровникам или дубнякам.

На основе моделей (2) можно проследить различие кедровников и дубняков по биомассе в их возрастной динамике. Для этого рассчитано вспомогательная зависимость запаса от возраста древостоев:

$$\ln M = 5,0941 + 0,1827 \ln A - 0,4653 X; \\ \text{adj}R^2 = 0,439; SE = 0,30, \quad (3)$$

согласно которой при одном и том же возрасте запас дубняков существенно (на уровне $p < 0,001$) ниже, чем кедровников, и разница составляет 37 %. Зависимости (3) и (2) представляют систему связанных уравнений [10], зависимая переменная первого из которых входит во второе в качестве одной из независимых переменных. Задавая значения возраста, последовательно табулируем зависимости (3) и (2) и получаем таблицу возрастной динамики биомассы кедровых и дубовых насаждений (табл. 4).

Таблица 2
Результаты расчета моделей (1)

Зависимая переменная	Регрессионные коэффициенты модели (1)				$\text{adj}R^2$	SE
	a_0	a_1	a_2	a_3		
$\ln P_s$	-0,0361	0,2574	0,7092	0,1574	0,919	0,09
$\ln P_b$	-5,9259	0,6012	1,2294	0,4465	0,712	0,33
$\ln P_f$	-4,9943	0,1552*	1,1297	-0,4133	0,936	0,17
$\ln P_a$	-0,5761	0,3098	0,8099	0,1985	0,899	0,12

Примечание: $\text{adj}R^2$ – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных; SE – стандартная ошибка уравнения. Регрессионные коэффициенты в (2) достоверны на уровнях $p < 0,01$ и $p < 0,001$. Звездочкой помечена переменная, значимая на уровне $p < 0,10$ ($t = 1,70 > t_{10} = 1,64$). Соотношение фактических и расчетных по модели (2) значений биомассы древостоев, показанное на рис. 2, свидетельствует о высокой степени адекватности моделей и об отсутствии корреляции остатков.

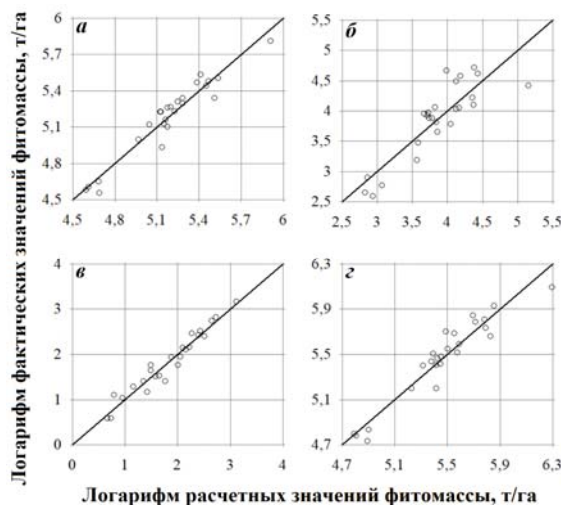


Рис. 2. Соотношение фактических и расчетных значений по модели (2):
a, б, в, г – соответственно P_s, P_b, P_f, P_a

Таблица 3
Вклад независимых переменных модели (2) в объяснение изменчивости зависимых переменных, %

Зависимая переменная	Независимые переменные модели (2)			
	$\ln A$ (I)	$\ln M$ (II)	I+II	X (III)
$\ln P_s$	27	57	84	16
$\ln P_b$	31	47	78	22
$\ln P_f$	11	61	72	28
$\ln P_a$	28	55	83	17
$M \pm \sigma^{(*)}$	$24,3 \pm 9,0$	$55,0 \pm 5,9$	$79,3 \pm 5,5$	$20,7 \pm 5,5$

(*) $M \pm \sigma$ – среднее значение $\pm$ стандартное отклонение.

Таблица 4
Возрастная динамика кедровых и дубовых насаждений Приморья

А, лет	Запас, м ³ /га		Биомасса, т/га							
	кедровников	дубняков	кедровников				дубняков			
			<i>Ps</i>	<i>Pb</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	<i>Ps</i>	<i>Pb</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>
40	319,9	200,9	149,0	29,5	8,1	188,3	174,4	46,0	5,4	229,7
80	363,1	228,0	194,9	52,2	10,4	258,7	228,1	81,6	6,9	315,5
120	391,0	245,5	228,0	73,0	12,1	311,4	266,8	114,1	8,0	379,8
160	412,1	258,8	254,8	92,6	13,4	355,3	298,3	144,7	8,9	433,3
200	429,3	269,6	277,8	111,3	14,5	393,5	325,2	173,9	9,6	479,9

Согласно табл. 4, на всем возрастном диапазоне происходит монотонное увеличение всех фракций надземной биомассы как в кедровниках, так и в дубняках. При этом в дубняках по отношению к кедровникам масса стволов больше на 17, масса ветвей на 53, надземная на 20 %, а масса ассимиляционного аппарата, напротив, меньше на 33 %. Таким образом, дубняки при меньшей массе ассимилирующих органов имеют большую массу ствола и ветвей. По-видимому, это происходит вследствие более высокой эффективности работы ассимиляционного аппарата дубняков, притом, что условия произрастания дубовых насаждений хуже, чем кедровых: средняя высота первых при одном и том же возрасте на 24 % ниже, чем вторых (различие значимо на уровне $p < 0,001$). Если масса стволов в дубняках на 17 % больше, чем в кедровниках, то запас, напротив, меньше на 37 %, по-видимому, за счет большей плотности древесины у дуба по сравнению с кедром.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по материалам 12 и 14 пробных площадей, заложенных соответственно в кедровниках и дубняках, сделан вывод об отсутствии значимого вклада доли основной породы в объяснение изменчивости биомассы ассимиляционного аппарата кедровых и дубовых насаждений, а также об отсутствии влияния обилия пород (количества пород в составе) на соотношение надземной биомассы кедровых и дубовых насаждений.

Поскольку для установления статистически значимой асимптотической положительной связи продуктивности с обилием видов от 10 до 283 на региональных уровнях нашим предшественникам потребовалось от 440 до 25 тыс. пробных площадей, а для установления той же связи на глобальном уровне при количестве 8737 видов потребовалось 777 тыс. пробных площадей, то отсутствие аналогичной связи в кедровниках и дубняках может быть объяснено недостаточным объемом фактического материала (при наличии 26 пробных площадей в нашем исследовании слишком мала доля влияния обилия на биомассу в общем шуме остаточной дисперсии).

Модели биомассы (т/га), включающие в качестве независимых переменных возраст, запас и породную принадлежность данных в виде бинарной переменной, объясняют от 71 до 94 % общей изменчивости разных фракций биомассы. При этом вклады возраста и запаса в объяснение изменчивости биомассы составили соответственно 24 и 55 %, а остальные 21 %

приходятся на принадлежность исходных данных к кедровникам или дубнякам.

Сравнение биомассы кедровников и дубняков в возрастной динамике показало, что в дубняках по отношению к кедровникам масса стволов больше на 17, масса ветвей на 53, надземная на 20 %, а масса ассимиляционного аппарата, напротив, меньше на 33 %. Таким образом, дубняки при меньшей массе ассимилирующих органов имеют большую массу ствола и ветвей. По-видимому, это происходит вследствие более высокой эффективности работы ассимиляционного аппарата дубняков.

Полученные результаты могут быть полезны при оценке углерод депонирующей способности хвойно-широколиственных лесов Приморья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М. : Статистика, 1973. 392 с.
2. Иванов А.В., Варенцов В.Е., Приходько О.Ю., Посохова Л.А. Представители рода *Carabus* как индикаторы биологического разнообразия хвойно-широколиственных лесов // Вестник ИРГСХА. 2015. № 69. С. 58–65.
3. Иванов А.В., Касаткин А.С., Мудрак В.П., Замолдчиков Д.Г. Надземная фитомасса древостоев хвойно-широколиственных лесов Южного Приморья // Лесоведение. 2018. № 6. С. 454–463.
4. Касаткин А.С., Жанабаева А.С., Акимов Р.Ю. и др. Надземная фитомасса и квалитетрия некоторых древесных пород южного Сихотэ-Алиня // Эко-потенциал. 2015а. № 1 (9). С. 41–50. URL: <https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/4052/1/Kasatkin.pdf>.
5. Касаткин А.С., Жанабаева А.С., Пауков Д.В. и др. Надземная фитомасса деревьев в лесах Южного Сихотэ-Алиня. Сообщение 2 // Эко-потенциал. 2015б. № 4 (12). С. 28–31. URL: <https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/5226/1/Kasatkin.pdf>.
6. Касаткин А.С., Жанабаева А.С., Иванов А.В. и др. Надземная фитомасса деревьев в лесах Южного Сихотэ-Алиня. Сообщение 3 // Эко-потенциал. 2016. № 1 (13). С. 32–36. URL: <https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/5516/1/Kasatkin.pdf>.
7. Рахтеенко И.Н., Мартинович Б.С., Крот Л.А., Кабашникова Г.И. Взаимоотношения древесных пород в чистых и смешанных насаждениях // Эколого-физиологические основы взаимодействия растений в фитоценозах / ред. Н.Д. Нестерович. Минск : Наука и техника, 1976. С. 23–94.

8. Усольцев В.А. Биоразнообразие в экосистемах: краткий обзор проблемы // *Эко-потенциал*. 2019а. № 1 (25). С. 9–47. URL: <http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/8123/1/eko-19-01.pdf>.

9. Усольцев В.А. Биоразнообразие и биопродуктивность лесов в контексте климатогенной биогеографии // *Эко-потенциал*. 2019б. № 1 (25). С. 48–115. URL: <http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/8124/1/eko-19-02.pdf>.

10. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. М.: Статистика, 1977. 200 с.

11. Baskerville G.L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // *Canadian Journal of Forest Research*. 1972. Vol. 2. P. 49–53.

12. Caspersen J.P., Pacala S.W. Successional diversity and forest ecosystem function // *Ecological Research*. 2001. Vol. 16. Iss. 5. P. 895–903.

13. Forrester D.I., Pretzsch H. Tamm Review: On the strength of evidence when comparing ecosystem functions of mixtures with monocultures // *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 356. P. 41–53.

14. Fürst C., Makeschin F., Eisenhauer D.-R. Sustainable methods and ecological processes of a conversion of pure Norway and Scots pine stands into ecologically adapted mixed stands // *Contributions to Forest Sciences*. 2004. Vol. 20. P. 1–35.

15. Givnish T.J. Adaptive significance of evergreen vs. deciduous leaves: solving the triple paradox // *Silva Fennica*. 2002. Vol. 36. P. 703–743.

16. Hooper D., Vitousek P. The effects of plant composition and diversity on nutrient cycling // *Ecological Monographs*. 1997. Vol. 68. P. 121–149.

17. Kinzig A.P., Pacala S.W., Tilman D. The functional consequences of biodiversity. Empirical progress and theoretical extensions (MPB-33). Princeton University Press, 2002. 392 p.

18. Liang J., Zhou M., Tobin P.C. et al. Biodiversity influences plant productivity through niche efficiency // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2015. Vol. 112. P. 5738–5743.

19. Liang J., Crowther T.W., Picard N. et al. Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests // *Science*. 2016. Vol. 354. Article 6309.

20. Nunes L., Lopes D., Rego F., Gower S. Aboveground biomass and net primary production of pine, oak and mixed pine-oak forests on the Vila Real district, Portugal // *Forest Ecology and Management*. 2013. Vol. 305. P. 38–47.

21. Paquette A., Messier C. The effect of biodiversity on tree productivity: From temperate to boreal forests // *Global Ecology and Biogeography*. 2011. Vol. 20. P. 170–180.

22. Scherer-Lorenzen M. Biodiversity and ecosystem functioning: basic principles // *Biodiversity: structure and function. Encyclopedia of life support systems*. Vol. 1. W. Barthlott, K.E. Linsenmair, S. Porembski (eds.). Oxford, UK, EOLSS, 2005. P. 68–88.

23. Schulze D. Plant life forms and their carbon, water and nutrient relations // *Physiological Plant Ecology II*. O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, H. Ziegler (eds.). Springer-Verlag, Berlin, 1982. P. 615–676.

24. Statgraphics-19. Statgraphics Technologies, Inc. The Plains, Virginia, 2022. URL: <http://www.statgraphics.com/>.

25. Usoltsev V.A. Single-tree biomass data for remote sensing and ground measuring of Eurasian forests: digital version. The second edition, enlarged. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University; Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9647>.

REFERENCES

1. Draper N., Smith G. Applied regression analysis. M.: Statistika, 1973. 392 p.

2. Ivanov A.V., Varentsov V.E., Prihodko O.Yu., Posokhova L.A. Representatives of the genus *Carabus* as indicators of biological diversity of coniferous-deciduous forests // *Bulletin of the IrGSHA*. 2015. No. 69. P. 58–65.

3. Ivanov A.V., Kasatkin A.S., Mudrak V.P., Zamolodchikov D.G. Aboveground phytomass of coniferous stands-broad-leaved forests of Southern Primorye // *Lesovedenie (Forest Science)*. 2018. No. 6. P. 454–463.

4. Kasatkin A.S., Zhanabayeva A.S., Akimov R.Yu. et al. Aboveground phytomass and qualimetry of some tree species of southern Sikhote-Alin // *Eco-potential*. 2015a. No. 1 (9). P. 41–50. (<https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/4052/1/Kasatkin.pdf>).

5. Kasatkin A.S., Zhanabaeva A.S., Paukov D.V. et al. Aboveground phytomass of trees in the forests of Southern Sikhote-Alin. Message 2 // *Eco-potential*. 2015b. No. 4 (12). P. 28–31. (<https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/5226/1/Kasatkin.pdf>).

6. Kasatkin A.S., Zhanabaeva A.S., Ivanov A.V. et al. Aboveground phytomass of trees in the forests of Southern Sikhote-Alin. Message 3 // *Eco-potential*. 2016. No. 1 (13). P. 32–36. (<https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/5516/1/Kasatkin.pdf>).

7. Rakhtenko I.N., Martinovich B.S., Krot L.A., Kalashnikova G.I. Relationships of tree species in pure and mixed stands // *Ecological and physiological bases of plant interaction in phytocenoses* / Ed. N.D. Nesterovich. Minsk: Science and Technology, 1976. P. 23–94.

8. Usoltsev V.A. Biodiversity in ecosystems: a brief overview of the problem // *Eco-potential*. 2019a. No. 1 (25). P. 9–47 (<http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/8123/1/eko-19-01.pdf>).

9. Usoltsev V.A. Biodiversity and forest bioproductivity in the context of climatogenic biogeography // *Eco-potential*. 2019b. No. 1 (25). P. 48–115 (<http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/8124/1/eko-19-02.pdf>).

10. Chetyrkin E.M. Statistical methods of forecasting. M.: Statistics, 1977. 200 p.

11. Baskerville G.L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // *Canadian Journal of Forest Research*. 1972. Vol. 2. P. 49–53.

12. Caspersen J.P., Pacala S.W. Successional diversity and forest ecosystem function // *Ecological Research*. 2001. Vol. 16. Iss. 5. P. 895–903.

13. Forrester D.I., Pretzsch H. Tamm Review: On the strength of evidence when comparing ecosystem functions of mixtures with monocultures // *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 356. P. 41–53.

14. Fürst C., Makeshin F., Eisenhauer D.-R. Sustainable methods and ecological processes of a conversion of pure Norway and Scots pine stands into ecologically adapted mixed stands // *Contributions to Forest Sciences*. 2004. Vol. 20. P. 1–35.
15. Givnish T.J. Adaptive significance of evergreen vs. deciduous leaves: solving the triple paradox // *Silva Fennica*. 2002. Vol. 36. P. 703–743.
16. Hooper D., Vitousek P. The effects of plant composition and diversity on nutrient cycling // *Ecological Monographs*. 1997. Vol. 68. P. 121–149.
17. Kinzig A.P., Pacala S.W., Tilman D. The functional consequences of biodiversity. Empirical progress and theoretical extensions (MPB-33). Princeton University Press, 2002. 392 p.
18. Liang J., Zhou M., Tobin P.C. et al. Biodiversity influences plant productivity through niche efficiency // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2015. Vol. 112. P. 5738–5743.
19. Liang J., Crowther T.W., Picard N. et al. Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests // *Science*. 2016. Vol. 354. Article 6309.
20. Nunes L., Lopes D., Rego F., Gower S. Aboveground biomass and net primary production of pine, oak and mixed pine-oak forests on the Vila Real district, Portugal // *Forest Ecology and Management*. 2013. Vol. 305. P. 38–47.
21. Paquette A., Messier C. The effect of biodiversity on tree productivity: From temperate to boreal forests // *Global Ecology and Biogeography*. 2011. Vol. 20. P. 170–180.
22. Scherer-Lorenzen M. Biodiversity and ecosystem functioning: basic principles // *Biodiversity: structure and function. Encyclopedia of life support systems*. Vol. 1. W. Barthlott, K.E. Linsenmair, S. Porembski (eds.). Oxford, UK, EOLSS, 2005. P. 68–88.
23. Schulze D. Plant life forms and their carbon, water and nutrient relations // *Physiological Plant Ecology II*. O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, H. Ziegler (eds.). Springer-Verlag, Berlin, 1982. P. 615–676.
24. Statgraphics-19. Statgraphics Technologies, Inc. The Plains, Virginia, 2022. <http://www.statgraphics.com/>.
25. Usoltsev V.A. Single-tree biomass data for remote sensing and ground measuring of Eurasian forests: digital version. The second edition, enlarged. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University; Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020. (<https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9647>).

© Иванов А. В., Усольцев В. А.,
Цепордей И. С., Касаткин А. С., 2023

Поступила в редакцию 20.09.2022
Принята к печати 10.01.2023

ПОСТПИРОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕСЧАНЫХ ПОДЗОЛОВ В СОСНЯКАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

П. А. Тарасов¹, В. А. Иванов¹, Г. А. Иванова², И. Н. Безкоровайная³

¹Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31

E-mail: avyatar@yandex.ru

²Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН

Российская Федерация, 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

E-mail: @ksc.krasn.ru

³Сибирский федеральный университет

Российская Федерация, 660041, Красноярск, просп. Свободный, 79

E-mail: birinik-2011@yandex.ru

Приведены результаты многолетних исследований в пройденных экспериментальными низовыми пожарами лишайниково-зеленомошных сосняках, произрастающих на песчаных подзолах. Выявлены изменения гидротермических параметров подзолов, обусловленные пирогенной и постпирогенной трансформацией различных компонентов лесных биогеоценозов. Наряду с общим характером данных изменений, выявлены некоторые различия степени их проявления на разных участках, обусловленные разной интенсивностью пожаров.

Сделан вывод, что в результате пирогенного воздействия нарушается сложившийся материально-энергетический обмен между атмосферой и почвой, который является основным процессом формирования и развития последней. Следовательно, лесные пожары являются мощным и активно действующим фактором современного почвообразования.

Ключевые слова: сосняки лишайниково-зеленомошные, песчаные подзолы, экспериментальные низовые пожары, лесная подстилка, температура и влажность почвы.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 1, P. 46–55

POSTPYROGENIC CHANGES OF HYDROTHERMAL PARAMETERS OF SANDY PODZOLS IN THE PINE FORESTS OF THE SOUTHERN TAIGA

P. A. Tarasov¹, V. A. Ivanov¹, G. A. Ivanova², I. N. Bezkorovaynaya³

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

E-mail: avyatar@yandex.ru

²V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS

50/28, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

E-mail: @ksc.krasn.ru

³Siberian Federal University

79, Svobodny av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

E-mail: birinik-2011@yandex.ru

The results of long years of studies in lichen-green moss pine forests growing on sandy podzols passed by experimental grass-roots fires are presented. Changes in hydrothermal parameters of podzols caused by pyrogenic and post-pyrogenic transformation of various components of forest biogeocenoses were revealed. Along with the general nature of these changes, some differences in the degree of their manifestation in different areas due to different intensity of fires were revealed.

It is concluded that as a result of pyrogenic effects, the existing material and energy exchange between the atmosphere and the soil is disrupted, which is the main process of formation and development of the latter. Consequently, forest fires are a powerful and active factor of modern soil formation.

Keywords: lichen-green mossy pine forests, sandy podzols, experimental low fires, forest litter, soil temperature and humidity.

ВВЕДЕНИЕ

На территории Средней Сибири ежегодно возникает сотни лесных пожаров, а пройденная ими площадь может составлять тысячи гектаров. Это дает основание рассматривать лесные пожары в качестве мощного и активно действующего фактора, оказывающего сложное и многоплановое влияние на формирование почвенного покрова лесных биогеоценозов.

Более сорока лет назад А. П. Сапожников (1979) ввел в практику почвоведения термин «пирогенез лесных почв», под которым понимается коренное или частичное изменение их первоначальных свойств и состава или соотношения элементарных почвенных процессов, как в результате пиролиза, так и под влиянием косвенных причин, обусловленных послепожарными преобразованиями внутри биогеоценоза. При этом А. П. Сапожников (1976) отмечал, что конкретный характер и степень пирогенных изменений почв, с одной стороны, определяются географическими, лесорастительными и почвенными условиями, а с другой – видом и интенсивностью пожаров, их периодичностью и сезонной приуроченностью.

Позднее это нашло подтверждение в целом ряде работ других исследователей (Попова, 1997; Азотный фонд..., 2007; Богородская и др., 2005; Краснощеков, 2004; Мажитова, 2000; Пирогенная..., 2005; Лукина и др., 2008; Цибарт, Геннадиев, 2008; Постпирогенные..., 2011; Воздействие..., 2014; Сукцессия..., 2017; Influence of fire..., 2021), которые выявили сложный и разносторонний характер пирогенного воздействия на почву, приводящего к заметным изменениям ее важнейших свойств, что, в свою очередь, соответствующим образом влияет на рост и развитие пройденных пожарами древостоев, а также на протекающие в них лесовозобновительные процессы (Прокушкин и др., 2000; Цветков и др., 2001; Экологическая..., 2001; Санников и др., 2004; Кукавская, Иванова, 2006; Соколов, Фарбер, 2006; Тарасов и др., 2012; Воздействие..., 2014).

Активное исследование пирогенного влияния на лесные экосистемы в последние десятилетия несколько изменило отношение к данной проблеме. Большинство ученых уже не ограничиваются только оценкой воздействия пожаров на почву и растительный покров, а стремятся проследить последующие изменения в биогеоценозе, которые по своим количественным характеристикам и продолжительности нередко не только не уступают непосредственному воздействию огня, но и превосходят его (Попова, 1979, 1982, 1997; Экологическая..., 2001; Краснощеков, 2004; Воздействие..., 2014 и др.).

Среди общих черт пирогенной трансформации почвенных условий большое значение имеет изменение гидротермического режима, что отражается не только на протекающих в почвах физических, химических и биологических процессах, но и на росте древостоев и ходе лесовозобновления. Это определило большой интерес к изучению гидротермических условий, формирующихся в почвах после лесных пожаров.

Известен целый ряд работ о температуре и влажности почв гарей, опубликованных по результатам

исследований, проведенных во многих регионах страны: в Якутии (Поздняков, 1953, 1963; Степанов, 1988; Тарабукина, Савинов, 1990), на Дальнем Востоке (Шешуков, 1979; Шешуков и др., 1992; Цибарт, Геннадиев, 2008), в различных частях бассейна озера Байкал (Евдокименко, 1979, 1996, 2014; Стефин, 1981; Краснощеков, 2004), Приангарье (Попова, 1982, 1997), в Эвенкии (Абаимов и др., 1996; Экологическая..., 2001; Прокушкин и др., 2000; Матвеев, Матвеев, 2006; Цветков и др., 2001), в Западной Сибири (Санников, Санникова, 1985; Санников и др., 2004), на Алтае (Беховых, 2002; Особенности..., 2002) и на Колыме (Мажитова, 2000).

Анализ данных работ позволяет сделать вывод не только о некоторых общих закономерностях постпирогенной трансформации почвенных гидротермических условий, но и о наличии определенных различий в ее характере и степени. Последние, могут быть обусловлены соответствующими различиями в климате, рельефе, составе насаждений, генетических особенностях и исходных свойствах исследуемых почв, виде и интенсивности пирогенного воздействия. Учитывая это, а также слабую изученность данного вопроса применительно к южнотаежным соснякам, основная цель наших исследований заключалась в оценке характера и степени постпирогенной трансформации их почвенных гидротермических условий.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в Нижнем Приангарье, в насаждениях Невонского лесничества, территория которого относится к южной тайге (Средняя Сибирь, 1964). Изучаемые объекты были представлены тремя граничащими между собой участками чистых приспевающих (90 лет) сосняков лишайниково-зеленомошной группы, имеющих следующие географические координаты – 58° 42' северной широты и 98° 25' восточной долготы.

С целью изучения пирогенного влияния на различные компоненты насаждений один участок использовался в качестве контрольного, а на двух других в середине июня 2002 г. были смоделированы экспериментальные низовые пожары. Они представляли собой контролируемые выжигания, при которых зажигание проводили по направлению ветра от одной из сторон экспериментального участка. При этом моделировалось распространение фронтальной кромки пожара. Во время экспериментов использованы стандартные, а также специально разработанные методики (McRae et al., 1979; Blank, Simard, 1983). При расчете интенсивности пожара (Byram, 1959; Alexander, 1982) использованы данные по теплотворной способности отдельных видов лесных горючих материалов Г. А. Амосова (1958) и Н. П. Курбатского (1962). Скорость распространения кромки пожара определяли с помощью электронных таймеров.

Данные параметры поведения смоделированных пожаров, а также таксационные показатели древостоев на экспериментальных участках, определенные методами перечислительной таксации (Сукачев, Зонн, 1961), приведены в табл. 1.

Таблица 1

Таксационные показатели сосновых древостоев и параметры пожаров

Участок	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Полнота	Класс бонитета	Интенсивность пожара, кВт/м	Скорость распространения кромки пожара, м/мин.
1	25,2	22,1	1,0	III	средняя, 3195	3,0
2	26,7	22,7	0,8	III	высокая, 4876	7,3
Контроль	25,4	22,3	0,8	III	–	–

Величину послепожарного отпада деревьев определяли, обследуя состояние ста деревьев по следующим показателям: ожог кроны, образование пожарной подсушины, обгорание корневых лап, высота нагара, степень заселенности насекомыми. Результаты данных исследований, проводимых в течение пяти лет (с 2003 по 2008 гг.), выявили определенную зависимость величины отпада деревьев от интенсивности пожара. Так, если на участке № 1 процент отпавших деревьев возрос с 9,8 до 14,3, то на участке № 2 – с 55,7 до 70,1.

С целью изучения морфологических признаков почв и их полевой диагностики в наиболее характерных местах экспериментальных участков в соответствии с общепринятыми методиками (Практикум ..., 1980) были заложены почвенные разрезы. Кроме того, учитывая большую роль живого напочвенного покрова в почвообразовании, в синузиях с преобладанием зеленых мхов и лишайников были сделаны прикопки до глубины 50 см.

Анализ морфологических признаков разрезов и прикопок выявил относительно однородный характер почвенного покрова экспериментальных участков, сформированного исключительно иллювиально-железистыми песчаными подзолами (Классификация..., 2004), практически идентичными почвам среднетаежных сосняков (Воздействие..., 2014). Подзолы имеют довольно мощный профиль, отчетливо дифференцированный на следующие горизонты: О – Е – BF1 – BF2 – BF2C – С.

Ниже приводится описание разреза, заложенного на контрольном участке, которое наиболее полно характеризует морфологические признаки данных почв.

О 0–3 см. Плотная бурая лесная подстилка, густо переплетена гифами грибов. По степени трансформации составляющих ее органических остатков неоднородна, а в нижней части содержатся многочисленные включения частиц угля. Граница со следующим горизонтом ровная, переход резкий.

Е 3–18 см. Яркий выраженный подзолистый горизонт, белесый, песчаный, бесструктурный, рыхлого сложения, влажный. Содержит многочисленные включения корней и мелких частиц угля. Граница со следующим горизонтом в виде потеков, переход ясный.

BF1 18–33 см. Верхний подгоризонт иллювиально-железистого горизонта. Охристого цвета, с белесоватыми пятнами, влажный, супесчаный, бесструктурный, уплотненный. Содержит немногочисленные включения корней, частиц угля и мелкого щебня. Постепенно переходит в подгоризонт BF2.

BF2 33–47 см. Нижняя часть иллювиально-железистого горизонта. Более светлая, влажная, песчаная, бесструктурная, уплотненная. Содержит еди-

ничные включения корней и мелкого щебня. Переход в следующий горизонт прослеживается плохо.

BF2C 47–70 см. Переходный от иллювиально-железистого к почвообразующей породе. Белесый, со светло-желтыми потеками, влажный, песчаный, бесструктурный, уплотненный. Переход в следующий горизонт прослеживается плохо.

С 70–100 см и глубже. Почвообразующая порода, желтовато-белесая, с единичными новообразованиями соединений железа в виде пятен ярко желтого цвета, влажная, песчаная, бесструктурная, плотная.

Практически все горизонты описанного профиля несут следы прошедших лесных пожаров в виде включений частиц угля и образованных от них нисходящим током воды темных пятен и вертикальных полос. Отмеченная приуроченность основной массы физиологически активных корней к верхней полуметровой толще указывает на главенствующую роль атмосферных осадков в режиме увлажнения данных почв и их автоморфность.

Среди общих черт пирогенной трансформации почвенных условий большое значение имеют изменения гидротермического режима, что отражается не только на почвообразовательных процессах, но и росте древостоев и ходе лесовозобновления. Для оценки данных изменений использовались стандартные методы. Так, альбедо участков определяли относительно поверхности их подстилки с помощью походного альбедометра М-69. Исследования температуры почвы проводили с помощью комплекта термометров Саввинова, а также срочного, минимального и максимального термометров. Влажность почвы определяли термовесовым методом (Практикум..., 1980; Растворова, 1983).

Из всех почвенных горизонтов наибольшему воздействию пожаров подвергается лесная подстилка, что обусловлено ее поверхностным расположением и органогенной природой. Результатом этого становится заметное изменение основных характеристик подстилки, и прежде всего, мощности, плотности и запаса (Пирогенная..., 2005; Краснощеков и др., 2007; Тарасов и др., 2008; Постпирогенные..., 2011; Воздействие..., 2014). Для их определения использовалась металлическая рамка размером 25×20 см, с помощью которой в десяти точках каждого участка отбирались образцы подстилки и измерялась ее мощность. В лаборатории образцы высушивали при температуре 90–100 °С до абсолютно сухой массы и взвешивали. Плотность подстилки вычисляли делением массы ее образца на объем, рассчитываемый, как произведение площади рамки (500 см²) на мощность подстилки (Растворова, 1983). Используя найденные значения

указанных характеристик подстилки, ее запас вычисляли по следующей формуле:

$$M = 10000d_v h,$$

где M – запас подстилки, $г/м^2$; d_v – плотность подстилки, $г/см^3$; h – мощность подстилки, см.

Помимо выполнения данных исследований, методом прокалывания образцов подстилки определяли содержание в ней органического вещества (Практикум..., 1980). Полученные результаты обрабатывали, используя стандартную программу «Статистика».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования, проведенные после пожаров в сосняках лишайниково-зеленомошных, выявили существенную пирогенную трансформацию подстилки, что обусловлено спецификой данного горизонта, резко отличающего его от остальной почвенной толщи (Карпачевский, 1981, 1983; Богатырев, 1996). В большей мере это проявилось на участке № 2, где в результате высокоинтенсивного пожара сгорело более половины содержащегося в подстилке органического вещества, а мощность и запас уменьшились соответственно почти в 3 и 1,7 раза (табл. 2).

В то же время, плотность подстилки, напротив, почти на 60 % возросла. Это объясняется сгоранием менее плотных верхних слоев подстилки и появлением в ее составе более тяжелых компонентов в виде частиц угля и золы (Стефин, 1981; Попова, 1982; Аткин, Аткина, 1985; Пирогенная..., 2005; Краснощеклов и др., 2007; Тарасов и др., 2008; Постпирогенные..., 2011; Воздействие..., 2014; Influence of fire..., 2021).

На участке № 1, где интенсивность пожара была средней, основные параметры подстилки, от которых во многом зависят ее тепловые и водные свойства, изменились в несколько меньшей степени (табл. 1). Следовательно, как и в близких по лесорастительным условиям среднетаежных сосняках, интенсивность пожара является главным фактором, определяющим степень пирогенной трансформации подстилки, что, в свою очередь, сказывается на ее тепловых и водных свойствах.

Прежде всего, это проявляется в изменении теплоотражательной способности и теплопроводности, а также влагоемкости подстилки, оказывающих заметное влияние на процессы тепло- и влагообмена между почвой и атмосферой. Все это, в сочетании с усилением инсоляции, обусловленном сгоранием живого напочвенного покрова и послепожарного отмирания значительной части древостоя, приводит к существенным изменениям гидротермических условий деятельного слоя почвы, которые во многом определяют ход почвообразовательного и лесовозобновительного процессов (Поздняков, 1953, 1963; Сапожников, 1976; Евдокименко, 1979, 1996, 2014; Сан-

ников, Санникова, 1985; Санников и др., 2004; Тарабукина, Савинов, 1990; Абаимов и др., 1996, 2001; Цветков и др., 2001; Беховых, 2002; Особенности..., 2002; Пирогенная..., 2005; Азотный..., 2007; Матвеев, Матвеев, 2006; Тарасов и др., 2008; Постпирогенные..., 2011; Воздействие..., 2014; Сукцессия..., 2017; Influence of fire..., 2021).

Так, вследствие усиления инсоляции и почти двукратного (с 18–20 до 10–13 %) снижения альбедо выжженных участков, максимальная температура поверхности почвы здесь в течение всего периода наблюдений была заметно выше, чем на контрольном участке. В наибольшей степени это проявилось на участке № 2, где из-за гибели более 70 % деревьев инсоляция возросла сильнее. В результате этого максимальные температуры поверхности в течение самого жаркого месяца июля, в зависимости от погоды его различных дней, здесь составляли от 28,5 до 54,5 °C при 17,2–22,5 °C на контроле.

Большее поглощение лучистой энергии солнца поверхностью пройденных пожарами участков, в сочетании с известным постпирогенным увеличением теплопроводности подстилки (Евдокименко, 1979, 1996; Тарасов и др., 2008; Постпирогенные..., 2011; Воздействие..., 2014) способствовали лучшему прогреванию минеральных слоев почвы. Через год после пожара это наиболее заметно проявляется на пройденном высокоинтенсивным пожаром участке № 2 (рис. 1).

При этом регулярные температурные наблюдения, проведенные в нескольких его точках в течение июля 2008 г., обнаружили значительную длительность данного эффекта, что подтверждают представленные в табл. 3 среднемесячные температуры почвы.

Анализ табл. 3 указывает на высокую достоверность различий данных показателей ($p < 0,05$) (Дмитриев, 1995) и их постепенное увеличение с глубиной (от 1,7 °C – на 5 см до 3,1 °C – на 30 см). Последнее связано с высокой теплопроводностью песчаных подзолов (Воронин, 1986; Гаель, Смирнова, 1999), что, с одной стороны, способствует определенному охлаждению самого верхнего 5-сантиметрового слоя в ночное время, а с другой – активному передвижению тепла вниз по профилю.

Более полно и наглядно временную динамику температуры исследуемых слоев почвы в июле 2008 г. иллюстрируют термоизоплеты на рис. 2. Характер их расположения отражает определенную взаимосвязь между температурами воздуха и почвы, а также более высокие значения последних на пройденном высокоинтенсивным пожаром участке № 2. Здесь в течение большей части июля температура, близкая 14 °C, наблюдалась на глубине 30 см, тогда как на контрольном участке соответствующая термоизоплета практически не углубляется ниже 10 см.

Таблица 2
Основные характеристики лесной подстилки

Участок	Интенсивность пожара	Мощность, см	Содержание органического вещества, %	Плотность, $г/см^3$	Запас, $г/м^2$
1	средняя	1,3±0,24	47,8±4,22	0,102±0,0087	1298±247,2
2	высокая	1,0±0,15	35,3±3,67	0,115±0,0106	1148±219,8
Контроль	–	2,8±0,45	79,6±2,18	0,073±0,0054	1863±135,1

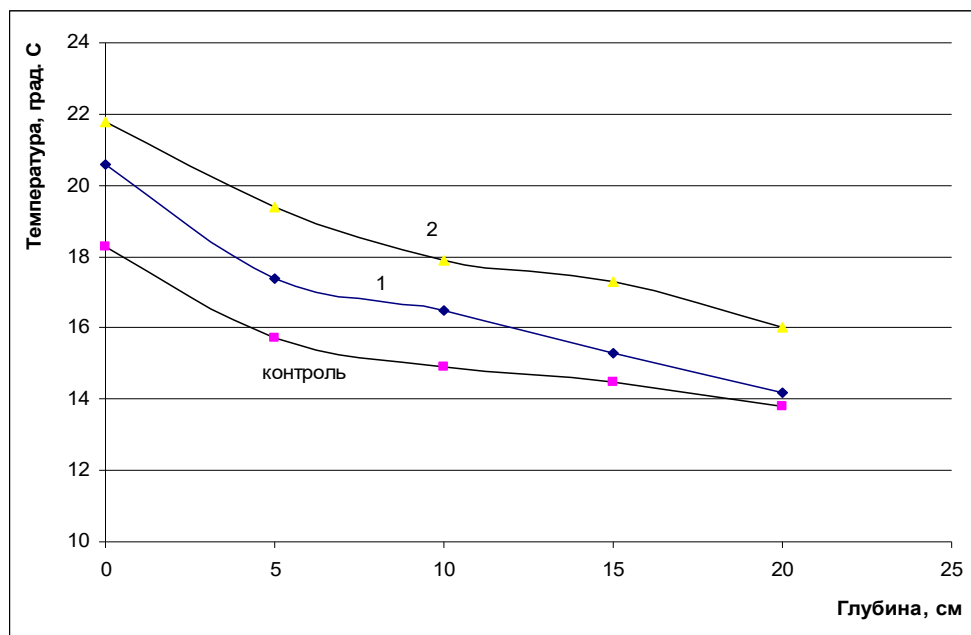


Рис. 1. Средние температуры почвы в первую декаду июля 2003 г.:
1 и 2 – номера экспериментальных участков

Таблица 3
Средние значения температуры почвы в июле 2008 г., °C

Участок	Глубина, см				
	0	5	10	20	30
1	21,2±0,75	15,3±0,26	14,5±0,21	13,6±0,19	12,5±0,17
2	23,4±0,99	16,1±0,20	15,9±0,18	15,0±0,23	14,4±0,15
Контроль	19,5±0,52	14,4±0,21	13,4±0,18	12,1±0,16	11,3±0,16

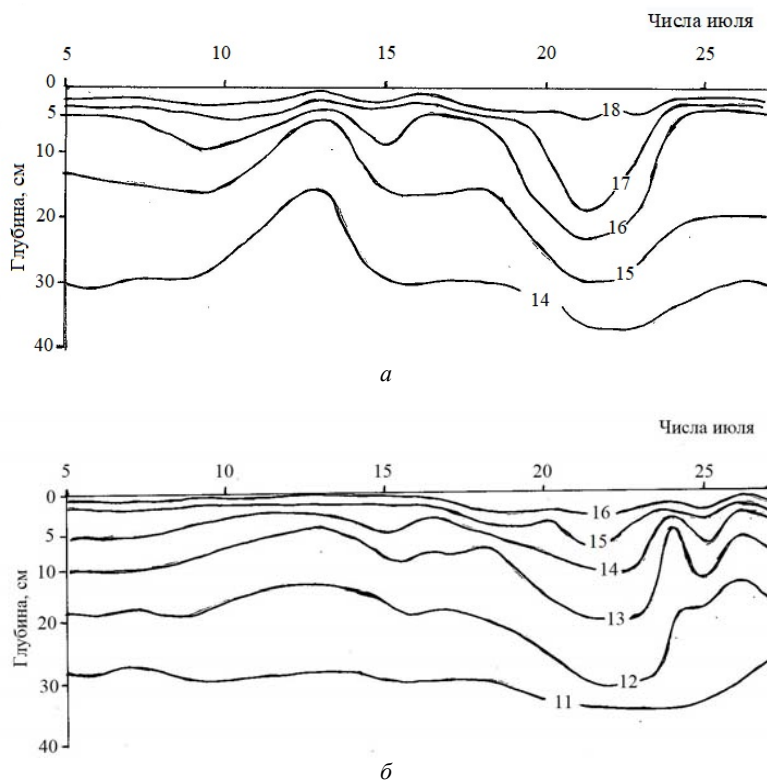


Рис. 2. Динамика температуры почвы в июле 2008 г.:
а – участок № 2; б – контроль (числа на изоплетах – °C)

Кроме того, можно предположить, что благодаря высокой теплопроводности песчаных подзолов, их лучшее прогревание на экспериментальных участках может проявляться до 1 м. Примерно до такой глубины увеличение температуры легких почв ранее отмечалось другими авторами в пройденных пожарами сосняках Забайкалья и Алтая (Евдокименко, 1979, 2014; Особенности..., 2002).

В то же время, по данным А. И. Бузыкина (1975), до 80 % физиологически активных корней в сосняках зеленомошных приурочено к слою 0–15 см. Это согласуется с мнением В. Н. Димо (1972), считающей, что температура почвы на глубине 20 см характеризует тепловое состояние всего корнеобитаемого слоя. Обобщение данных, полученных в ходе многолетних наблюдений в течение самого жаркого летнего месяца, выявило следующее. На контрольном участке среднемесячная температура почвы на глубине 20 см составляла от 11,5 до 15,5 °С, тогда как на экспериментальных – от 14,0 до 18,3 °С, причем максимальные значения отмечались на участке № 2.

При этом различия температур почвы экспериментальных участков с контролем наблюдаются и через шесть лет после пожара, даже несмотря на увеличение мощности подстилки, обусловленное активным поступлением на поверхность почвы послепожарного опада (Лес, почва..., 1996; Пирогенная..., 2005; Азотный..., 2005; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020). На участке № 1 она практически сравнялась с мощностью подстилки контроля ($2,7 \pm 0,30$ против $2,8 \pm 0,45$ см), а на участке № 2 – заметно приблизилась к ней ($2,3 \pm 0,42$ см). Из этого следует, что в данном случае различия почвенных температур в большей мере обусловлены усилением инсоляции на экспериментальных участках, а не разной степенью развития теплоизолирующего мохово-лишайникового покрова и мощностью подстилки, как утверждает целый ряд авторов (Софронов, Волокитина, 1998; Прокушкин, 2000; Тарасов и др., 2008; Постпирогенные..., 2011).

Учитывая, что дефицит тепла в почвах бореальной зоны является одним из лимитирующих экологических факторов, отмеченное увеличение температуры минеральных слоев следует оценивать положительно. Это, по мнению некоторых исследователей (Пирогенная..., 2005; Allison et al., 2010; Influence of fire..., 2021), способствует активизации биологических процессов и усилению естественного послепожарного восстановления растительных сообществ (Матвеев, Матвеев, 2006; Сукцессия..., 2017; Effects of soil..., 2010).

В то же время, темная поверхность экспериментальных участков не только сильнее нагревается в дневные часы, но и, согласно закону Стефана-Больцмана, активнее излучает тепло ночью (Косарев, 2002). Этот эффект усиливается меньшей мощностью теплоизолирующего слоя подстилки, а на участке № 2 – еще и гибелью значительной части деревьев, кроны которых ослабляли излучение почвы (Евдокименко, 1996, 2014). Поэтому спустя два года после выжигания, в июле 2004 года, значения минимальных температур поверхности подстилки на участках № 1 и № 2

составляли соответственно 2,5–6,5 и 1,7–4,5 °С, что существенно ниже, чем на контроле (4,5–9,5 °С). Близкие данные были и получены нами в среднетаежных сосняках (Тарасов и др., 2008; Постпирогенные..., 2011; Воздействие..., 2014; Influence of fire..., 2021), а также другими авторами, проводившими аналогичные исследования в Забайкалье (Евдокименко, 1996; Краснощеков, 2004) и Алтае (Беховых, 2002).

Таким образом, как и в среднетаежных сосняках лишайниково-зеленомошной группы, температурный режим поверхности почвы в пройденных пожарами южнотаежных сосняках также становится более контрастным. Это, в сочетании с более низкой влажностью подстилки и верхнего минерального слоя, обусловленной усилением, по указанным выше причинам, физического испарения почвенной влаги, негативно отразится на ходе естественного возобновления (Тарасов и др., 2012; Евдокименко, 2014; Воздействие..., 2014). При этом существенные различия влажности, так же, как и температуры, наблюдались даже через 5 лет после пожара, причем при различных погодных условиях (табл. 4).

Анализ данных табл. 4 позволяет сделать следующие выводы. В засушливую погоду минимальная влажность на участке № 2, где инсоляция из-за гибели большей части деревьев, была максимальной, обусловлена наибольшей интенсивностью физического испарения почвенной влаги. В то же время, при выпадении осадков практическое отсутствие древесного полога и маломощная подстилка на указанном участке, с одной стороны, способствуют большему поступлению влаги в подзолистый горизонт, а, с другой – ее более активному испарению с поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многолетние исследования в пройденных контролируемыми низовыми пожарами южнотаежных лишайниково-зеленомошных сосняках, произрастающих на песчаных подзолах, обнаружили заметные изменения гидротермических условий почвы. Основными причинами этого являются следующие.

1. Пирогенные и постпирогенные изменения других компонентов лесных биогеоценозов, оказывающих существенное влияние на процессы тепло- и водообмена между атмосферой и почвой. Прежде всего, это уменьшение сомкнутости полога вследствие послепожарного ослабления и отпада деревьев, а также полное уничтожение или частичное повреждение живого напочвенного покрова, вследствие чего в дневные часы усиливается инсоляция, а в ночные – излучение тепла почвой. Сокращение мощности и запасов подстилки при одновременном увеличении плотности, отражающихся на ее тепловых и водных свойствах.

2. Постпирогенные изменения выше указанных свойств подзолов, во многом определяющих характер и интенсивность их тепло- и водообмена с атмосферой. Снижение альбедо и увеличение излучательной способности усилило контрастность температурного режима поверхности почвы. В то же время, благодаря уменьшению мощности подстилки улучшилось прогревание минеральных слоев.

Таблица 4

Влажность подстилки и верхней части подзолистого горизонта в июле 2007 г., %

Горизонт, глубина, см	Засушливый период			После дождя		
	участок 1	участок 2	контроль	участок 1	участок 2	контроль
О, 0-3	21,4±3,54	16,6±1,07	29,8±2,63	70,2±20,80	47,6±8,10	89,6±12,40
Е, 3-10	4,9±1,35	4,4±0,78	6,1±1,76	6,2±0,60	7,4±1,90	8,8±2,21

Наряду с общим для всех исследуемых насаждений характером изменений почвенных гидротермических условий, выявлены некоторые различия степени их проявления, главным образом, обусловленные разной интенсивностью пожаров.

Таким образом, в результате пирогенного воздействия в той или иной степени нарушается сложившийся обмен веществом и энергией между атмосферой и почвой, который является основным процессом формирования и развития последней. Следовательно, лесные пожары – это мощный и активный фактор современного почвообразования, действие которого еще больше усиливается в связи с ростом горимости, обусловленного наблюдающимися изменениями климата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- Абаимов А. П., Прокушкин С. Г., Зырянова О. А. Эколого-фитоценотическая оценка воздействия пожаров на леса криолитозоны Средней Сибири // Сибирский экологический журнал. 1996. № 1. С. 51–60.
- Азотный фонд песчаных подзолов после контролируемых выжиганий сосняков Средней Сибири / И. Н. Безкоровая, П. А. Тарасов, Г. А. Иванова [и др.] // Почвоведение. 2007. № 6. С. 775–783.
- Амосов Г. А. Некоторые особенности горения при лесных пожарах. –Л.: ЛенНИИЛХ. 1958. 30 с.
- Аткин А. С., Аткина Л. С. Запасы напочвенных горючих материалов в сосняках // Лесные пожары и их последствия. – Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1985. С. 92–101.
- Беховых Ю. В. Влияние лесных пожаров на гидротермический режим дерново-подзолистых почв сухостепной зоны Алтайского края // Антропогенное воздействие на лесные экосистемы. Барнаул : Изд-во Алтайского ун-та, 2002. С. 139–142.
- Богатырев Л. Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение. 1996. № 4. С. 501–511.
- Богородская А. В., Иванова Г. А., Сорокин Н. Д. Влияние пирогенного фактора на микробные комплексы почв сосняков Средней Сибири // Лесоведение. 2005. № 2. С. 25–31.
- Бузыкин А. И. Влияние низовых пожаров на сосновые леса Среднего Приангарья // Охрана лесных ресурсов Сибири. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1975. С. 141–153.
- Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков / Г. А. Иванова, С. Г. Конрад, Д. Д. Макрае [и др.]. Новосибирск : Наука, 2014. 232 с.
- Воронин А. Д. Основы физики почв : учебное пособие. М. : Изд-во МГУ, 1986. 244 с.
- Гаель А. Г., Смирнова Л. Ф. Пески и песчаные почвы. М. : ГЕОС, 1999. 252 с.
- Димо В. Н. Тепловой режим почв СССР. М. : Колос, 1972. 360 с.
- Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. М. : МГУ, 1995. 320 с.
- Евдокименко М. Д. Микроклимат древостоев и гидротермический режим почв в сосновых лесах Забайкалья после низовых пожаров // Горение и пожары в лесу. Часть III. Лесные пожары и их последствия. – Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1979. С. 130–140.
- Евдокименко М. Д. Пирогенные нарушения лесорастительной среды в сосняках Забайкалья и их лесоводственные последствия // Лесоведение. 2014. № 1. С. 3–12.
- Евдокименко М. Д. Послепожарная динамика микроклимата и гидротермического режима мерзлотных почв в лиственничниках Станового хребта // Сибирский экологический журнал. 1996. № 1. С. 73–79.
- Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы. М. : Лесная промышленность, 1981. 264 с.
- Карпачевский Л. О. Подстилка – особый биогеогоризонт лесного биогеоценоза // Роль подстилки в лесных биогеоценозах. М. : Изд-во АН СССР, 1983. С. 88–89.
- Классификация и диагностика почв России / сост. Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедев, М. И. Герасимова. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
- Косарев В. П. Лесная метеорология с основами климатологии. СПб. : Изд-во ЛТА, 2002. 264 с.
- Краснощекоев Ю. Н. Почвозащитная роль горных лесов бассейна озера Байкал / Ю. Н. Краснощекоев. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. 224 с.
- Краснощекоев Ю. Н., Безкоровая И. Н., Кузьмиченко В. В. Трансформация свойств лесной подстилки при контролируемом выжигании шелкопрядников в Нижнем Приангарье // Почвоведение. 2007. № 2. С. 170–178.
- Кукавская Е. А., Иванова Г. А. Воздействие лесных пожаров на биомассу сосновых насаждений Средней Сибири // Вестник КрасГАУ. 2006. № 2. С. 156–162.
- Курбатский Н. П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. М. : Гослесбумиздат, 1962. 154 с.
- Лес, почва и лесное почвоведение / Л. О. Карпачевский, В. А. Рожков, М. Л. Карпачевский [и др.] // Почвоведение. 1996. № 5. С. 587–598.
- Лукина Н. В., Полянская Л. М., Орлова М. А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М. : Наука, 2008. 342 с.
- Мажитова Г. Г. Пирогенная динамика мерзлотных почв Колымского нагорья // Почвоведение. 2000. № 5. С. 619–629.
- Матвеев А. М., Матвеев П. М. Влияние огневого воздействия на возобновление среднетаежных

- лиственничников Эвенкии // Лесоведение. 2006. № 5. С. 7–11.
29. Особенности теплоаккумуляции и теплообмена в дерново-подзолистых почвах на горях сухостепной зоны Алтайского края / Ю. В. Беховых, С. В. Макарычев, И. Т. Трофимов И.Т. [и др.] // Антропогенное воздействие на лесные экосистемы. Барнаул : Изд-во Алтайского ун-та, 2002. С. 142–145.
30. Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края / И. Н. Безкорвайная, П. А. Тарасов, Г. А. Иванова [и др.] // Сибирский экологический журнал. 2005. № 1. С. 143–152.
31. Поздняков Л. К. Влияние беглых низовых пожаров на режим влажности и температуру почвы // Лесное хозяйство. 1953. № 4. С. 62–63.
32. Поздняков Л. К. Гидроклиматический режим лиственничных лесов Центральной Якутии. М. : Лесная промышленность, 1963. 146 с.
33. Попова Э. П. О продолжительности пирогенного воздействия на свойства лесных почв // Горение и пожары в лесу. Часть III. Лесные пожары и их последствия. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР, 1979. С. 110–117.
34. Попова Э. П. Пирогенная трансформация свойств лесных почв Среднего Приангарья // Сибирский экологический журнал, 1997. № 4. С. 413–418.
35. Попова Э. П. Экологическая роль пожаров в почвообразовании // Почвенно-экологические исследования в лесных биогеоценозах. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1982. С. 119–174.
36. Постпирогенные изменения гидротермических параметров почв среднетаежных сосняков / П. А. Тарасов, В. А. Иванов, Г. А. Иванова [и др.] // Почвоведение. 2011. № 7. С. 795–803.
37. Практикум по почвоведению / И. С. Кауричев, Н. П. Панов, М. В. Странович [и др.]. Под ред. И.С. Кауричева. М. : Колос, 1980. 272 с.
38. Прокушкин С. Г., Сорокин Н. Д., Цветков П. А. Экологические последствия пожаров в лиственничниках северной тайги Красноярского края // Лесоведение. 2000. № 4. С. 9–15.
39. Растворова О. Г. Физика почв (практическое руководство). Л. : Изд-во ЛГУ, 1983. 196 с.
40. Санников С. Н., Санникова Н. С., Петрова И. В. Естественное возобновление в Западной Сибири: эколого-географический очерк. Екатеринбург : УрО РАН, 2004. 199 с.
41. Санников С. Н., Санникова Н. С. Экология естественного возобновления сосны под пологом леса. М. : Наука, 1985. 264 с.
42. Сапожников А. П. Биогеоценотические и лесоводственные аспекты пирогенеза лесных почв. // Горение и пожары в лесу. Часть III. Лесные пожары и их последствия. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР, 1979. С. 96–104.
43. Сапожников А. П. Роль огня в формировании лесных почв // Экология. 1976. № 1. С. 42–46.
44. Соколов В. А., Фарбер С. К. Возобновление в лесах Восточной Сибири. Новосибирск : Наука, Изд-во СО РАН, 2006. 219 с.
45. Софронов М. А., Волокитина А. В. О «тепловой мелиорации» лиственничников на севере Сибири // Лесное хозяйство. 1998. № 5. С. 26–28.
46. Средняя Сибирь / Л. Г. Каманин, Б. Н. Лиханов, В. Г. Петухов [и др.] ; отв. ред. Л. Г. Каманин и Б. Н. Лиханов. М. : Наука, 1964. 480 с.
47. Степанов Г. М. Температурный режим мерзлотных почв на горях северной Якутии // Лесоведение. 1988. № 5. С. 67–71.
48. Стефин В. В. Антропогенные воздействия на горно-лесные почвы. Новосибирск : Наука, Сиб. отделение, 1981. 169 с.
49. Сукачев В. Н., Зонн С. В. Методические указания к изучению типов леса. М. : Изд-во АН СССР, 1961. 143 с.
50. Сукцессия растительности после высокоинтенсивного пожара в сосняке лишайниковом / Г. А. Иванова, В. А. Иванов, Н. М. Ковалева [и др.] // Сибирский экологический журнал, 2017. № 1. С. 61–71.
51. Тарабукина В. Г., Саввинов Д. Д. Влияние пожаров на мерзлотные почвы. Новосибирск : Наука, 1990. 120 с.
52. Тарасов П. А., Иванов В. А., Гайдукова А. Ф. Анализ динамики роста и развития самосева сосны обыкновенной на гари // Хвойные бореальной зоны. 2012. № 3-4. С. 284–290.
53. Тарасов П. А., Тарасова А. В. Исследование постпирогенной динамики агрохимических показателей подзолистой почвы // Хвойные бореальной зоны. 2020. № 5-6. С. 277–285.
54. Тарасов П. А., Иванов В. А., Иванова Г. А. Особенности температурного режима почв в сосняках средней тайги, пройденных низовыми пожарами // Хвойные бореальной зоны. 2008. № 3-4. С. 300–304.
55. Цветков П. А., Сорокин Н. Д., Прокушкин С. Г. Эдафические условия и лесовосстановление после пожаров в лиственничниках Эвенкии // Лесоведение. 2001. № 2. С. 16–21.
56. Цибарт А. С., Геннадиев А. Н. Влияние пожаров на свойства лесных почв Приамурья (Норский заповедник) // Почвоведение. 2008. № 7. С. 783–792.
57. Шешуков М. А. Влияние пожаров на развитие таяжных биогеоценозов // Горение и пожары в лесу. Часть III. Лесные пожары и их последствия. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР, 1979. С. 81–96.
58. Шешуков М. А., Савченко А. П., Пешков В. В. Лесные пожары и борьба с ними на севере Дальнего Востока. Хабаровск : ДальНИИЛХ, 1992. 95 с.
59. Экологическая и лесообразующая роль пожаров в криолитозоне Сибири / А. П. Абаймов, С. Г. Прокушкин, О. А. Зырянова [и др.] // Лесоведение. 2001. № 5. С. 50–59.
60. Alexander M. E. Calculating and interpreting forest fire intensities // Can. J. Bot. 60. 1982. P. 349–357.
61. Allison S. D., McGuire K. L., Treseder K. K. Resistance of microbial and soil properties to warming treatment seven years after boreal fire // Soil Biology and Biochemistry. 2010. T. 42. №. 10. P. 1872–1878.
62. Blank R. W., Simard A. J. An Electronic Timer for Measuring Spread Rates of Wildland Fires // USDA FS, North Central For. Exp. Sta., St. Pauls, MN, Res. Note NC-304. 1983. 4 p.
63. Byram G. M. Combustion of forest fuels, in K.P. Davis (ed.), Forest Fire: Control and Use. McGraw-Hill. New York, NY. 1959. P. 61–89.

64. Effects of soil temperature regimes after fire on seed dormancy and germination in six Australian Fabaceae species. *Australian Journal of Botany* / V. M. Santana, R. A. Bradstock, M. K. Ooi [et al.]. 2010. 58(7). P. 539–545.

65. Influence of fire on the soil temperatures in pine forests of the middle taiga (Central Siberia, Russia) / I. N. Bezkorovaynaya, P. A. Tarasov, I. G. Gette [et al.] // *Journal of Forestry Research*. 2021. 32 (3). P. 1139–1145.

66. McRae D. J., Alexander M. E., Stocks B. J. Measurement of fuels and fire behavior on prescribed burns / *A Handbook*. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, ON, Inf. Rep. O-X-287. 1979. 44 p.

REFERENCES

1. Abaimov A. P., Prokushkin S. G., Zyryanova O. A. Ekologo-fitotsenoticheskaya otsenka vozdeystviya pozharov na lesa kriolitozony Sredney Sibiri // *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 1996. № 1. S. 51–60.

2. Azotnyy fond peschanykh podzolov posle kontroliruyemykh vyzhiganiy sosnyakov Sredney Sibiri / I. N. Bezkorovaynaya, P. A. Tarasov, G. A. Ivanova [i dr.] // *Pochvovedeniye*. 2007. № 6. S. 775–783.

3. Amosov G. A. Nekotorye osobennosti goreniya pri lesnykh pozharakh. – L.: LeNNI-ILKH. 1958. 30 s.

4. Atkin A. S., Atkina L. S. Zapasy napochvennykh goryuchikh materialov v sosnyakh // *Lesnyye pozhary i ikh posledstviya*. – Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1985. S. 92–101.

5. Bekhoviykh YU. V. Vliyaniye lesnykh pozharov na gidrotermicheskiy rezhim dernovo-podzolistykh pochv sukhostepnoy zony Altayskogo kraya // *Antropogennoye vozdeystviye na lesnyye ekosistemy*. Barnaul : Izd-vo Altayskogo un-ta, 2002. S. 139–142.

6. Bogatyrev L. G. Obrazovaniye podstilok – odin iz vazhneyshikh protsessov v lesnykh ekosistemakh // *Pochvovedeniye*. 1996. № 4. S. 501–511.

7. Bogorodskaya A. V., Ivanova G. A., Sorokin N. D. Vliyaniye pirogennogo faktora na mikrobnyye komplekсы pochv sosnyakov Sredney Sibiri // *Lesovedeniye*. 2005. № 2. S. 25–31.

8. Buzykin A. I. Vliyaniye nizovykh pozharov na osnovnyye lesa Srednego Priangarya // *Okhrana lesnykh resursov Sibiri*. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1975. S. 141–153.

9. Vozdeystviye pozharov na komponenty ekosistemy srednetayezhnykh sosnyakov / G. A. Ivanova, S. G. Konard, D. D. Makraye [i dr.]. Novosibirsk : Nauka, 2014. 232 s.

10. Voronin A. D. Osnovy fiziki pochv : uchebnoye posobiye. M. : Izd-vo MGU, 1986. 244 s.

11. Gayel' A. G., Smirnova L. F. Peski i peschanyye pochvy. M. : GEOS, 1999. 252 s.

12. Dima V. N. Teplovoy rezhim pochv SSSR. M. : Kolos, 1972. 360 s.

13. Dmitriyev YE. A. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii. M. : MGU, 1995. 320 s.

14. Evdokimenko M. D. Mikroklimat drevostoyev i gidrotermicheskiy rezhim pochv v sosnyakh lesakh Zabaykal'ya posle nizovykh pozharov // *Goreniye i pozhary v lesu*. Chast' III. Lesnyye pozhary i ikh posledstviya. – Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1979. S. 130–140.

15. Evdokimenko M. D. Pirogennyye narusheniya lesorastitel'noy sredy v sosnyakh Za-baykal'ya i ikh lesovodstvennyye posledstviya // *Lesovedeniye*. 2014. № 1. S. 3–12.

16. Evdokimenko M. D. Poslepozharaya dinamika mikroklimata i gidrotermicheskogo rezhima merzlotnykh pochv v listvennichnikakh Stanovogo khrebtta // *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 1996. № 1. S. 73–79.

17. Karpachevskiy L. O. Les i lesnyye pochvy. M. : Lesnaya promyshlennost', 1981. 264 s.

18. Karpachevskiy L. O. Podstilka – osoby biogeogorizont lesnogo biogeotsenoza // *Rol' podstilki v lesnykh biogeotsenozakh*. M. : Izd-vo AN SSSR, 1983. S. 88–89.

19. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii / sost. L. L. Shishov, V. D. Tonkonogov, I. I. Lebedev, M. I. Gerasimova. Smolensk : Oykumena, 2004. 342 s.

20. Kosarev V. P. Lesnaya meteorologiya s osnovami klimatologii. SPb. : Izd-vo LTA, 2002. 264 s.

21. Krasnoshchekov YU. N. Pochvozashchitnaya rol' gornyykh lesov basseyna ozera Baykal / Yu. N. Krasnoshchekov. Novosibirsk : Izd-vo SO RAN, 2004. 224 s.

22. Krasnoshchekov Yu. N., Bezkorovaynaya I. N., Kuz'michenko V. V. Transformatsiya svoystv lesnoy podstilki pri kontroliruyemom vyzhigani shchelkopryadnikov v Nizhnem Priangarya // *Pochvovedeniye*. 2007. № 2. S. 170–178.

23. Kukavskaya Ye. A., Ivanova G. A. Vozdeystviye lesnykh pozharov na biomassu sosnykh nasazhdeniy Sredney Sibiri // *Vestnik KraSGAU*. 2006. № 2. S. 156–162.

24. Kurbatskiy N. P. Tekhnika i taktika tusheniya lesnykh pozharov. M. : Goslesbumizdat, 1962. 154 s.

25. Les, pochva i lesnoye pochvovedeniye / L. O. Karpachevskiy, V. A. Rozhkov, M. L. Karpachevskiy [i dr.] // *Pochvovedeniye*. 1996. № 5. S. 587–598.

26. Lukina N. V., Polyanskaya L. M., Orlova M. A. Pitatel'nyy rezhim pochv severota-ezhnykh lesov. M. : Nauka, 2008. 342 s.

27. Mazhitova G. G. Pirogennaya dinamika merzlotnykh pochv Kolymского nagor'ya // *Pochvovedeniye*. 2000. № 5. S. 619–629.

28. Matveyev A. M., Matveyev P. M. Vliyaniye ognévogo vozdeystviya na vozobnovleniye srednetayezhnykh listvennichnikov Evenkii // *Lesovedeniye*. 2006. № 5. S. 7–11.

29. Osobennosti teploakkumulyatsii i teploobmena v dernovo-podzolistykh pochvakh na garyakh sukhostepnoy zony Altayskogo kraya / Yu. V. Bekhoviykh, S. V. Makarychev, I. T. Trofimov I. T. [i dr.] // *Antropogennoye vozdeystviye na lesnyye ekosistemy*. Barnaul : Izd-vo Altayskogo un-ta, 2002. S. 142–145.

30. Pirogennaya transformatsiya pochv sosnyakov sredney taygi Krasnoyarskogo kraya / I. N. Bezkorovaynaya, P. A. Tarasov, G. A. Ivanova [i dr.] // *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2005. № 1. S. 143–152.

31. Pozdnyakov L. K. Vliyaniye beglykh nizovykh pozharov na rezhim vlazhnosti i temperaturu pochvy // *Lesnoye khozyaystvo*. 1953. № 4. S. 62–63.

32. Pozdnyakov L. K. Gidroklimaticheskiy rezhim listvennichnykh lesov Tsentral'noy Yakutii. M. : Lesnaya promyshlennost', 1963. 146 s.

33. Popova E. P. O prodolzhitel'nosti pirogennogo vozdeystviya na svoystva lesnykh pochv // *Goreniye i pozhary v lesu*. Chast' III. Lesnyye pozhary i ikh

- posledstviya. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1979. S. 110–117.
34. Popova E. P. Pirogennaya transformatsiya svoystv lesnykh pochv Srednego Prianga-r'ya // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal, 1997. № 4. S. 413–418.
 35. Popova E. P. Ekologicheskaya rol' pozharov v pochvoobrazovanii // Pochvenno-ekologicheskiye issledovaniya v lesnykh biogeotsenozakh. Novosibirsk : Nauka, Sib. otd.-niye, 1982. S. 119–174.
 36. Postpirogennyye izmeneniya gidrotermicheskikh parametrov pochv srednetayezhnykh sosnyakov / P. A. Tarasov, V. A. Ivanov, G. A. Ivanova [i dr.] // Pochvovedeniye. 2011. № 7. S. 795–803.
 37. Praktikum po pochvovedeniyu / I. S. Kaurichev, N. P. Panov, M. V. Stranovich [i dr.]. Pod red. I. S. Kauricheva. M. : Kolos, 1980. 272 s.
 38. Prokushkin S. G., Sorokin N. D., Tsvetkov P. A. Ekologicheskiye posledstviya pozha-rov v listvennichnikakh severnoy taygi Krasnoyarskogo kraya // Lesovedeniye. 2000. № 4. S. 9–15.
 39. Rastvorova O. G. Fizika pochv (prakticheskoye rukovodstvo). L. : Izd-vo LGU, 1983. 196 s.
 40. Sannikov S. N., Sannikova N. S., Petrova I. V. Yestestvennoye vozobnovleniye v Za-padnoy Sibiri: ekologo-geograficheskiy ocherk. Yekaterinburg : URO RAN, 2004. 199 s.
 41. Sannikov S. N., Sannikova N. S. Ekologiya yestestvennogo vozobnovleniya sosny pod pologom lesa. M. : Nauka, 1985. 264 s.
 42. Sapozhnikov A. P. Biogeotsenoticheskiye i lesovodstvennyye aspekty pirogeneza lesnykh pochv. // Goreniiye i pozhary v lesu. Chast' III. Lesn'yye pozhary i ikh posledstviya. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V.N. Sukacheva SO AN SSSR, 1979. S. 96–104.
 43. Sapozhnikov A. P. Rol' ognya v formirovaniy lesnykh pochv // Ekologiya. 1976. № 1. S. 42–46.
 44. Sokolov V. A., Farber S. K. Vozobnovleniye v lesakh Vostochnoy Sibiri. Novosi-birsk : Nauka, Izd-vo SO RAN, 2006. 219 s.
 45. Sofronov M. A., Volokitina A. V. O «teplovoy melioratsii» listvennichnikov na severe Sibiri // Lesnoye khozyaystvo. 1998. № 5. S. 26–28.
 46. Srednyaya Sibir' / L. G. Kamanin, B. N. Likhanov, V. G. Petukhov [i dr.] ; otv. red. L. G. Kamanin i B. N. Likhanov. M. : Nauka, 1964. 480 s.
 47. Stepanov G. M. Temperaturnyy rezhim merzlotnykh pochv na garyakh severnoy Yakutii // Lesovedeniye. 1988. № 5. S. 67–71.
 48. Stefin V. V. Antropogennyye vozdeystviya na gorno-lesn'yye pochvy. Novosibirsk : Nauka, Sib. otd.-niye, 1981. 169 s.
 49. Sukachev V. N., Zonn S. V. Metodicheskiye ukazaniya k izucheniyu tipov lesa. M. : Izd-vo AN SSSR, 1961. 143 s.
 50. Suktsessiya rastitel'nosti posle vysokointensivnogo pozhara v sosnyake lishayni-kovom / G. A. Ivanova, V. A. Ivanov, N. M. Kovaleva [i dr.] // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal, 2017. № 1. S. 61–71.
 51. Tarabukina V. G., Savvinov D. D. Vliyaniye pozharov na merzlotn'yye pochvy. Novosibirsk : Nauka, 1990. 120 s.
 52. Tarasov P. A., Ivanov V. A., Gaydukova A. F. Analiz dinamiki rosta i razvitiya samoseva sosny obyknovennoy na gari // Khvoyn'yye boreal'noy zony. 2012. № 3-4. S. 284–290.
 53. Tarasov P. A., Tarasova A. V. Issledovaniye postpirogennoy dinamiki agrokhimii-cheskikh pokazateley podzolistoy pochvy // Khvoyn'yye boreal'noy zony. 2020. № 5-6. S. 277–285.
 54. Tarasov P. A., Ivanov V. A., Ivanova G. A. Oso-bennosti temperaturnogo rezhima pochv v sosnyakakh sredney taygi, proydennykh nizovymi pozharemi // Khvoyn'yye boreal'noy zony. 2008. № 3-4. S. 300–304.
 55. Tsvetkov P. A., Sorokin N. D., Prokushkin S. G. Edaficheskiye usloviya i lesovos-stanovleniye posle pozharov v listvennichnikakh Evenkii // Lesovedeniye. 2001. № 2. S. 16–21.
 56. Tsibart A. S., Gennadiyev A. N. Vliyaniye pozha-rov na svoystva lesnykh pochv Priamu-r'ya (Norskiy zapovednik) // Pochvovedeniye. 2008. № 7. S. 783–792.
 57. Sheshukov M. A. Vliyaniye pozharov na razvitiye tayezhnykh biogeotsenozov // Goreniiye i pozhary v lesu. Chast' III. Lesn'yye pozhary i ikh posledstviya. Krasnoyarsk : In-t lesa i dre-vesiny im. V.N. Sukacheva SO AN SSSR, 1979. S. 81–96.
 58. Sheshukov M. A., Savchenko A. P., Peshkov V. V. Lesn'yye pozhary i bor'ba s nimi na severe Dal'nego Vostoka. Khabarovsk : Dal'NIILKH, 1992. 95 s.
 59. Ekologicheskaya i lesobrazuyushchaya rol' pozha-rov v kriolitozone Sibiri / A. P. Abaimov, S. G. Prokushkin, O. A. Zyryanova [i dr.] // Lesovedeniye. 2001. № 5. S. 50–59.
 60. Alexander M. E. Calculating and interpreting forest fire intensities // Can. J. Bot. 60. 1982. P. 349–357.
 61. Allison S. D., McGuire K. L., Treseder K. K. Resistance of microbial and soil properties to warming treatment seven years after boreal fire // Soil Biology and Biochemistry. 2010. T. 42. №. 10. R. 1872–1878.
 62. Blank R. W., Simard A. J. An Electronic Timer for Measuring Spread Rates of Wildland Fires // USDA FS, North Central For. Exp. Sta., St. Pauls, MN, Res. Note NC-304. 1983. 4 r.
 63. Byram G. M. Combustion of forest fuels, in K.P. Davis (ed.), Forest Fire: Control and Use. McGraw-Hill. New York, NY. 1959. P. 61–89.
 64. Effects of soil temperature regimes after fire on seed dormancy and germination in six Australian Fabaceae species. Australian Journal of Botany / V. M. Santana, R. A. Bradstock, M. K. Ooi [et all.]. 2010. 58(7). R. 539–545.
 65. Influence of fire on the soil temperatures in pine forests of the middle taiga (Central Sibe-ria, Russia) / I. N. Bezkorovaynaya, P. A. Tarasov, I. G. Gette [et all.] // Journal of Forestry Re-search. 2021. 32 (3). R. 1139–1145.
 66. McRae D. J., Alexander M. E., Stocks B. J. Measurement of fuels and fire behavior on prescribed burns / A Handbook. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, ON, Inf. Rep. O-X-287. 1979. 44 p.

© Тарасов П. А., Иванов В. А.,
Иванова Г. А., Безкоровайная И. Н., 2023

**АЛЛОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ БИОМАССЫ
ОТМЕРШИХ ВЕТВЕЙ РАСТУЩИХ ДЕРЕВЬЕВ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ****В. А. Усольцев^{1,2}, И. С. Цепордей²**¹Уральский государственный лесотехнический университет
Российская Федерация, 620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37²Ботанический сад УрО РАН
Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а

В условиях изменяющегося климата возросла актуальность оценки полного углеродного бюджета лесных экосистем и углеродного пула всех их компонентов, в том числе отмерших ветвей растущих деревьев. В опубликованных данных о биомассе деревьев доля отмерших ветвей в надземной биомассе варьирует в диапазоне от 1 до 22 %, однако попытки выявить факторы, объясняющие столь широкий ее диапазон, довольно редки. В настоящем исследовании предпринята первая попытка разработки аллометрических моделей, предназначенных для оценки массы отмерших ветвей (МОВ) растущих деревьев сосны обыкновенной по измеренным диаметру кроны и высоте деревьев естественных древостоев и культур в условиях степной зоны. Основу исследования составили 357 модельных деревьев, полученные на 40 пробных площадях. Аллометрическая модель МОВ, включающая такие независимые переменные, как диаметр кроны, высота дерева и происхождение древостоя, объясняет 84 % изменчивости МОВ на уровне $p < 0,001$. Величина МОВ у крупных деревьев может достигать 15–20 кг, при этом в культурах показатель вдвое выше, чем в естественных древостоях. В процентном выражении величина МОВ по отношению к надземной биомассе по мере увеличения размеров дерева возрастает в естественных древостоях от 2 до 6 % и в культурах от 3,5 до 11 %, и в среднем для естественных древостоев и культур составляет 5–6 %. Вклады диаметра кроны, высоты дерева и происхождения древостоя в объяснение изменчивости МОВ составили соответственно 19, 62 и 19 %. При включении надземной биомассы в модель МОВ в качестве дополнительной независимой переменной вклады диаметра кроны, высоты дерева, надземной биомассы и происхождения древостоя в объяснение изменчивости МОВ составили соответственно 18, 33, 17 и 32 %. Предложенные аллометрические модели могут быть использованы при оценках МОВ сосны обыкновенной на основе воздушного и наземного лазерного зондирования. При расчетах углеродных пулов в сосновых лесах степной зоны необходимо вносить в оценку пула поправку в виде 5–6%-ного повышения на величину МОВ.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris* L., степная зона, биомасса отмерших ветвей, лазерное зондирование деревьев, аллометрические модели, поправка в углеродный пул.

*Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 1, P. 56–64***ALLOMETRIC MODELS AND TABLES FOR ESTIMATING THE BIOMASS
OF DEAD BRANCHES OF GROWING TREES BY REMOTE SENSING****V. A. Usoltsev^{1,2}, I. S. Tsepordey²**¹Ural State Forest Engineering University
37, Siberian tract, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation
²Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
202a, 8 Marta Str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

In a changing climate, the relevance of assessing the full carbon budget of forest ecosystems and the carbon pool of all their components, including dead branches of growing trees, has increased. In the published data on the biomass of trees, the proportion of dead branches in the aboveground biomass varies from 1 to 22 %, but attempts to identify factors explaining such a wide range of it are quite rare. In this study, the first attempt was made to develop allometric models designed to estimate the mass of dead branches (MDB) of growing pine trees by the measured crown diameter and height of trees of natural stands and plantations in the conditions of the steppe zone. The basis of the study was

357 model trees obtained on 40 sample plots. The allometric model of the MDB, which includes such independent variables as crown diameter, tree height and the origin of the stand, explains 84 % of the variability of the MDB at the level of $p < 0.001$. The value of the MDB in large trees can reach 15–20 kg, while in plantations this value is twice as high as in natural stands. In percentage terms, the value of MDB in relation to aboveground biomass increases with increasing tree size in natural stands from 2 to 6 % and in plantations from 3.5 to 11 %, and on average for natural stands and plantations is 5–6 %. The contributions of crown diameter, tree height and the origin of the stand to explain the variability of the MDB were 19, 62 and 19 %, respectively. When aboveground biomass was included in the MDB model as an additional independent variable, the contributions of crown diameter, tree height, aboveground biomass and the origin of the stand to explain the variability of the MDB were 18, 33, 17 and 32 %, respectively. The proposed allometric models can be used in estimating the MDB of Scots pine based on airborne or terrestrial laser sensing. When calculating carbon pools in Scots pine forests of the steppe zone, it is necessary to make an amendment to the pool estimate in the form of a 5–6 % increase by the value of the MDB.

Keywords: *Pinus sylvestris L., steppe zone, biomass of dead branches, tree laser sensing, allometric models, correction to the carbon pool.*

ВВЕДЕНИЕ

В условиях изменяющегося климата возросла актуальность оценки полного углеродного бюджета лесных экосистем и углеродного пула всех их компонентов, в том числе отмерших ветвей растущих деревьев. Однако в имеющихся базах данных о биомассе деревьев сведения о массе отмерших ветвей на стволах деревьев отсутствуют [15; 17]. Таким образом, масса отмерших ветвей деревьев и древостоев не учитывается в расчетах как приходной (живая биомасса), так и расходной (подстилка, валеж) составляющей углеродного цикла и как бы «зависает между небом и землей». В опубликованных данных о биомассе деревьев сосны обыкновенной Красноярской лесостепи доля отмерших ветвей в надземной биомассе варьирует в диапазоне от 1 до 22 % [3], однако попытки выявить факторы, объясняющие столь широкий ее диапазон, довольно редки. В литературе за редкими исключениями (см., например: [1; 3; 8]) обычно не исследуются связи массы отмерших ветвей с дендрометрическими показателями деревьев и древостоев.

В последние годы интенсивно развиваются технологии бортового и наземного лазерного зондирования, которые в сравнении с традиционной наземной таксацией беспрецедентны по уровню точности и скорости получения таких дендрометрических показателей дерева, как высота ствола и диаметр кроны [11; 13; 19]. Обнадеживающую точность оценки надземной биомассы деревьев дает совмещение результатов наземного и бортового лазерного зондирования. Однако применение глобальных аллометрических моделей биомассы приводит к существенным смещениям, и в каждом конкретном случае предпочтительно применять локальные аллометрические модели [9; 12]. Оценки надземной биомассы [14; 16] и биомассы корней [6; 7], полученные посредством расчета их аллометрических зависимостей от названных дендрометрических показателей, отличаются достаточно высокой адекватностью.

Целью настоящего исследования было:

- выполнить анализ парных связей массы отмерших ветвей (МОВ) как с диаметром (шириной) кроны, так и с высотой деревьев сосны обыкновенной в степной зоне;
- установить наличие или отсутствие различий МОВ деревьев сосны обыкновенной естественного и искусственного происхождения;
- разработать аллометрические модели и таблицы, предназначенные для оценки МОВ растущих деревьев сосны обыкновенной по измеренным диаметру кроны и высоте дерева в связи с происхождением древостоев;
- разработать аллометрические модели и таблицы, предназначенные для оценки МОВ растущих деревьев сосны обыкновенной по измеренным диаметру кроны и высоте дерева без учета происхождения древостоев;
- оценить вклады независимых переменных разработанных моделей в объяснение изменчивости МОВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования послужили чистые сосняки естественного и искусственного происхождения степной зоны, в которых было заложено 40 пробных площадей. Их таксационная характеристика дана в табл. 1. На каждой пробной площади по ступеням толщины в диапазоне ее варьирования было взято до 10–11 модельных деревьев (всего 360), и у каждого определена масса отмерших ветвей, а также хвои, живых ветвей и ствола. Методика выборочного учета и приведения показателей биомассы к абсолютно сухому состоянию изложена ранее [4]. Статистики выборок анализируемых показателей взятых модельных деревьев показаны в табл. 2. Обработка экспериментального материала выполнена по программе многофакторного регрессионного анализа Statgraphics-19 (<http://www.statgraphics.com/>).

Таблица 1
Таксационная характеристика древостоев 40 пробных площадей

Таксационные показатели древостоев пробных площадей						Число модельных деревьев
Возраст, лет	Густота, тыс. экз/га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Запас, м³/га	Тип леса и класс бонитета	
Естественные сосняки Тургайского прогиба, Аман-Карагайский бор (52°20' с.ш., 64° в.д.)						
42	19,136	5,2	8,8	238	Очень сухой бор IV	3
13	82,40	1,7	2,7	63	Сухой бор IV	10
21	6,050	7,0	6,6	130	Сухой бор III	10
22	43,81	3,3	5,6	142	Сухой бор III	8
32	19,91	5,1	7,6	199	Сухой бор IV	10
110	1,350	22,0	21,4	558	Сухой бор III	10
39	9,621	8,3	12,8	370	Свежий бор II	10
40	3,197	12,6	13,8	241	Свежий бор II	9
36	2,049	15,2	14,2	277	Влажный бор I	10
40	2,271	17,0	17,8	423	Влажный бор Ia	10
Культуры сосны Тургайского прогиба, Аман-Карагайский бор (52°20' с.ш., 64° в.д.)						
12	19,266	3,5	3,4	51	Сухой бор III	10
15	8,438	4,1	3,7	41	Сухой бор III	10
21	3,238	7,7	5,5	54	Сухой бор III	9
25	8,637	7,0	7,5	149	Сухой бор III	10
9	11,532	2,5	2,6	16	Свежий бор III	5
13	9,203	4,4	4,3	44	Свежий бор II	9
19	4,446	7,9	6,1	88	Свежий бор III	10
20	6,333	7,0	7,0	100	Свежий бор II	9
50	1,810	16,0	16,4	262	Свежий бор I	10
10	18,875	3,3	4,0	50	Влажный бор I	10
19	7,002	9,0	9,5	233	Влажный бор Ia	10
22	3,846	10,8	9,0	182	Влажный бор I	8
22	4,244	9,6	9,2	166	Влажный бор I	9
24	5,340	10,5	11,4	295	Влажный бор Ia	9
26	6,085	8,8	9,9	192	Влажный бор I	11
Естественные сосняки Тургайского прогиба, Ара-Карагайский бор (53°10' с.ш., 64° в.д.)						
27	37,7	3,2	5,7	113	Очень сухой бор IV	10
25	19,28	4,3	6,8	123	Сухой бор III	10
31	26,25	4,0	7,8	163	Сухой бор III	10
35	9,12	7,7	10,4	255	Сухой бор III	10
54	2,39	12,8	15,3	232	Сухой бор III	10
65	2,14	13,3	14,8	202	Сухой бор III	10
68	3,95	11,6	14,3	315	Сухой бор IV	10
104	0,52	26,8	22,0	292	Сухой бор III	2
31	12,80	6,9	9,5	247	Свежий бор III	10
35	6,95	9,0	11,8	276	Свежий бор II	10
70	0,874	22,4	21,6	339	Свежий бор I	10
Естественные сосняки Казахского мелкосопочника (53° с.ш., 70°10' в.д.)						
90	2,22	17,2	16,2	262	Сухой бор IV	13
90	1,33	16,5	17,7	258	Сухой бор IV	9
92	2,47	13,8	14,0	256	Сухой бор V	4
70	1,63	18,2	20,8	230	Сухой бор IV	3

Таблица 2
Характеристика исходных данных 360 модельных деревьев, взятых на пробных площадях в островных борах степной зоны

Обозначение статистик ^(a)	Анализируемые показатели ^(b)								
	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Dcr</i>	<i>Ps</i>	<i>Pb</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	<i>Pd</i>
Естественные сосняки Тургайского прогиба, Аман-Карагайский бор									
Mean	40	9,1	10,1	1,6	33,1	2,8	1,6	37,6	2,0
Min	13	0,4	1,4	0,1	0,04	0,001	0,01	0,05	0,002
Max	110	34,5	26,1	4,3	436,2	34,8	12,2	483,2	23,3
SD	26,5	7,2	5,7	0,9	64,7	5,9	2,8	72,4	4,2
CV, %	66,8	80,0	56,4	59,7	195,7	209,1	169,1	192,9	214,1
n	90	90	90	90	90	90	90	90	90

Окончание таблицы 2

Характеристика исходных данных 360 модельных деревьев, взятых на пробных площадях в островных борах степной зоны

Обозначение статистик ^(а)	Анализируемые показатели ^(б)								
	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Dcr</i>	<i>Ps</i>	<i>Pb</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	<i>Pd</i>
Культуры сосны Тургайского прогиба, Аман-Карагайский бор									
Mean	21	6,6	6,8	1,6	9,0	1,5	1,3	11,8	0,9
Min	9	0,6	1,6	0,1	0,09	0,012	0,02	0,14	0,002
Max	50	21,7	16,2	3,3	107,0	9,8	7,8	120,2	9,8
SD	9,6	4,1	3,4	0,7	14,4	2,0	1,5	17,0	1,5
CV, %	46,3	62,0	50,2	41,8	159,9	136,4	121,6	144,2	166,3
n	139	139	139	139	139	139	139	139	138
Естественные сосняки Тургайского прогиба, Ара-Карагайский бор									
Mean	45	9,6	10,8	1,7	32,0	3,2	1,7	36,9	1,2
Min	25	0,8	2,1	0,4	0,08	0,002	0,01	0,12	0,004
Max	110	31,0	24,1	5,3	272,6	36,5	13,3	322,4	18,4
SD	19,4	6,8	5,1	1,1	54,3	6,2	2,6	62,6	2,2
CV, %	42,7	70,7	46,7	65,2	169,8	189,6	157,5	169,8	178,2
n	102	101	102	102	102	102	102	102	102
Естественные сосняки Казахского мелкосопочника									
Mean	88	19,2	15,2	3,0	94,5	15,3	4,9	114,6	2,9
Min	70	8,3	9,5	1,5	10,70	0,864	0,58	12,14	0,17
Max	92	28,2	18,5	5,0	183,0	48,6	11,6	229,3	8,1
SD	6,3	5,0	1,6	1,0	46,8	12,8	3,1	61,2	2,3
CV, %	7,2	26,1	10,6	33,0	49,5	83,9	63,2	53,4	79,4
n	29	29	29	16	29	29	29	29	29

^(а) Mean, Min и Max соответственно среднее, минимальное и максимальное значения; SD – стандартное отклонение; CV – коэффициент вариации; n – число наблюдений.

^(б) *A* – возраст дерева, лет; *D* – диаметр ствола на высоте груди, см; *H* – высота дерева, м; *Dcr* – диаметр (ширина) кроны, м; *Ps*, *Pb*, *Pf*, *Pa* и *Pd* – соответственно биомасса ствола, живых ветвей, хвои, надземная и отмерших ветвей в абсолютно сухом состоянии, кг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На начальном этапе анализа с целью оценки информативности независимых переменных, объясняющих изменчивость МОВ, были рассчитаны парные зависимости МОВ как от высоты дерева, так и от диаметра кроны:

– для МОВ естественных древостоев:

$$\ln P_d = -1,5910 + 3,4459 (\ln Dcr);$$

$$\text{adj}R^2 = 0,699; SE = 1,32; \quad (1)$$

$$\ln P_d = -7,8534 + 3,2807 (\ln H);$$

$$\text{adj}R^2 = 0,787; SE = 1,13; \quad (2)$$

– для МОВ культур:

$$\ln P_d = -1,4215 + 2,8152 (\ln Dcr);$$

$$\text{adj}R^2 = 0,361; SE = 1,55; \quad (3)$$

$$\ln P_d = -6,9687 + 3,2818 (\ln H);$$

$$\text{adj}R^2 = 0,760; SE = 0,95, \quad (4)$$

где $\text{adj}R^2$ – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных; SE – стандартная ошибка уравнения. Модели (1)–(4) в графической интерпретации показаны на фоне экспериментальных данных на рис. 1. При расчете моделей здесь и далее применена поправка их свободного члена на логарифмическое преобразование [10]. Все регрессионные коэффициенты в (1)–(4) достоверны на уровне $p < 0,001$.

Для оценки зависимости МОВ одновременно от диаметра ствола и высоты дерева принята следующая структура регрессионной модели:

$$\ln P_d = a_0 + a_1 (\ln Dcr) + a_2 (\ln H). \quad (5)$$

Известно, что естественные древостои и культуры характеризуются разной густотой и производительностью [2]. Поскольку в задачу исследования входит оценка достоверности влияния происхождения древостоев на величину МОВ, модель (5) дополнена бинарной переменной *B*, кодирующей происхождение древостоев: для естественных $B = 0$ и для культур $B = 1$ [18].

Ввод в уравнение (5) бинарной переменной *B* означает, что трехмерная поверхность (диаметр кроны – высота дерева – МОВ) в координатах X-Y-Z смещается между деревьями естественного и искусственного происхождения вдоль оси Z (оси ординат) на величину коэффициента регрессии при бинарной переменной *B*. В окончательном виде получена регрессионная модель:

$$\ln P_d = -7,2482 + 0,8518 (\ln Dcr) + 2,7812 (\ln H) + 0,8578B; \text{adj}R^2 = 0,837; SE = 0,88, \quad (6)$$

в которой коэффициенты регрессии при всех независимых переменных статистически значимы на уровне $p < 0,001$ и выше. Вклады диаметра кроны, высоты дерева и происхождения древостоя в объяснение изменчивости МОВ составили соответственно 19, 62 и 19 %.

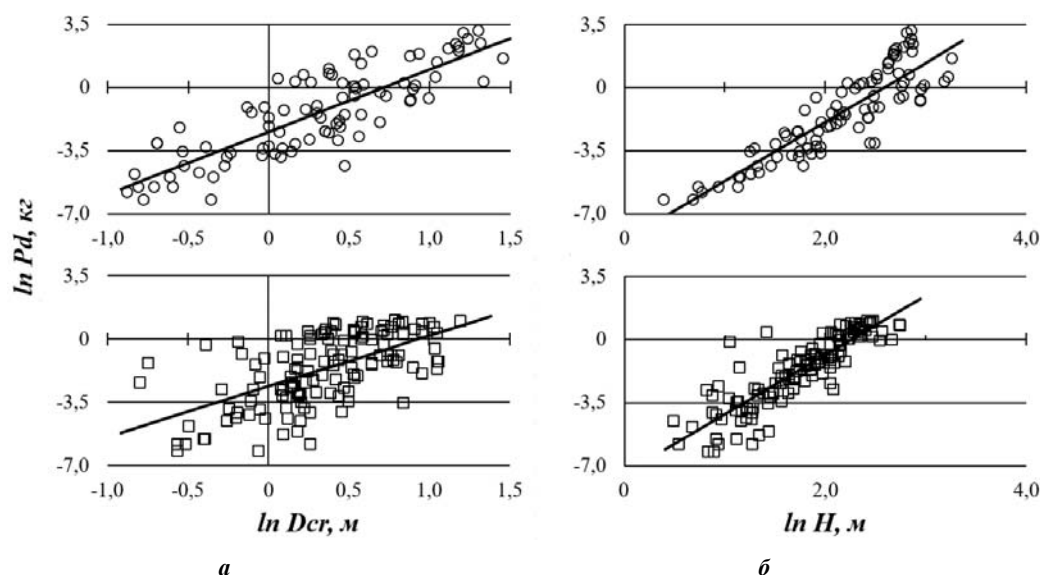


Рис. 1. Зависимость МОВ от диаметра кроны (а) и высоты дерева (б) в естественных древостоях (вверху) и культурах (внизу)

Модель (6) действительна в пределах диапазонов независимых переменных, показанных в табл. 2. Поскольку исходные данные по культурам ограничены возрастом 50 лет, во избежание смещений оценок вследствие экстраполяции расчетных значений, табличные значения здесь и далее ограничены диапазоном варьирования независимых переменных для культур (см. табл. 2).

Путем табулирования модели (6) по задаваемым значениям диаметра кроны и высоты дерева получена двухходовая таблица (табл. 3).

Согласно табл. 3, величина МОВ у крупных деревьев может достигать 15 кг, при этом в культурах показатель примерно вдвое выше, чем в естественных древостоях.

В современной литературе имеются результаты моделирования и построения таксационных таблиц надземной биомассы деревьев сосны обыкновенной по диаметру кроны и высоте дерева [5; 6]. Для того, чтобы дополнить упомянутые модели и таблицы данными о МОВ, мы включили в структуру модели (6) дополнительную независимую переменную, а именно, показатель надземной биомассы дерева. В результате получена модель:

$$\begin{aligned} \ln P_d = & -6,1015 + 0,3926(\ln P_a) + 0,6982(\ln D_{cr}) + \\ & + 1,8479(\ln H) + 0,7337B; \\ \text{adj}R^2 = & 0,860; \text{SE} = 0,81. \end{aligned} \quad (7)$$

Вклады диаметра кроны, высоты дерева, надземной биомассы и происхождения древостоя в объяснение изменчивости МОВ составили соответственно 18, 33, 17 и 32 %. Для составления таблицы согласно модели (7), аналогичной табл. 3, по исходным данным рассчитана вспомогательная модель:

$$\begin{aligned} \ln P_d = & -2,9048 + 1,1805(\ln D_{cr}) + 2,1794(\ln H) + \\ & + 0,1878B; \text{adj}R^2 = 0,937; \\ \text{SE} = & 0,41. \end{aligned} \quad (8)$$

Путем последовательного табулирования модели (8) по задаваемым значениям диаметра кроны и высоты дерева, а затем – модели (7) по тем же значениям диаметра кроны, высоты дерева и расчетным значениям надземной биомассы получена искомая табл. 4.

Согласно табл. 4, величина МОВ в процентном выражении по отношению к надземной биомассе по мере увеличения размеров дерева возрастает в естественных древостоях от 2 до 6 % и в культурах от 3,5 до 11 %.

При бортовом лазерном зондировании не всегда можно отличить естественные древостои и культуры, особенно с возрастом. Поэтому для таких ситуаций рассчитаны обобщенные модели МОВ, т. е. без разделения исходных данных по происхождению древостоев. Для этого использован массив исходных данных, включающий совокупность деревьев естественного происхождения и культур трех сосновых боров: Аман-Карагайского, Ара-Карагайского и Казахского мелкосопочника (табл. 1). Получена модель:

$$\begin{aligned} \ln P_d = & -6,0949 + 1,1444(\ln D_{cr}) + 2,3321(\ln H); \\ \text{adj}R^2 = & 0,814; \text{SE} = 0,88, \end{aligned} \quad (9)$$

табулированием которой по задаваемым значениям диаметра кроны и высоты дерева получена табл. 5. Вклады диаметра кроны и высоты дерева в объяснение изменчивости МОВ составили соответственно 32 и 68 %.

С целью совмещения данных МОВ с имеющимися моделями и таблицами для надземной биомассы сосняков, по тому же обобщенному массиву исходных данных трех сосновых боров рассчитана рекурсивная система моделей:

$$\begin{aligned} \ln P_a = & -2,8320 + 1,2158(\ln D_{cr}) + 2,1826(\ln H); \\ \text{adj}R^2 = & 0,945; \text{SE} = 0,44; \\ \downarrow & \\ \ln P_d = & -4,6380 + 0,4816(\ln P_a) + 0,6382(\ln D_{cr}) + \\ & + 1,2289(\ln H); \text{adj}R^2 = 0,832; \text{SE} = 0,85. \end{aligned} \quad (10)$$

Вклады диаметра кроны, высоты дерева и надземной биомассы в объяснение изменчивости МОВ в системе моделей (10) составили соответственно 28, 37 и 35 %. Последовательным табулированием системы (10) в направлении, показанном стрелкой, вначале

– надземной биомассы по задаваемым значениям диаметра кроны и высоты дерева, а затем – по тем же значениям диаметра кроны и высоты ствола и расчетным значениям надземной биомассы, получена искомая табл. 6.

Таблица 3

Расчетные согласно модели (6) значения МОВ (кг) деревьев естественного происхождения (верхняя строка) и культур (нижняя строка) в зависимости от диаметра кроны и высоты дерева

Высота дерева, м	Диаметр кроны, м						
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
2	0,003	0,005	0,007	0,009	–	–	–
	0,006	0,012	0,016	0,021			
6	0,06	0,10	0,15	0,19	0,23	–	–
	0,14	0,24	0,35	0,44	0,53		
10	–	0,43	0,61	0,78	0,94	1,10	–
		1,01	1,43	1,83	2,21	2,58	
14	–	–	1,55	1,98	2,39	2,79	3,19
			3,65	4,66	5,64	6,59	7,51
18	–	–	–	–	4,81	5,62	6,41
					11,35	13,25	15,11

Таблица 4

Расчетные значения МОВ (кг) (средняя строка) и Pd/Pa (%) (нижняя строка) в зависимости от диаметра кроны и высоты ствола, сопряженные с надземной биомассой (верхняя строка) в естественных древостоях и культурах

Высота дерева, м	Диаметр кроны, м						
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Естественные древостои							
2	0,11	0,25	0,40	0,56	—	—	—
	0,002	0,005	0,007	0,010			
	1,9	1,9	1,9	1,9			
6	1,20	2,72	4,39	6,16	8,02	—	—
	0,04	0,09	0,15	0,20	0,26		
	3,4	3,3	3,3	3,3	3,3		
10	—	8,28	13,36	18,76	24,41	30,28	—
		0,36	0,58	0,81	1,05	1,30	
		4,4	4,3	4,3	4,3	4,3	
14	—	—	27,81	39,06	50,83	63,03	75,61
			1,44	2,01	2,60	3,22	3,85
			5,2	5,1	5,1	5,1	5,1
18	—	—	—	—	87,90	109,00	130,76
					5,14	6,35	7,60
					5,8	5,8	5,8
Культуры							
2	0,13	0,30	0,48	0,68	—	—	—
	0,005	0,010	0,017	0,023			
	3,5	3,5	3,5	3,4			
6	1,45	3,28	5,29	7,44	9,68	—	—
	0,09	0,20	0,33	0,46	0,59		
	6,3	6,2	6,2	6,1	6,1		
10	—	9,99	16,12	22,64	29,46	36,53	—
		0,81	1,30	1,81	2,35	2,91	
		8,1	8,1	8,0	8,0	8,0	
14	—	—	33,56	47,1	61,3	76,1	91,2
			3,23	4,51	5,84	7,22	8,63
			9,6	9,6	9,5	9,5	9,5
18	—	—	—	—	106,0	131,5	157,8
					11,52	14,24	17,03
					10,9	10,8	10,8

Таблица 5

Расчетные значения МОВ (кг) деревьев сосны обыкновенной островных боров степной зоны в зависимости от диаметра кроны и высоты дерева

Высота дерева, м	Диаметр кроны, м						
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
2	0,005	0,011	0,018	0,025	–	–	–
6	0,07	0,15	0,23	0,33	0,42	–	–
10	–	0,48	0,77	1,07	1,38	1,70	–
14	–	–	1,69	2,35	3,03	3,73	4,45
18	–	–	–	–	5,44	6,71	8,00

Таблица 6

Расчетные значения МОВ (кг) (средняя строка) и Pd/Pa (%) (нижняя строка) в зависимости от диаметра кроны и высоты ствола, сопряженные с надземной биомассой (верхняя строка)

Высота дерева, м	Диаметр кроны, м						
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
2	0,12	0,27	0,44	0,62	–	–	–
	0,005	0,012	0,020	0,028			
	4,5	4,5	4,5	4,5			
6	1,27	2,94	4,81	6,83	8,96	–	–
	0,06	0,15	0,24	0,34	0,45		
	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0		
10	–	8,97	14,68	20,83	27,32	34,10	–
		0,47	0,77	1,10	1,45	1,81	
		5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	
14	–	–	30,6	43,4	56,9	71,1	85,7
			1,67	2,37	3,12	3,89	4,70
			5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
18	–	–	–	–	98,5	123,0	148,4
					5,53	6,91	8,34
					5,6	5,6	5,6

Доля МОВ деревьев на уровне 5–6 % к надземной биомассе, оцениваемая без учета их происхождения (табл. 6), конечно, невелика, и может возникнуть вопрос о целесообразности ее учета. Как известно, в статистическом оценивании различают две основные разновидности ошибок – случайные и систематические. Если случайная ошибка «работает» как на увеличение, так и на снижение оценки, и может быть скорректирована, например, увеличением числа наблюдений, то систематическую ошибку снизить увеличением числа наблюдений нельзя, и в расчетах углеродных пулов в сосновых лесах степной зоны необходимо вносить поправку на величину МОВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлена положительная связь МОВ как с диаметром кроны, так и с высотой дерева, значимая на уровне $p < 0,001$. Аллометрическая модель МОВ, включающая такие независимые переменные, как диаметр кроны, высота дерева и происхождение древостоя, объясняет 84 % изменчивости МОВ на уровне $p < 0,001$. Величина МОВ у крупных деревьев может достигать 15 кг, при этом в культурах показатель примерно вдвое выше, чем в естественных древостоях. В процентном выражении величина МОВ по отношению к надземной биомассе по мере увеличения размеров дерева возрастает в естественных древостоях от 2 до 6 % и в культурах от 3,5 до 11 %.

Вклады диаметра кроны, высоты дерева и происхождения древостоя в объяснение изменчивости МОВ составили соответственно 19, 62 и 19 %. При включении надземной биомассы в модель МОВ в качестве дополнительной переменной вклады диаметра кроны, высоты дерева, надземной биомассы и происхождения древостоя в объяснение изменчивости МОВ составили соответственно 18, 33, 17 и 32 %.

Предложенные аллометрические модели и таксационные таблицы могут быть использованы при оценках МОВ сосны обыкновенной на основе бортового и наземного лазерного зондирования. При расчетах углеродных пулов в сосновых лесах степной зоны необходимо вносить 5–6%-ную поправку на величину МОВ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бабич Н. А., Мерзленко М. Д., Евдокимов И. В. Фитомасса культур сосны и ели в европейской части России. Архангельск : АГТУ, 2004. 112 с.
2. Залесов С. В., Лобанов А. Н., Луганский Н. А. Рост и производительность сосняков искусственного и естественного происхождения. Екатеринбург : УГЛТУ, 2002. 112 с.
3. Семечкина М. Г. Структура фитомассы сосняков. Новосибирск : Наука, 1978. 165 с.
4. Усольцев В. А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. Красноярск : Изд-во

Красноярского ун-та, 1985. 191 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3353>).

5. Усольцев В. А. Фитомасса модельных деревьев лесообразующих пород Евразии: база данных, климатически обусловленная география, таксационные нормативы. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 336 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/5696>).

6. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Обновленные аллометрические модели биомассы 19 древесных видов и родов Евразии для бортового лазерного зондирования // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39, № 6. С. 469–479.

7. Усольцев В. А., Цепордей И. С., Норицин Д. В. Аллометрические модели для оценки биомассы корней лесообразующих родов Евразии дистанционными методами с учетом глобального потепления // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. 40. № 1. С. 65–75.

8. Уткин А. И., Ермолова Л. С. Первичная продуктивность культур сосны обыкновенной Ульяновского Поволжья // Биологическая продуктивность лесов Поволжья. М. : Наука, 1982. С. 186–195.

9. Ahmed R., Siqueira P., Hensley S., Bergen K. Uncertainty of forest biomass estimates in north temperate forests due to allometry: Implications for remote sensing // Remote Sensing. 2013. Vol. 5. P. 3007–3036. doi:10.3390/rs5063007.

10. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Canadian Journal of Forest Research. 1972. Vol. 2. P. 49–53.

11. Blanchette D., Fournier R. A., Luther J. E., Côté J.-F. Predicting wood fiber attributes using local-scale metrics from terrestrial LiDAR data: A case study of Newfoundland conifer species // Forest Ecology and Management. 2015. Vol. 347. P. 116–129.

12. Brede B., Terryn L., Barbier N. et al. Non-destructive estimation of individual tree biomass: Allometric models, terrestrial and UAV laser scanning // Remote Sensing of Environment. 2022. Vol. 280. Article 113180. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113180>.

13. Calders K., Newnham G., Burt A. et al. Nondestructive estimates of above-ground biomass using terrestrial laser scanning // Methods in Ecology and Evolution. 2015. Vol. 6. No. 2. P. 198–208. doi: 10.1111/2041-210X.12301.

14. Camarretta N., Harrison P. A., Lucieer A. et al. Handheld laser scanning detects spatio-temporal differences in the development of structural traits among species in restoration plantings // Remote Sensing. 2021. Vol. 13. Article 1706.

15. Falster D. S., Duursma R. A., Ishihara M. I. et al. BAAD: a Biomass And Allometry Database for woody plants // Ecology. 2015. Vol. 96. P. 1445–1445. DOI: 10.1890/14-1889.1.

16. Machimura T., Fujimoto A., Hayashi K. et al. A novel tree biomass estimation model applying the pipe model theory and adaptable to UAV-derived canopy height models // Forests. 2021. Vol. 12. No. 2. Article 258.

17. Schepaschenko D., Shvidenko A., Usoltsev V. A. et al. A dataset of forest biomass structure for Eurasia // Scientific Data. 2017. Vol. 4. Article 170070.

18. Usoltsev V. A., Shobairi O., Tsepordey I. S. Feedback modelling of natural stand and plantation

biomass to changes in climatic factors (temperatures and precipitation): A special case for two-needle pines in Eurasia // Journal of Climate Change. 2020. Vol. 6. No. 2. P. 15–32.

19. Vandendaele B., Fournier R. A., Vepakomma U. et al. Estimation of northern hardwood forest inventory attributes using UAV laser scanning (ULS): Transferability of laser scanning methods and comparison of automated approaches at the tree and stand-level // Remote Sensing. 2021. Vol. 13. Article 2796.

REFERENCES

1. Babich N. A., Merzlenko M. D., Evdokimov I. V. Phytomass of pine and spruce plantations in the European part of Russia. Arkhangelsk: AGTU, 2004. 112 p.

2. Zalesov S. V., Lobanov A. N., Lugansky N. A. Growth and productivity of pine forests of artificial and natural origin. Yekaterinburg: UGLTU, 2002. 112 p.

3. Semechkina M. G. The structure of the phytomass of pine forests. Novosibirsk: Nauka, 1978. 165 p.

4. Usoltsev V. A. Modeling of the structure and dynamics of stands phytomass. Krasnoyarsk: Publishing house of the Krasnoyarsk University, 1985. 191 p. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3353>).

5. Usoltsev V. A. Single-tree biomass of forest-forming species in Eurasia: database, climate-related geography, weight tables. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University. 2016. 336 p. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/5696>).

6. Usoltsev V. A., Tsepordey I. S. Updated allometric models of biomass of 19 woody species and genera of Eurasia for airborne laser sensing // Coniferous of the boreal area. 2021. Vol. 39. No. 6. P. 469–479.

7. Usoltsev V. A., Tsepordey I. S. Allometric models for estimating the root biomass of Eurasian forest-forming genera by remote sensing as related to global warming // Coniferous of the boreal area. 2022. Vol. 40. No. 1. P. 65–75.

8. Utkin A. I., Ermolova, L. S. Primary productivity of Scots pine plantations of the Ulyanovsk Volga region // Biological productivity of forests of the Volga region. M. : Nauka, 1982. P. 186–195.

9. Ahmed R., Siqueira P., Hensley S., Bergen K. Uncertainty of forest biomass estimates in north temperate forests due to allometry: Implications for remote sensing // Remote Sensing. 2013. Vol. 5. P. 3007–3036. doi:10.3390/rs5063007.

10. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Canadian Journal of Forest Research. 1972. Vol. 2. P. 49–53.

11. Blanchette D., Fournier R. A., Luther J. E., Côté J.-F. Predicting wood fiber attributes using local-scale metrics from terrestrial LiDAR data: A case study of Newfoundland conifer species // Forest Ecology and Management. 2015. Vol. 347. P. 116–129.

12. Brede B., Terryn L., Barbier N. et al. Non-destructive estimation of individual tree biomass: Allometric models, terrestrial and UAV laser scanning // Remote Sensing of Environment. 2022. Vol. 280. Article 113180. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113180>.

13. Calders K., Newnham G., Burt A. et al. Nondestructive estimates of above-ground biomass using

terrestrial laser scanning // *Methods in Ecology and Evolution*. 2014. Vol. 6. No. 2. P. 198–208. Doi: 10.1111/2041-210X.12301.

14. Camarretta N., Harrison P. A., Lucieer A. et al. Handheld laser scanning detects spatiotemporal differences in the development of structural traits among species in restoration plantings // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. Article 1706.

15. Falster D. S., Duursma R. A., Ishihara M. I. et al. BAAD: a Biomass And Allometry Database for woody plants // *Ecology*. 2015. Vol. 96. P. 1445–1445. DOI: 10.1890/14-1889.1.

16. Machimura T., Fujimoto A., Hayashi K. et al. A novel tree biomass estimation model applying the pipe model theory and adaptable to UAV-derived canopy height models // *Forests*. 2021. Vol. 12. No. 2. Article 258.

17. Schepaschenko D., Shvidenko A., Usoltsev V. A. et al. A dataset of forest biomass structure for Eurasia // *Scientific Data*. 2017. Vol. 4. Article 170070.

18. Usoltsev V. A., Shobairi O., Tsepordey I. S. Feedback modelling of natural stand and plantation biomass to changes in climatic factors (temperatures and precipitation): A special case for two-needle pines in Eurasia // *Journal of Climate Change*. 2020. Vol. 6. No. 2. P. 15–32.

19. Vandendaele B., Fournier R. A., Vepakomma U. et al. Estimation of northern hardwood forest inventory attributes using UAV laser scanning (ULS): Transferability of laser scanning methods and comparison of automated approaches at the tree and stand-level // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. Article 2796.

© Усольцев В. А., Цепордей И. С., 2023

Поступила в редакцию 20.09.2022
Принята к печати 10.01.2023

ДИНАМИКА СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЗА 20-й ПЕРИОД В УСЛОВИЯХ УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ЛЕСХОЗА СИБГУ*

С. А. Чанчикова, А. И. Мельник, А. А. Вайс, Н. В. Козлов

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: vais6365@mail.ru

Для решения разных хозяйственных задач очень важно знать, как с увеличением возраста изменяются таксационные показатели в насаждениях и различных условиях местопроизрастания, а также количественные и качественные признаки в целом. Исследования предполагали обработку материалов лесоустройства. В качестве исходных данных использовали таксационные показатели за 1982 и 2002 г.

Программа исследований включала: изучение динамики лесного фонда по материалам лесоустройства 1982 и 2002 года; исследование средних показателей (возраста, бонитета, полноты и др.); определение динамики таксационных показателей за двадцатилетний период.

При оценке распределении лесного фонда по категориям земель как в 1982-м, так и в 2002-м году по площади преобладали покрытые лесной растительностью земли. Относительно среднего запаса и прироста на 1 га самыми высокими показателями характеризовалась сосновая хозсекция, при этом средний запас на 1 га сосновых древостоев за 20 лет вырос на $28 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, а средний прирост на 1 га за тот же период на $0,1 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

Относительно динамики таксационных показателей сосновых насаждений: запас углерода для преобладающей части выделов изменился от 51,66 тС/га до 91,30 тС/га.

При оценке данных в статике линии среднего и текущего прироста не пересекались, что указывает на неоднородность исходного материала, поскольку для оценки динамики использовались как нормальные, так и модальные насаждения. Однако данные в динамике позволили определить, что возраст количественной спелости сосняков Караульного участкового лесничества составляет 70 лет.

Ключевые слова: сосна, динамика, лесной фонд, лесоустройство, таксационные показатели, углерод.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 1, P. 65–72

DYNAMICS OF PINE STANDS FOR THE 20-TH PERIOD IN THE CONDITIONS OF THE EDUCATIONAL AND EXPERIMENTAL FORESTRY OF SIBSU

S. A. Chanchikova, A. I. Melnik, A. A. Vais, N. V. Kozlov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: vais6365@mail.ru

To solve various economic problems it is very important to know how taxation indicators change with increasing age in stands and different growing conditions, as well as quantitative and qualitative features in general. The research involved the processing of forest inventory materials. As the initial data we used taxation indicators for 1982 and 2002.

The research program included: study of dynamics of the forest inventory materials in 1982 and 2002; study of average indicators (age, bonitet, completeness, etc.); definition of dynamics of taxation indicators for the twenty-year period.

When estimating the distribution of the forest fund by land categories, both in 1982 and in 2002, the area of land covered by forest vegetation prevailed. Concerning the average stock and gain per 1 ha, the highest indicators were characteristic of the pine stand, with the average stock per 1 ha of pine stands growing by $28 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ and the average gain per 1 ha over the same period by $0.1 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

Regarding the dynamics of the taxation indicators of pine stands: the carbon stock for the predominant part of allotments changed from 51.66 tC/ha to 91.30 tC/ha.

When evaluating the data in statics, the lines of average and current growth did not overlap, indicating the heterogeneity of the source material, since both normal and modal stands were used to evaluate the dynamics.

* Исследование проводилось в рамках государственного задания, установленного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, для реализации проекта «Оценка устойчивости лесных экосистем к изменению климата как основа мониторинга углеродного бюджета» (FEFE– 2021–0018) коллективом научной лаборатории «Лесных экосистем».

However, the data in dynamics made it possible to determine that the age of quantitative ripeness of pine forests of Karaulnoe section forestry is 70 years.

Keywords: scots pine, dynamics, forest fund, forest inventory, inventory indices, carbon.

ВВЕДЕНИЕ

Таксационные показатели и их динамика на данный момент изучены и представлены в сравнительно большом количестве работ ученых, каждый из которых освещает этот вопрос со своей позиции.

По мнению Н. П. Анучина, в задаче таксации входит установление и оценка происходящих в лесу количественных и качественных изменений, выражающихся в ежегодном отпаде (отмирании) части деревьев и приросте остающихся. Этот биологический закон следует рассматривать как процесс движения, развития [1].

Для решения разных хозяйственных задач очень важно знать, как с увеличением возраста изменяются таксационные показатели в насаждениях разных пород в различных условиях местопроизрастания, а также показатели насаждения в целом [2].

Изменения количества деревьев с возрастом, характеризующие интенсивность процесса изреживания, давно изучаются лесоводами и отражены в «Таблицах хода роста нормальных насаждений». Некоторое общее представление об убыли деревьев с возрастом представляют данные профессора А. В. Тюрина, относящиеся к сосновым лесам Архангельской области [3].

Независимо от того, по каким категориям классифицируются насаждения, используют вероятностные методы в установлении таксационных показателей во времени [4].

Профессор Н. В. Третьяков различает три типа роста и развития древостоев: обычный, с падающей и возрастающей энергией роста с возрастом. Поэтому он считал несостоятельной идею составления общих и всеобщих таблиц хода роста насаждений. В последующем эти типы роста подтверждены исследованиями В. В. Загреева, Е. И. Цурика, Л. Ф. Лебкова и других авторов [5].

Таксационные показатели деревьев и древостоев могут зависеть от множества различных факторов. К ним относятся условия среды, антропогенные воздействия и многое другое. Одним из важнейших аспектов, влияющих на динамику таксационных показателей, является, по мнению И. С. Мелехова, воздействие организмов, существующих в едином биогеоценозе друг на друга [2].

В лесном хозяйстве очень важно знать, как изменяются во времени размеры растущих деревьев и количество (запас) древесины в насаждениях или, иными словами, величину прироста отдельных деревьев и целых насаждений [1; 6]. Различают текущий и средний прирост. Текущий прирост – это увеличение таксационного показателя за определенный период времени. Средний прирост – это увеличение таксационного показателя в среднем за один год какого-либо периода времени.

Прирост таксационных показателей измеряется в абсолютных величинах в тех же единицах, что и сами таксационные показатели [7]. Оба эти показателя применялись и в нашей работе.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования в данной работе включали в себя обработку материалов лесоустройства. В качестве исходных материалов использовали таксационные данные лесоустройства за 1982 г. и 2002 г.

Выявление динамики таксационных показателей за двадцатилетний период требует сравнительного анализа данных 1982 и 2002 годов. Подбор данных производился из лесоустроительных материалов, в которых указаны таксационные характеристики объекта. В начале работы выбрали сосновые насаждения, а также определили границы рассматриваемых территорий (поквартальный метод), в данном случае изучались квартала 49, 50, 51 и 52.

Все методы анализа делятся на две группы:

- по материалам учета лесного фонда;
- по материалам лесоустройства.

Первая группа методов позволяет изучать совокупности лесных ресурсов величиной от лесхоза до всего гослесфонда страны, и очень удобна по трудоемкости, компактности и однородности представления материала. Но эти методы почти не позволяют проверить сопоставимость данных, а тем более ввести в них коррективы. В дальнейшем изложении они названы методами анализа динамики лесных ресурсов (ДЛР).

Вторая группа методов дает более объективную оценку, но и более трудоемка, так как предполагает оценку материалов лесоустройства и их корректировку. В дальнейшем изложении она названа методами анализа динамики лесного фонда (ДЛФ). Основу для обеих групп дает инвентаризация лесных ресурсов.

Принципиальной основой достижения максимально доказательного анализа и выявления действительной ДЛФ являются:

- выбор в качестве объекта анализа лесных массивов, хозяйственные характеристики которых как можно более однородны, но размеры достаточно велики, чтобы обеспечить статистическую достоверность материалов;
- приведение материалов разных лет в сопоставимое состояние;
- пространственный анализ на базе картографических материалов;
- анализ более чем по двум моментам наблюдения, т.е. более чем по одному ревизионному периоду (условие важное, но не всегда выполнимое).

Приведение материалов разных лет в сопоставимое состояние может проводиться по многим параметрам. Обязательными являются:

- совмещение границ объектов анализа ДЛФ;
- устранение неувязок по площади;
- снятие различий в применявшихся таблицах запасов, бонитетов, полнот, в методах определения этих показателей;
- устранение смысловых разночтений в разделении покрытых и не покрытых лесом земель, а также

в отнесении не лесопокрытых участков к той или иной категории (гари, редины и т.п.);

- устранение систематических расхождений в определении доли пород;
- устранение различий в определении преобладающей породы;
- устранение систематических расхождений в определении возрастов древостоев [8].

Расчет запаса углерода производился методом конверсионных коэффициентов [9].

Помимо приведенной информации, в методику исследований входило использование специализированной программы «Квартал» и применение различных расчетов и формул.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании данных, полученных в результате обработки таксационных материалов при помощи программы «Квартал», построены графики (рис. 1).

На территории общая площадь лесных земель возросла на 3,8 га, а площадь покрытых лесной растительностью земель увеличилась на 3 га в 2002 году по сравнению с 1982 годом. При этом площадь нелесных земель к 2002 году сократилась на 1,8 га. Прирост лесных земель и земель, покрытых лесной растительностью, наблюдается в пятидесятом и пятьдесят втором квартале, в сорок девятом, напротив, происходит сокращение лесных площадей и увеличение нелесных. В пятьдесят первом квартале изменений по данному соотношению практически не наблюдалось.

Как в 1982-ом, так и в 2002-ом году по площади преобладали покрытые лесной растительностью земли. Минимальную площадь занимали нелесные земли.

На основе ведомостей, в которых содержатся данные о классах возраста, площадях и запасах насаждений за 1982 и 2002 годы, построены диаграммы площадей насаждений по классам возраста, полноте и породе (рис. 2 и 3).

На основании диаграммы, представленной на рис. 2, можно сделать вывод о том, что преобладающую

площадь земель, по данным за 1982 год, занимают покрытые лесной растительностью (139,9 га), а минимальную - сенокосы (1,2 га).

Максимальную площадь лесного фонда по данным 2002 и 1982 гг. занимают покрытые лесной растительностью земли и составляют 142,9 га. Самыми малочисленными являются воды, их площадь составила 0,2 га.

Помимо уже полученных данных и выводов, интерес представляют средние и суммарные показатели древостоев (табл. 1).

Максимальный прирост по общему запасу насаждений установлен по березовой хозсекции (152–243 дес. $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), меньше по сосновой хозсекции (309–344 дес. $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), по осиновой хозсекции наблюдался распад насаждений (38–0 дес. $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$). На потенциал роста косвенно указывает запас спелых и перестойных насаждений.

В этих группах максимальным потенциалом характеризовалась сосновая хозсекция (309–132; 344–161 дес. $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$). Березовая хозсекция исчерпала ростовые возможности к 2002 году (243–243 дес. $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$). Осиновая хозсекция в 1982 году не имела молодых насаждений (38–38 дес. $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), что и привело к 2002 году исчезновению осиновых насаждений. Качество условий местопроизрастания (класс бонитета) и полнота характеризовались стабильностью или незначительным увеличением (сосновая хозсекция 0,68–0,74).

Данные по запасам и приростам представлены графически (рис. 4). Положительная незначительная динамика запаса установлена по сосновой и березовой хозсекциям. Максимальным приростом в динамике характеризовались березовые насаждения (2,4–3,1 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), затем сосняки (3,7–3,8 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) и осинники (0,6–0 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$).

Различий по годам не наблюдалось, т.е. данные образуют единые облака точек, что позволило построить объединенные графики и аппроксимировать их полиномом второго порядка – связь средней высоты и возраста; линейным уравнением – связь среднего диаметра с возрастом; степенным уравнением – связь запаса и возраста (рис. 5).

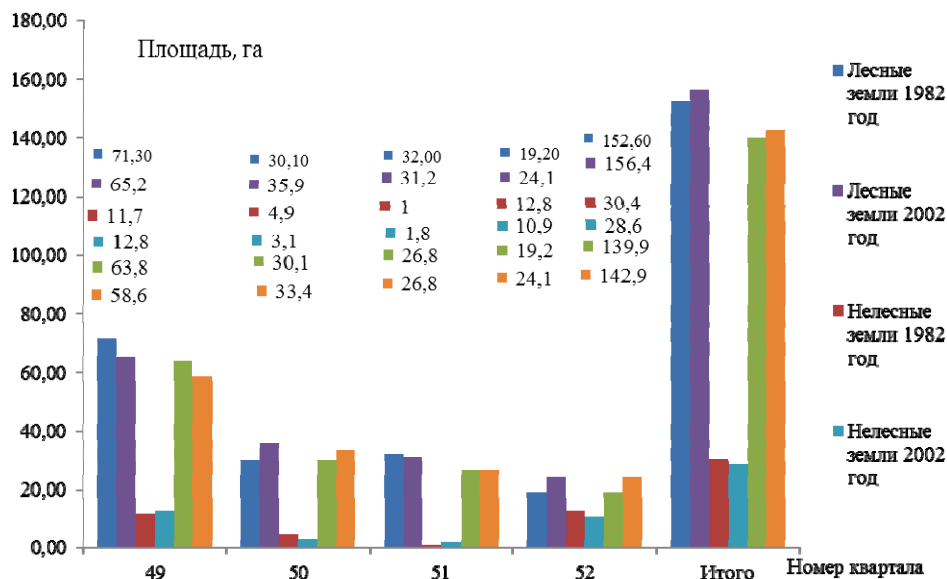


Рис. 1. Распределение площади лесного фонда по категориям земель, га

С помощью степенного уравнения данные запаса аппроксимированы и на их основе получены средние запасы сосновых насаждений, средний прирост по запасу и текущий прирост по запасу. Для расчета использовались следующие формулы:

$$\Delta M = M/A, \quad (1)$$

где ΔM – средний прирост по запасу, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$; M – запас, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$; A – возраст, лет.

$$\Delta M_{A-(A-n)} = (M_A - M_{A-n}) / (A_A - A_{A-n}), \quad (2)$$

где $\Delta M_{A-(A-n)}$ – текущий прирост по запасу, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$; M_A – запас в возрасте последнего измерения, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

M_{A-n} – запас в возрасте предыдущего измерения, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$; A_A – последний возраст, лет; A_{A-n} – предыдущий возраст, лет.

Для расчета динамики таксационных показателей использовалась формула периодического прироста:

$$\Delta_{2002-1982} = \text{ТП}_{2002} - \text{ТП}_{1982}, \quad (3)$$

где $\Delta_{2002-1982}$ – периодический прирост; ТП_{2002} – таксационный показатель за 2002 год; ТП_{1982} – таксационный показатель за 1982 год.

В табл. 2 приведен расчет среднего и текущего прироста по запасу за 1982 и 2002 годы.



Рис. 2. Распределение лесного фонда по категориям земель (1982 год), га

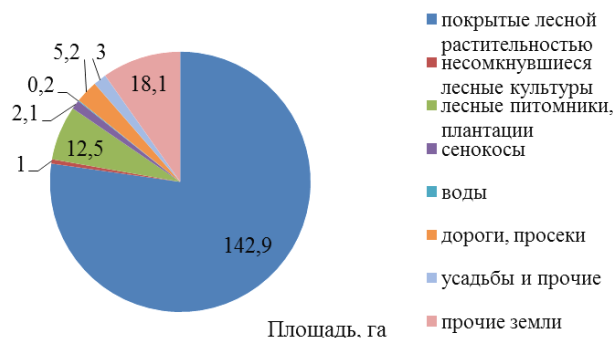


Рис. 3. Распределение лесного фонда по категориям земель (2002 год), га

Таблица 1
Средние и суммарные показатели (1982–2002 годы)

Хозсекция	Суммарные показатели		Средние показатели						
	общий запас насаждений, дес. м ³ *га ⁻¹	запас спелых и перестойных насаждений, дес. м ³ *га ⁻¹	возраст, лет	класс бонитета	полнота	запас, м ³ *га ⁻¹		прирост, м ³ *га ⁻¹	
						лесопокрытой площади	спелых и перестойных насаждений	лесных земель	земель, покрытых лесом
Хозяйств – эксплуатационная лесов II группы						потребления			
1982 год									
Березовая	152	138	64	II,1	0,50	143	150	2,4	2,4
Осиновая	38	38	65	II,0	0,60	181	181	0,6	0,6
Сосновая	309	132	84	II,4	0,68	243	186	3,7	3,7
2002 год									
Березовая	243	243	79	II,3	0,51	154	154	3,1	3,1
Осиновая	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сосновая	344	161	91	II,4	0,74	271	267	3,8	3,8

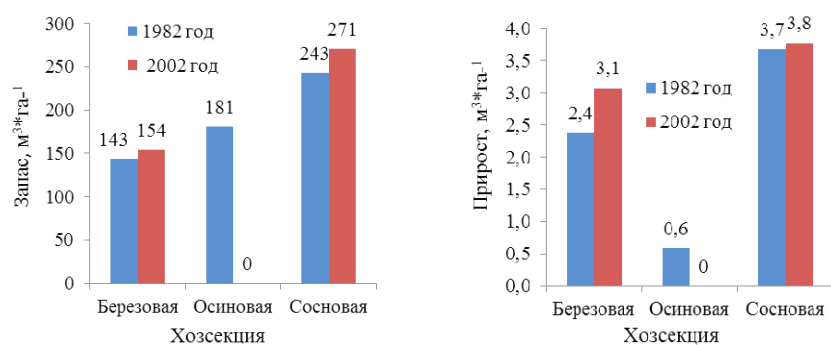


Рис. 4. Средние показатели запаса и прироста по запасу на 1 га лесных земель

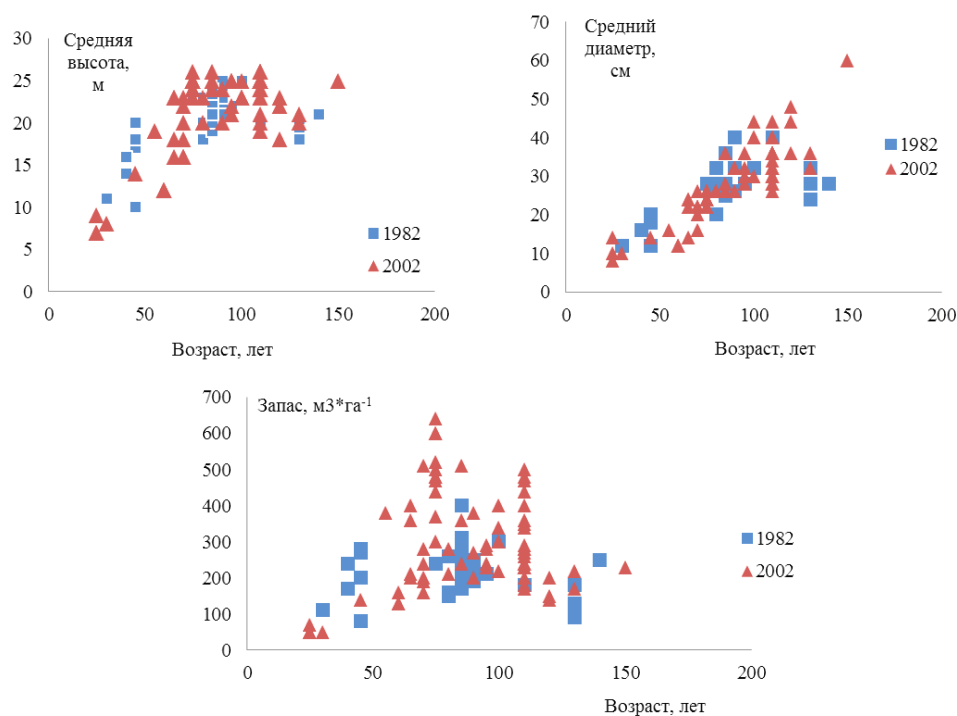


Рис. 5. Связь средней высоты, среднего возраста и запаса с возрастом насаждения

Таблица 2

Расчет среднего и текущего прироста по запасу (1982–2002 год)

Возраст, лет	Запас, м³*га⁻¹	Средний прирост по запасу, м³*га⁻¹	Текущий прирост по запасу, м³*га⁻¹	Запас углерода, тС*га⁻¹
30	149	4,97	—	50,66
40	171	4,28	2,2	58,14
50	191	3,82	2,0	52,14
60	209	3,48	1,8	57,06
70	226	3,23	1,7	61,70
80	241	3,01	1,5	65,79
90	255	2,83	1,4	67,58
100	269	2,69	1,4	71,29
110	282	2,56	1,3	81,22
120	294	2,45	1,2	84,67
130	306	2,35	1,2	88,13
140	317	2,26	1,1	91,30

Средний прирост по запасу варьировал в возрасте 30 лет от 2,26 м³*га⁻¹, а в 140 лет до 4,97 м³*га⁻¹, текущий прирост по запасу – от 1,1 м³*га⁻¹ до 2,2 м³*га⁻¹. Поскольку, во всех случаях, наблюдался текущий прирост ниже среднего, это указывает на то, что насажде-

ния прошли период пика своей продуктивности. Запас углерода варьировал в молодом возрасте (30 лет) от 51,66 тС*га⁻¹, в возрасте 140 лет до 91,30 тС*га⁻¹.

Поскольку не все выдела взяты для оценки динамики по различным причинам (сосновые насаждения

перешли в березовые, некорректные таксационные показатели и т. д.), для составления следующей таблицы использовались данные 1982 и 2002 года, которые можно было сопоставить друг с другом. Данные получены по регрессионным уравнениям (табл. 3).

Некорректность некоторых динамических данных указывает на разную поведельную ситуацию по данным 1982 и 2002 года, что, безусловно, сказывается на динамике таксационных показателей. Основным показателем, оценивающим продуктивность насаждения, является хозяйственный и углеродный запасы. Данные динамики запаса углерода являются достаточно корректными, и их динамика может являться критерием для оценки углеродного пула (от 3,74 тС*га⁻¹ (1982 год) – 29,15 тС*га⁻¹ (2002 год) до 73,71 тС*га⁻¹ (1982 год) – 139,23 тС*га⁻¹ (2002 год)).

На рис. 6 представлена зависимость запаса древесины от возраста.

С целью оценки динамики изменений запаса применялось уравнение параболического вида (рис. 6), которое аппроксимировалось с последующим вычислением среднего и текущего прироста по запасу.

В табл. 4 приведены средние и текущие изменения запаса с учетом динамики запаса за 1982 и 2002 годы.

Средний прирост по запасу варьировал от 0,72 м³*га⁻¹ до 3,17 м³*га⁻¹, а по запасу углерода от 0,09 тС*га⁻¹ до 0,4 тС*га⁻¹. Текущий прирост по запасу – от –4,75 м³*га⁻¹ до 6,73 м³*га⁻¹, по запасу углерода от –0,15 тС*га⁻¹ до 0,11 тС*га⁻¹. Поскольку, во всех случаях, наблюдается текущий прирост ниже среднего, это указывает на то, что насаждения прошли период пика своей продуктивности. Запас углерода варьировал от 6,34 тС*га⁻¹ до 72,86 тС*га⁻¹.

Для оценки возраста естественной спелости данные по среднему и текущему изменению прироста по запасу нанесены на график с получением точки пересечения линий, которая и показывает возраст количественной спелости (рис. 7).

При оценке данных в статике линии среднего и текущего прироста не пересекаются, что указывает на неоднородность исходного материала, поскольку для оценки динамики были взяты как нормальные, так и модальные насаждения. Но данные в динамике позволили определить, что возраст количественной спелости сосняков Караульного участкового лесничества составляет 70 лет.

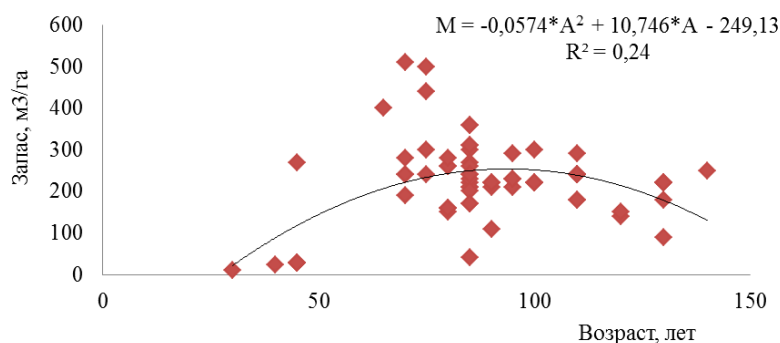


Рис. 6. Зависимость запаса от возраста

Таблица 3

Динамика таксационных показателей за двадцатилетний период (фрагмент)

Возраст, лет		Запас, м ³ *га ⁻¹		Запас углерода, тС*га ⁻¹		Периодический прирост по запасу, м ³ *га ⁻¹	Периодический прирост по запасу углерода, тС*га ⁻¹
1982	2002	1982	2002	1982	2002		
80	110	160	240	43,68	69,12	80	25,44
80	95	150	230	40,95	60,95	80	20
130	95	180	230	51,84	60,95	50	9,11
75	130	240	220	65,52	63,36	–20	–2,16
80	110	160	180	43,68	51,84	20	8,16
140	130	250	220	72,00	63,36	–30	–8,64
85	70	170	510	45,05	139,23	340	94,18
90	100	220	220	58,30	58,3	0	0
80	100	260	220	70,98	58,3	–40	–12,68
45	70	28	190	7,644	51,87	162	44,226
45	95	270	290	73,71	76,85	20	3,14
85	110	210	290	55,65	83,52	80	27,87
90	100	210	300	55,65	79,5	90	23,85
90	100	220	220	58,30	58,3	0	0
85	75	210	300	55,65	81,9	90	26,25
30	90	11	110	3,74	29,15	99	25,41
110	110	180	240	51,84	69,12	60	17,28
85	110	200	240	53,00	69,12	40	16,12

Таблица 4

Средние и текущие изменения запаса с учетом динамики запаса за 1982 и 2002 годы

Запас, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$	Запас углерода, $\text{тС} \cdot \text{га}^{-1}$	Средний прирост по запасу, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$	Средний прирост по запасу углерода, $\text{тС} \cdot \text{га}^{-1}$	Текущий прирост по запасу, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$	Текущий прирост по запасу углерода, $\text{тС} \cdot \text{га}^{-1}$
22	6,34	0,72	0,40	—	—
89	25,63	2,22	0,13	6,73	0,11
130	37,44	0,93	0,31	–4,75	–0,15
145	41,76	2,89	0,10	5,58	0,01
178	51,26	1,37	0,21	–3,60	–0,05
189	54,43	3,15	0,09	4,43	0,01
214	61,63	1,78	0,16	–2,46	–0,03
222	63,94	3,17	0,09	3,28	0,01
238	68,54	2,17	0,13	–1,31	–0,02
243	69,98	3,04	0,09	2,14	0,03
251	72,29	2,51	0,11	–0,16	–0,02
253	72,86	2,81	0,10	0,99	0,01

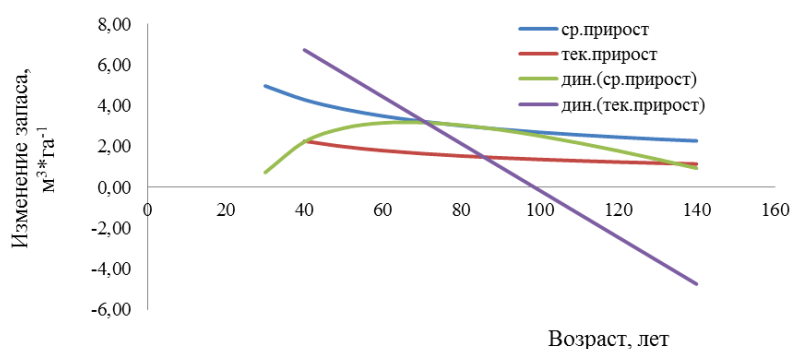


Рис. 7. Среднее и текущее изменение запаса в статике и динамике

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате изучения 20-ей динамики изменений (на примере нескольких кварталов) в лесном фонде сделаны следующие выводы.

Относительно распределения лесного фонда кварталов:

- общая площадь лесных земель возросла на 3,8 га, а площадь покрытых лесной растительностью земель возросла на 3 га в 2002 году по сравнению с 1982 годом;

- площадь нелесных земель к 2002 году сократилась на 1,8 га;

- прирост лесных земель и земель, покрытых лесной растительностью, наблюдалось в пятидесятом и пятидесяти втором квартале, в сорок девятом, напротив, происходило сокращение лесных площадей и увеличение нелесных, в пятьдесят первом квартале изменений по данному соотношению практически не наблюдалось;

- при распределении лесного фонда по категориям земель как в 1982-м, так и в 2002-м году по площади преобладали покрытые лесной растительностью земли, минимальную площадь – нелесные земли;

- в 1982 году преобладающую площадь земель занимали покрытые лесной растительностью (139,9 га), а минимальную площадь – сенокосы (1,2 га);

- в 2002 году максимальной площадью представлены покрытые лесной растительностью земли (142,9 га).

По средним показателям:

- максимальный прирост по общему запасу насаждений установлен по березовой хозсекции (152–243 дес. $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), меньше по сосновой хозсекции (309–344 дес. $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), по осиновой хозсекции наблюдался распад насаждений (38–0 дес. $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$);

- значительным потенциалом роста характеризовалась сосновая хозсекция (309–132; 344–161 дес. $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$). Березовая хозсекция исчерпала ростовые возможности к 2002 году (243–243 дес. $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$). Осинная хозсекция в 1982 году не имела молодых насаждений (38–38 дес. $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), что и привело к 2002 году исчезновению осинных насаждений.

Относительно динамики таксационных показателей сосновых насаждений:

- средний прирост по запасу варьировал в возрасте 30 лет от 2,26 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, а в 140 лет до 4,97 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

- текущий прирост по запасу варьировал в возрасте 30 лет от 1,1 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ до 2,2 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ в 140 лет;

- запас углерода варьировал в молодом возрасте (30 лет) от 51,66 $\text{тС} \cdot \text{га}^{-1}$, в возрасте 140 лет до 91,30 $\text{тС} \cdot \text{га}^{-1}$;

- данные динамики запаса углерода являются достаточно корректными, и их динамика может являться критерием для оценки углеродного пула (от 3,74 $\text{тС} \cdot \text{га}^{-1}$ (1982 год) – 29,15 $\text{тС} \cdot \text{га}^{-1}$ (2002 год) до 73,71 $\text{тС} \cdot \text{га}^{-1}$ (1982 год) – 139,23 $\text{тС} \cdot \text{га}^{-1}$ (2002 год));

- при оценке данных в статике линии среднего и текущего прироста не пересекаются, что указывает

на неоднородность исходного материала, поскольку для оценки динамики взяты как нормальные, так и модальные насаждения. Данные в динамике позволили определить, что возраст количественной спелости сосняков Караульного участкового лесничества составляет 70 лет.

Таким образом, таксационные показатели динамики лесного фонда позволили констатировать, что для исходной территории (подтаежно-лесостепной район Средней Сибири) потенциалом роста как древесной, тик и углеродной продуктивности обладают только сосновые насаждения. Осиновые древостои характеризуются ограниченными возможностями и после определенного возраста распадаются. Березовые насаждения после возраста количественной спелости также теряют потенциал роста, но при этом прирост этих насаждений достаточно высокий до периода распада.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Анучин Н. П. Лесная таксация : учебник для вузов. 5-е изд. доп. М. : Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
2. Методы составления таблиц хода роста насаждений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://biofile.ru/bio/33716.html>.
3. Мелехов И. С. Лесоведение: учебник для вузов. М. : Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.
4. Третьяков С. В., Горбунов А. А., Феклистов П. А. Ход роста смешанных модальных среднетаежных насаждений с преобладанием осины в Архангельской области // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2013. № 1. С. 21–22.
5. Верхунов П. М., Черных В. Л. Таксация леса : учебное пособие. 2-е изд., стереотип. Йошкар-Ола : Марийский государственный технический университет, 2009. 396 с.
6. Поздеев Д. А., Петров А. А. Таксация леса : учеб. пособие. Ижевск : ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2012. 161 с.
7. Антанайтис В., Битвинскас Т. Исследование текущего прироста насаждений в Литовской ССР // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 1963. № 4. С. 35–38.
8. Шейнгауз А. С. Методические рекомендации по анализу динамики лесного фонда / А. С. Шейнгауз. Хабаровск, 1986. 40 с.
9. Распоряжение Минприроды России от 30.06.2017 г. № 20-р (ред. от 20.01.2021 г.) Об утверждении методических указаний по количественному определению объема поглощения парниковых газов.

REFERENCES

1. Anuchin N. P. Lesnaya taksatsiya : uchebnik dlya vuzov. 5-e izd. dop. M. : Lesn. prom-st', 1982. 552 s.
2. Metody sostavleniya tablits khoda rosta nasazhdeniy [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://biofile.ru/bio/33716.html>.
3. Melekhov I. S. Lesovedeniye: uchebnik dlya vuzov. M. : Lesn. prom-st', 1980. 408 s.
4. Tret'yakov S. V., Gorbunov A. A., Feklistov P. A. Khod rosta smeshannykh modal'nykh srednetayezhnykh nasazhdeniy s preobladaniyem osiny v Arkhangel'skoy oblasti // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 2013. № 1. S. 21–22.
5. Verkhunov P. M., Chernykh V. L. Taksatsiya lesa : uchebnoye posobiye. 2-e izd., stereotip. Yoshkar-Ola : Mariyskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 2009. 396 s.
6. Pozdeyev D. A., Petrov A. A. Taksatsiya lesa : ucheb. posobiye. Izhevsk : FGBOU VPO Izhevskaya GSKHA, 2012. 161 s.
7. Antanaytis V., Bitvinskis T. Issledovaniye tekushchego prirosta nasazhdeniy v Litovskoy SSR // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 1963. № 4. S. 35–38.
8. Sheyngauz A. S. Metodicheskiye rekomendatsii po analizu dinamiki lesnogo fonda / A. S. Sheyngauz. Khabarovsk, 1986. 40 s.
9. Rasporyazheniye Minprirody Rossii ot 30.06.2017 g. № 20-r (red. ot 20.01.2021 g.) Ob utverzhdenii metodicheskikh ukazaniy po kolichestvennomu opredeleniyu ob"yema pogloshcheniya parnikovyykh gazov.

© Чанчикова С. А., Мельник А. И.,
Вайс А. А., Козлов Н. В., 2023

Поступила в редакцию 03.05.2022
Принята к печати 10.01.2023

НОРМАТИВНАЯ БАЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЛЕСОСЕК В СИБИРИ**С. Л. Шевелев, В. Н. Немич, И. А. Воробьева, С. В. Усов**

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
 Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
 E-mail: vorobeva_ia@sibsau.ru

Нормативная таксационная база для оценки лесосек включает в себя объемные, сортиментные и товарные таблицы. Формирование комплекса этих нормативов для древостоев в Сибири имеет относительно небольшую историю – немногим более полувека. В работе рассмотрены отдельные периоды состояния нормативной базы таксации и материально-денежной оценки лесосек на различных этапах их формирования. Сделан анализ совершенствования нормативов с изменением Государственных стандартов. Установлено, что в настоящее время материально-денежная оценка лесосек ведется по таблицам, построенным с учетом требований фактически устаревших стандартов на лесоматериалы круглые (ГОСТ 9462–88 и ГОСТ 9463–88). В настоящее время действующими являются межгосударственные стандарты ГОСТ 9463–2016 Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия и ГОСТ 9463–2016 Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия. ГОСТ 9463–2016 действует на территории Армении, Белоруссии, России, и Киргизии. ГОСТ 9462–2016 на территории Армении, Грузии, Киргизии, России, Таджикистана, Узбекистана. Эти стандарты являются базовыми для построения таксационных таблиц оценки лесосек, однако нормативы по ним до сих пор не разработаны.

Ключевые слова: таксация лесосек, материальная и денежная оценки, объемные таблицы, сортиментные таблицы, Государственные стандарты, лесоматериалы круглые.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 1, P. 73–79

REGULATORY FRAMEWORK FOR THE ASSESSMENT OF LOGGING SITES IN SIBERIA**S. L. Shevelev, V. N. Nemich, I. A. Vorobeva, S. V. Usov**

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
 31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
 E-mail: vorobeva_ia@sibsau.ru

The regulatory tax base for the assessment of cutting areas includes volumetric, assortment and commodity tables. The formation of a set of these standards for stands in Siberia has a relatively short history – a little more than half a century. The paper considers separate periods of the state of the regulatory framework of taxation and the material and monetary assessment of logging areas at various stages of its formation. The analysis of the improvement of standards with changes in State standards is made. It has been established that at present the material and monetary assessment of cutting areas is carried out according to tables constructed taking into account the requirements of actually outdated standards for round timber (GOST 9462–88 and GOST 9463–88). Currently, the interstate standards GOST 9463–2016 Round softwood timber are in force. Technical specifications and GOST 9463–2016 Round hardwood timber. Technical conditions. GOST 9463–2016 are valid on the territory of Armenia, Belarus, Russia, and Kyrgyzstan. GOST 9462–2016 on the territory of Armenia, Georgia, Kyrgyzstan, Russia, Tajikistan, Uzbekistan. These standards are the basic ones for the construction of tax assessment tables for cutting areas, but the standards for them have not yet been developed.

Keywords: taxation of cutting areas, material and monetary assessment, volume tables, sorting tables, State standards, round timber.

ВВЕДЕНИЕ

В практике лесопромышленного комплекса Сибири, в настоящее время используются объемные, сортиментные и товарные таблицы для древостоев лесобразующих пород составленные сотрудниками Сибирского государственного технологического университета (ныне Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева) и Инсти-

тута леса и древесины СО АН СССР (ныне Институт леса СО РАН).

В целом истории построения объемных, сортиментных и товарных таблиц в Сибири немногим более полувека. Эти нормативные материалы являются основой при оценке лесосечного фонда в процессе разделения общего запаса древостоев на основные хозяйственно неравнозначные части – деловую древе-

сину, дрова и отходы. Хотя необходимо отметить, что впервые основы методики построения подобных нормативов были изложены Ф.К. Арнольдом в «Курсе лесоводства для лесных школ, лесовладельцев и управляющих имениями» еще в 1900 году.

Первые стандарты на круглые лесоматериалы, изготовленные из древостоев основных лесобразующих пород Сибири, были введены (в виде ТУ – технические условия) в действие в конце тридцатых, начале сороковых годов прошлого века в отдельных крупных лесозаготовительных объединениях и являлись основными нормативными документами регламентирующими выход деловой древесины в рамках предприятий входящих в состав этих объединений.

Государственные стандарты на лесоматериалы круглые (ГОСТ 9462–60; ГОСТ 9463–60), явившиеся основой для создания таксационных нормативов для оценки лесосечного фонда были разработаны, прошли обсуждение и были введены в действие в середине шестидесятых годов.

С течением времени изменение состояния лесосырьевой базы, совершенствование технологий обработки древесины и т. п. повлекли за собой изменения в требованиях к деловой – наиболее ценной части ствола, что нашло отражение в следующих поколениях Государственных стандартов (1972, 1988, 2016 гг.).

В основном они выразились в форме смягчения требований к наличию и размерам ряда пороков древесины. Эти изменения в значительной степени оказали влияние только на сортность деловой древесины.

Наиболее консервативной частью стандартов явилось деление деловой древесины на категории крупности. Требования к диаметрам сортиментов этих категорий сохранились во всех изданиях стандартов. Ниже приведены основные этапы изменений требований к лесоматериалам круглым, а также результаты анализа действующей нормативной базы таксации по оценке лесосечного фонда Сибири.

ЦЕЛЬ И АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Необходимо отметить, что данная тема является предметом обсуждения на страницах изданий, посвященных вопросам таксации и устройства лесов России уже не в первый раз [14; 15], однако по прошествии достаточно длительного периода возникла необходимость вновь вернуться к вопросу совершенствования важнейшего инструмента лесосчетных работ – таксационных таблиц, обеспечивающих точность оценки древостоев подлежащих рубки. Актуальность темы обусловлена тем, что «прочная» нормативная база в этой области является гарантией ограничения злоупотреблений при оценке лесосечного фонда, позволяет повысить точность исчисления лесных подачей, платы за аренду лесных участков, вносит вклад в создание качественных регламентов лесничеств.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ И ОБСУЖДЕНИЕ ЕГО РЕЗУЛЬТАТОВ

Ретроспективный анализ формирования нормативной базы таксация древостоев России позволяет выделить несколько значительных этапов.

Прежде всего это результаты реализации постановлений Совета труда и обороны (СТО) СССР от 17.08.1928 г. и 30.08.1928 г. предлагающих немедленно приступить к пересмотру существующих и составлению новых массовых (объемных) и сортиментных таблиц.

Совещание с участием профессоров М.М. Орлова, Н.В. Третьякова и А.В. Тюрина констатировало: «... производимый ныне учет леса, как растущего, так и срубленного, ведется с большими погрешностями, что зависит от недостаточно тщательного обмера леса на местах, от неправильного измерения срубленного леса, от недостаточной правильности существующих массовых таблиц и от неправильного пользования этими таблицами». К работе по составлению массовых (объемных) таблиц для сосны, ели, дуба, березы и осины, кроме упомянутых выше ученых, также были привлечены известные исследователи – В.К. Захаров, Д.И. Товстоле, Б.А. Шустов.

Организация работ по составлению сортиментных таблиц была поручена будущему академику, а в то время старшему ассистенту Лесной опытной станции Н.П. Анучину. Им же была осуществлена частичная переработка массовых (объемных) таблиц с целью унификации их формы, так как каждый исполнитель, отвечающий за составление таблиц для отдельной породы разработал и применял свою методику. Общее руководство работами осуществлялось М.М. Орловым.

Работы по созданию массовых (объемных) таблиц были завершены в 1930 г. и они были опубликованы в 1931 г. Эти нормативы вошли в историю отечественного лесного дела как таблицы Союзлеспрома [4].

Безусловно, это был значительный этап в процессе формирования отечественной нормативной базы таксации, однако составленные таблицы соответствовали особенностям древостоев только европейской части страны.

Нормативы вошедшие в Лесную вспомогательную книжку, составленную А.В. Тюриным, И.М. Науменко и П.В. Воропановым, издававшуюся дважды в 1945 и в 1956 гг., хотя и охватили некоторые районы северо-запада СССР, однако имели тот же недостаток [12].

Справочник, имеющий аналогичное название, составленный и опубликованный М.М. Орловым в 1926 г., также этих сведений не содержал.

Первые нормативы, отражающие особенности роста и формирования сибирских древостоев были опубликованы в Справочнике таксатора в 1952 г. Составителями справочника и авторами ряда нормативов помещенных в нем явились Н.В. Третьяков, П.В. Горский, Г.Г. Самойлович [9]. Здесь впервые были опубликованы нормативы отражающие объемы, сортиментную и товарную структуру таких пород как лиственница сибирская, кедр (сосна кедровая сибирская), пихта сибирская, для отдельных регионов – Новосибирской области (бассейна реки Чулым), Восточного Саяна, Алтайского края и т.д.

Сортиментные и товарные таблицы были составлены под руководством Н.В. Третьякова, П.В. Горским и В.Н. Чулковым без указания района сбора данных.

Некоторые таблицы составлены по упрощенной форме и показывают, только выход деловой древесины из общего объема ствола дерева. Нормативы приведены без ссылки на требования стандартов, положенных в основу разработки.

Первым справочником, который был подготовлен и издан целенаправленно для таксации сибирских лесов, был «Справочное пособие по таксации и устройству лесов Сибири» изданное под редакцией Г.П. Мотовилова в 1966 г. [10].

Составителями и авторами таксационных нормативов являлись сибирские ученые-таксаторы и практики лесоустройства с огромным опытом работы в лесах Сибири – Э.Н. Фалалеев, Е.Л. Беззаботнов и др.

В 1974 году учеными Сибирского технологического института, Института леса и древесины им. В.Н. Сукачев СО АН СССР, а также сотрудниками сибирских предприятий Всесоюзного объединения «Леспроект» был подготовлен и опубликован первый том «Справочного пособия по таксации лесов Сибири», включающий, кроме всеобщих вспомогательных таблиц массовые (объемные), сортиментные и товарные таблицы для различных регионов Сибири [11]. Некоторые таблицы были «привязаны» к административным образованиям – Свердловская область, Красноярский край и т.п., но большинство нормативов имела привязку к определенным лесорастительным регионам Сибири – Западно-Сибирская равнина, нижнее течение Ангары и т.п.

Нормативы вошедший в «Справочное пособие по таксации лесов Сибири» были составлены на основе материалов, отражающих особенности роста, развития и строения древостоев Сибири. В пояснениях к большинству сортиментных и товарных таблиц указывалось, что они составлены в соответствии с требованиями или с учетом требований ГОСТ 9462–60 и 9463–60 на лесоматериалы круглые.

Однако нормативы, составлявшиеся по методикам, разработанным различными авторами, зачастую имели существенные различия. К тому же при разработке таблиц использовался метод графического выравнивания данных выхода отдельных категорий древесины, что делало этот процесс достаточно субъективным.

Различались и методики обмера модельных деревьев. Например, большинство исследователей отражает долю коры в объеме стволов лиственницы в пределах 20–22 и более процентов от общего объема ствола в коре. Резко от этих пределов отличаются только данные отдельных авторов [2; 6; 7; 13], которые приводят этот показатель на уровне 12–13 и даже 10 %. Это очень значительная разница, значимо влияющая на выход деловой древесины, которая таксруется без коры.

По имеющимся в нашем распоряжении материалам, безусловно, справедливы данные первой группы авторов, однако не следует безапелляционно утверждать, что данные авторов второй группы недостоверны.

К сожалению, не в одном пояснении к таблицам, не изложена методика определения толщины коры, которая в дальнейшем послужила основанием к определению ее объема.

Кора всех видов лиственницы отличается сильной трещиноватостью. При перечислительной таксации, в процессе определения диаметра ствола лиственницы с помощью мерной вилки устанавливается максимальная величина показателя, так как ножки мерной вилки опираются на бугры коры. По сути, при таких измерениях определяется не плотный объем коры, а объем вместе с пустотами. Однако при современных приемах перечислительной таксации иного пути обмера стволов нет. Видимо вторая группа исследователей, проводя измерения модельных деревьев, руководствовалась методикой обмера усредненной толщины коры, при применении которой исключаются пустоты. Результатом этого и явилось снижение относительного объема коры, что в сортиментных таблицах снизило относительную долю отходов, увеличив процент выхода ликвидационного.

Различия в методиках повлекли за собой не только различия в форме представления результатов (форме таблиц), но и в их точности.

Однако, несмотря на указанные недостатки таблицы, вошедшие в «Справочное пособие по таксации лесов Сибири» явились первыми таксационными нормативами, учитывающими особенности роста, развития и строения древостоев Сибири. Они были составлены с учетом действующих Государственных стандартов и нашли применение в практике.

Однако, в то же время, в практике лесного дела Сибири широко использовались сортиментные и товарные таблицы Н.П. Анучина [1]. Этим выдающимся ученым-таксатором были составлены всеобщие сортиментные и товарные таблицы, которые использовались на территории всего СССР. Естественно таблицы иногда давали существенное отклонение от истинных значений, так как в одной таблице невозможно учесть все особенности древостоев в различных частях ареала. В то же время такой подход был в чем-то целесообразен, когда была только одна форма собственности – государственная.

Однако с течением времени, а самое главное с истощением лесосырьевых ресурсов в доступных районах, специалистами лесного хозяйства была осознана необходимость создания комплекса региональных нормативов позволяющего повысить точность таксации путем учета особенностей формирования древостоев в условиях отдельных регионов. Инициатором и главным идеологом таких преобразований стал А.Г. Мошкалев – известный ученый, представитель Санкт-Петербургской (Ленинградской) школы таксаторов. Построение региональных нормативов было возможно только при достаточно обоснованном лесотаксационном районировании. Методические основы которого были разработаны А.Г. Мошкалевым [5].

В основу разработки и технической привязки нормативной базы таксации лесосек в Сибири использовано лесорастительное районирование разработанное Институтом леса и древесины СО АН СССР им. В.Н. Сукачева.

Районирование основывается на представлении о функциональном единстве лесных биоценозов и их территориальных комплексов. Такой подход позволил построить систему таксонов лесорастительного районирования связанную с системой таксонов лесохозяйственной классификации лесов.

Древостои, входящие в отдельные растительные округа, характеризуются не только близким составом, но и отличаются близкими продуктивностью и качественным состоянием. В соответствии с «Требованиями к сортиментным и товарным таблицам для таксации древостоев» [5] были выделены лесотаксационные регионы, для которых должны быть построены отдельные комплексы лесотаксационных нормативов для материально-денежной оценки лесосек. Авторами лесотаксационного районирования Сибири явились сотрудники Института леса и древесины СО АН СССР А.Е. Тетенькин и В.Е. Попов.

Создание комплекса региональных нормативов для таксации сортиментной и товарной структур древостоев основных лесообразующих пород Сибири было выполнено творческим коллективом в составе которого работали сотрудники Сибирского технологического института и Института леса и древесины СО АН СССР.

Нормативы были утверждены на федеральном уровне приказом по Гослесхозу СССР № 177 от 21.11.1989 г. и введены в действие на территории Алтайского и Красноярского краев, Тюменской, Томской, Омской, Новосибирской, Кемеровской, Иркутской, Читинской областей, Тувинской, Бурятской и Якутской автономных республик.

Таблицы были составлены в соответствии с требованиями ГОСТ 9462–72; 9463–72 по распределению деловой древесины по сортам. По общему выходу деловой древесины они соответствовали требованиям как ГОСТ 9462–72; 9463–72 так и требованиям ГОСТ 9462–88; 9463–88 (так как они были очень близки).

Составителями от Сибирского ордена Трудового Красного знамени технологического института явились Э.Н. Фалалеев, Н.В. Павлов, Г.К. Субочев, А.С. Смольянов, С.Л. Шевелев. От Института леса и древесины СО АН СССР им. В.Н. Сукачева И.В. Семечкин и В.Е. Попов.

Таблицы были выполнены в двух вариантах – первом и третьем. Второй вариант сортиментных таблиц, дающий выход деловой древесины по наименованиям сортиментов, не приведен (в дальнейшем он был разработан для электронного справочника). Составители мотивировали это тем, что выход сортиментов не может быть однозначным, так как значительное число сортиментов взаимозаменяемы и сортиментные планы в условиях бурно развивающейся в те годы промышленности Сибири очень часто менялись.

Эти региональные таблицы до сих пор являются основными нормативами при материальной и материально-денежной оценке лесосечного фонда в Сибири.

Они изданы в сборнике нормативов «Сортиментные и товарные таблицы для древостоев Западной и Восточной Сибири» [8].

В связи с введением в действие ГОСТ 9462–88 и 9463–88 деловая древесина стала делиться на три сорта, а не на четыре как это было раньше.

Эти изменения мало повлияли на таксацию лесосечного фонда, так как при материально – денежной оценке лесосек основным параметром является категория крупности деловой древесины, однако они значительно повлияли на характер сортиментной структуры оцениваемых древостоев.

Для полноценного состояния нормативов требовалась частичная переработка. В этот период страну захлестнули бурные политические события, а затем экономический спад, в значительной степени затронувший весь лесопромышленный комплекс. Коллектив кафедры лесной таксации, лесоустройства и геодезии СибГТУ, по сути на инициативной основе, сумел провести исследования по переработке нормативов для наиболее экономически важного лесотаксационного района 3^б – южно-таежных лесов Средне-Сибирского плоскогорья, включающего Приангарье Красноярского края и Иркутской области. К этому времени в сферу лесоустройства и лесного хозяйства, стали широко внедряться геоинформационные системы, включающие в свои атрибутивные базы таксационные нормативы в виде математических моделей. Результатом проведения кафедрой этих работ явился Лесотаксационный справочник для южнотаежных лесов Средней Сибири изданный в 2002 г. [3]. В справочник вошли сортиментные и товарные таблицы, выполненные в соответствии с формой варианта 1, математические модели этих нормативов, а также таблицы, позволяющие вести таксацию ряда побочных недревесных и второстепенных лесных ресурсов. При моделировании сортиментных и товарных таблиц были апробированы, применены и проанализированы несколько способов подбора моделей.

Следует признать, что существующая нормативная база таксации лесного и лесосечного фондов в Сибири и в настоящее время далека от совершенства.

Огромные пространства, меняющиеся лесорастительные условия, сделали необходимым разделение Сибири в процессе лесотаксационного и лесохозяйственного районирования на значительное число районов.

Для многих из них отсутствуют какие-либо наработки в области создания лесотаксационных нормативов. В таких случаях на район распространяются нормативы граничащего или ближайшего с ним лесотаксационного района.

Некоторые таблицы, характеризующие сортиментную и товарную структуры древостоев лесообразующих пород, построены по устаревшим Государственным стандартам и требуют переработки.

Недостатки существующей системы таксационных нормативов в России достаточно подробно рассмотрены и классифицированы А.З. Швиденко [14].

Основными недостатками существующих нормативно-справочных лесотаксационных данных (которые можно отнести и к нормативам, используемым при таксации древостоев Сибири) он считает: отсутствие системности; различную и часто недостаточную точность нормативов; старение содержания нормативов и устаревшую форму их представления.

Определяющими моментами в совершенствовании нормативной базы является актуализация формы представления нормативов в соответствии с требованиями современных технологий лесоинвентаризации и их моделирование.

А.З. Швиденко [14] считает, что с точки зрения моделирования, нормативы должны представлять собой логически упорядоченные структуры, соответ-

вующие формальным признакам классифицирования многопараметрических объектов.

Следует признать, что решение данной проблемы для таксационных нормативов хвойных лесов Сибири находится в начальной стадии и ограничивается данными, приведенными в Лесотаксационном справочнике [3]. Для перехода на новый, более прогрессивный уровень представления нормативов потребуются создание единой методологии, обеспечивающей системность и унификацию иерархической структуры аналитических выражений той или иной категории лесотаксационных нормативов, а также возможность совместного использования и взаимоувязки математических моделей отдельных категорий нормативов.

Инвентаризация действующих таблиц для такса-

ции товарной структуры хвойных (наиболее ценных) древостоев Сибири показала на далеко не полную обеспеченность ими этого, входящего в число наиболее богатых лесными ресурсами, региона России.

В табл. 1 показана обеспеченность сортиментными таблицами для отдельных лесотаксационных районов Средней Сибири. Из данных исключены таблицы составленные для электронного справочника, так как они не переданы для практического использования.

Обеспеченность хвойных древостоев региона сортиментными таблицами не высока, к тому же, зачастую, одна и та же сортиментная таблица распространена на несколько лесотаксационных районов.

Обеспеченность региона товарными таблицами еще ниже (табл. 2).

Таблица 1

Наличие сортиментных таблиц по лесотаксационным районам для древостоев Сибири

Лесотаксационный район	Вариант сортиментных таблиц по породам						
	кедр	сосна	лиственница	пихта	ель	береза	осина
1 ^а	—	—	1;3	—	—	—	—
1 ^б	—	—	1;3	—	—	—	—
2 ^а	—	3	1;3	3	—	—	—
2 ^б	—	3	1;3	3	1;3	—	—
3 ^а	—	3	1	3	1;3	—	—
3 ^б	1	1; 3	1;3	1;3	1;3	1	1
4 ^а	—	3	1;3	3	1;3	—	—
4 ^б	—	3	1;3	1;2;3	1	—	—
5	—	3	1;3	3	1;3	—	—
Западная и Восточная Сибирь	1;3	1	—	1 (кроме 4 ^б)	—	1;3	3

Таблица 2

Наличие товарных таблиц по лесотаксационным районам для древостоев Сибири

Лесотаксационный район	Вариант товарных таблиц по породам						
	кедр	сосна	лиственница	пихта	ель	береза	осина
1 ^а	—	—	1	—	—	—	—
1 ^б	—	—	1	—	—	—	—
2 ^а	—	—	1	—	1	—	—
2 ^б	1	—	1	—	1	—	—
3 ^а	—	—	1	—	1	—	—
3 ^б	1	1	1	1	1	1	1
4 ^а	—	—	1	—	1	—	—
4 ^б	—	—	1	1	1	—	—
5	—	—	1	—	1	—	—
Западная и Восточная Сибирь	1	1	—	1	—	1	1

Примечания:

1. В табл. 1 и 2 приведены данные только официально утвержденных нормативов.

2. Цифрами в таблицах указан вариант норматива.

3. Лесотаксационные районы:

1^а Северо-таежные леса и предтундровые редколесья Западной Сибири;

1^б Северо-таежные леса и предтундровые редколесья Восточной Сибири;

2^а Среднетаежные леса Западной Сибири;

2^б Среднетаежные леса Восточной Сибири;

3^а Южно-таежные леса Западно-Сибирской равнины;

3^б Южно-таежные леса Средне-Сибирского плоскогорья;

4^а Лесостепные и степные леса Западно-Сибирской равнины;

4^б Подтаежно-лесостепные леса Восточной Сибири;

5 Алтай-Саяно-Прибайкальские горные леса.

Основой устойчивого лесопользования является многоцелевое (многоресурсное) лесопользование. Многоресурсное лесопользование представляет собой единую систему лесохозяйственных мероприятий, в которой эксплуатация отдельных ресурсов должна быть взаимообусловлена и не иметь противоречий. Проектирование и организация лесного хозяйства на этой основе возможны только при наличии полной нормативной базы по оценке древесных ресурсов леса (как наиболее хозяйственно-ценной части биоценоза), а также «увязанным» с ней комплексом нормативов по оценке пищевых, лекарственных, технических, средообразующих и др. ресурсов леса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение новых форм ведения хозяйства в лесном секторе остро требует не только количественных изменений в нормативной базе таксации древостоев Сибири, но и её качественной трансформации.

На основе проведенного анализа действующей нормативной базы таксации для материальной оценки лесосек установлено следующее:

- в настоящее время на территории Сибири действующим нормативами для материальной и материально-денежной оценки лесосек являются нормативы выполненные по фактически устаревшим Государственным стандартам – ГОСТ 9462–72 и ГОСТ 9463–72. Эти нормативы представлены в справочнике «Сортиментные и товарные таблицы для древостоев Западной и Восточной Сибири». Составители: Э.Н. Фалалеев и др. Утверждены Председателем Гослесхоза СССР А.С. Исаевым, приказ № 177 от 21.11.1989 г.;

- при материальной и материально-денежной оценки лесосек района «Южно-таежные леса Средне-Сибирского плоскогорья» (3^б) правомочно применение таксационных таблиц переработанных в соответствии с ГОСТ 9462–88 и ГОСТ 9463–88, помещенных в «Лесотаксационном справочнике для южно-таежных лесов Средней Сибири». Составители С.Л. Шевелев и др., издания Министерства природных ресурсов и Государственной лесной службы Российской Федерации, М., 2002;

- до настоящего времени не для всех лесотаксационных районов Сибири разработаны нормативы для таксации древостоев при материальной и материально – денежной оценке лесосек;

- на основе действующих межгосударственных стандартов (ГОСТ 9462 – 2016 и ГОСТ 9463–2016) таксационные нормативы для материальной и материально-денежной оценки лесосек до сих пор не разработаны и работы в этом направлении не ведутся и не планируются.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Анучин Н.П. Сортиментные и товарные таблицы. М. : Лесная промышленность, 1981. 533 с.
2. Донченко Л.В. Сортиментно-сортная таблица для древостоев лиственницы сибирской нижнего течения р. Ангары : справочное пособие по таксации лесов Сибири. Красноярск. 1974. С. 141.

3. Лесотаксационный справочник для южно-таежных лесов Средней Сибири / под ред. С.Л. Шевелева. М. : ВНИИЛМ, 2002. 166 с.

4. Массовые таблицы для сосны, ели, дуба, березы и осины по классам бонитета // ВСНХ Союзлеспром СССР. М. : Сельхозгиз. 1931. 494 с.

5. Мошкалев А.Г., Книзе А.А., Ксенофонов Н.И., Уланов Н.С. Таксация товарной структуры древостоев. М. : Лесная промышленность, 1982. 160 с.

6. Поляков В.С., Мачернис П.И. Сортиментно-сортная таблица для лиственницы сибирской (Красноярский край): справочное пособие по таксации лесов Сибири. Красноярск. 1974. С. 142–143.

7. Свалов Н.Н. Строение лиственничных древостоев Магаданской области // Лиственница : сб. науч. трудов. Красноярск. 1974. С. 158–160.

8. Сортиментные и товарные таблицы для древостоев Западной и Восточной Сибири / Э.Н. Фалалеев и др. Красноярск, 1991. 146 с.

9. Справочник таксатора. Таблицы для таксации леса / под ред. Н.В. Третьякова. М.-Л. : Гослесбумиздат, 1952. 853 с.

10. Справочное пособие по таксации и устройству лесов Сибири / под ред. Г.П. Мотовилова. Красноярск : Красноярское книжное издательство. 1966. 377 с.

11. Справочное пособие по таксации лесов Сибири / под ред. Э.Н. Фалалеева. Красноярск: СТИ, СО АН СССР, ВО «Леспроект». 1974. Т. 1. 216 с.

12. Тюрин А.В., Науменко И.М., Воропанов П.В. Лесная вспомогательная книжка (по таксации леса). М.-Л. : Гослесбумиздат, 1956. 563 с.

13. Цай С.И., Пискунов А.Т., Кузьменков М.В. Сосновые и лиственничные леса Бурятской АССР (таксационный очерк). Улан-Удэ, 1981. 160 с.

14. Швиденко А.З. Какая система учета лесов нужна России? // Лесная таксация и лесоустройство. Вып. 1(37). 2007. С. 128–156.

15. Шевелев С.Л. Состояние и перспективы совершенствования нормативной базы таксации товарной структуры древостоев Сибири // Лесная таксация и лесоустройство. № 1(39). 2008. С. 101–105.

REFERENCES

1. Anuchin N.P. Sorting and commodity tables. Moscow : Forest Industry, 1981. 533 p.
2. Donchenko L.V. Sorting and grading table for stands of Siberian larch of the lower reaches of the Angara River: a reference guide to the taxation of forests in Siberia. Krasnoyarsk. 1974. P. 141.
3. Forest taxational handbook for the southern taiga forests of Central Siberia / ed. by S.L. Shevelev. Moscow : VNIILM, 2002. 166 p.
4. Mass tables for pine, spruce, oak, birch and aspen by bonus classes // VSNH Soyuzlesprom SSRYu Ed. : Selkolkhozgiz. 1931. 494 p.
5. Moshkalyov A.G., Knize A.A., Ksenofontov N.I., Ulanov N.S. Taxation of the commodity structure of stands. M. : Forest Industry, 1982. 160 p.
6. Polyakov V.S., Machernis P.I. Sorting and grading table for Siberian larch (Krasnoyarsk Territory): reference manual on the taxation of forests in Siberia. Krasnoyarsk. 1974. Pp. 142–143.

7. Svalov N.N. The structure of larch stands of the Magadan region // Larch : collection of scientific papers. Krasnoyarsk. 1974. Pp. 158–160

8. Sorting and commodity tables for stands of Western and Eastern Siberia / E.N. Falaleev et al. Krasnoyarsk, 1991. 146 c.

9. Taxi driver's Handbook. Tables for forest taxation / ed. by N.V. Tretyakov. Moscow-Leningrad : Goslesbumizdat, 1952. 853 p.

10. Reference manual on taxation and arrangement of forests in Siberia / ed. by G.P. Motovilov. Krasnoyarsk : Krasnoyarsk Book Publishing House. 1966. 377 p.

11. Reference manual on forest taxation in Siberia / ed. by E.N. Falaleev. Krasnoyarsk : STI, SB of the USSR Academy of Sciences, IN Lesproekt. Vol. 1. 1974. 216 p.

12. Tyurin A.V., Naumenko I.M., Voropanov P.V. Forest auxiliary book (on forest taxation). Moscow-Leningrad : Goslesbumizdat, 1956. 563 p.

13. Tsai S.I., Piskunov A.T., Kuzmenkov M.V. Pine and larch forests of the Buryat ASSR (taxational essay). Ulan-Ude, 1981. 160 p.

14. Shvidenko A.Z. What kind of forest accounting system does Russia need? // Forest taxation and forest management. Issue 1(37). 2007. Pp. 128–156.

15. Shevelev S.L. The state and prospects of improving the regulatory framework of taxation of the commodity structure of stands of Siberia // Forest taxation and forest management. No. 1(39). 2008. Pp. 101–105.

© Шевелев С. Л., Немич В. Н.,
Воробьева И. А., Усов С. В., 2023

Поступила в редакцию 10.09.2022
Принята к печати 10.01.2023

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.093

DOI: 10.53374/1993-0135-2023-1-80-88

Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 1. С. 80–88

РАСКРОЙ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ С ЯДРОВОЙ НАПЕННОЙ ГНИЛЬЮ НА ПИЛОПРОДУКЦИЮ

В. Е. Бызов¹, А. С. Торопов², Е. В. Торопова², Е. В. Микрюкова², Е. С. Шарипов²

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
Российская Федерация, 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., 5

²Поволжский государственный технологический университет
Российская Федерация, Республика Марий Эл, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: mapana@inbox.ru

Пиломатериалы хвойных пород находят широкое применение при изготовлении различных изделий из древесины. В последнее время качество круглых лесоматериалов хвойных пород ухудшается из-за наличия в них ядровой напенной гнили, которую приходится удалять в процессе их переработки. Удаление напенной гнили происходит уже на этапе заготовки круглых лесоматериалов. При этом вместе с древесиной пораженной гнилью удаляется здоровая заболонная часть. Поэтому большое количество качественной древесины остаётся в лесу.

Для получения максимального полезного выхода пиломатериалов применена оптимизационная модель индивидуального раскроя хлыстов, пораженных ядровой гнилью, в которой в качестве математического описания образующих формы круглых лесоматериалов и гнили предлагается аллометрическая зависимость, основанная на законе относительного роста. Для качественного поперечного раскроя круглых лесоматериалов с ядровой гнилью применяют технологический процесс получения комбинированного пиловочника. Комбинированный пиловочник состоит из качественной части и части содержащей напенную гниль. Длина комбинированного пиловочника зависит от способа его дальнейшей переработки на пилопродукцию. В статье приведена последовательность нахождения длины комбинированных круглых лесоматериалов и объемного выхода пилопродукции.

Разработана имитационная модель расчета полезного выхода пилопродукции из круглых лесоматериалов с гнилью. Показателями, значимо влияющими на полезный выход, являются длина и диаметр круглых лесоматериалов в комле. Проведены опытные распиловки круглых лесоматериалов с напенной гнилью для определения фактического выхода пилопродукции. Установлено незначительное расхождение расчетных и опытных данных величины объемного полезного выхода пилопродукции. Это даёт возможность предложить рассмотренный в работе способ раскроя для последующего промышленного применения.

Ключевые слова: круглые лесоматериалы, ядровая напенная гниль, уравнение аллометрического роста, комбинированный пиловочник, продольный раскрой, объемный выход пилопродукции.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 1, P. 80–88

SAWING OF ROUND LOGS WITH HEART BUTT ROT

V. E. Byzov¹, A. S. Toropov², E. V. Toropova², E. V. Mikryukova², E. S. Sharapov²

¹Saint-Peterburg State Forest Technical University under name of S. M. Kirov
Institutskii al. 5, Saint-Petersburg, 194021, Russian Federation

²Volga State University of Technology, Lenin sq. 3, Yoshkar-Ola, Mari El Republic,
424000, Russian Federation
E-mail: mapana@inbox.ru

Softwood lumber is widely used for various wood products manufacturing. Recently, the quality of coniferous round logs has been reducing due to the presence of heart butt rot, which has to be removed during the logs processing. Removal of butt rot occurs already at the harvesting stage of round logs. At the same time not decayed sapwood parts is removed with the degraded wood. Therefore a large amount of sound wood can remain in the forest.

To obtain the maximum yield of sawn timber an optimization model of individual log with heart rot cutting was presented. Optimization model is based on allometric correlations between the diameter (radius) and length of the decayed

wood zone and round log. For cross cutting of round logs with heart rot a special technological process can be applied to obtain a combined logs. The combined logs consists of both a sound wood part and a part with decayed wood. The length of the combined log depends on the method of its further processing into sawn timber. The article shows the sequence of finding the length of the combined logs and the volumetric yield of sawn timber.

A simulation model has been presented for evaluation the yield of sawn timber from decayed round logs. The factors that significantly influenced on the yield were the length and diameter of round logs. Experimental tests of round logs sawing with heart butt rot was carried out to determine the actual yield of sawn timber. A slight difference between the theoretical and experimental data on the volumetric yield of sawn timber has been established. This makes it possible to propose the presented method for decayed logs cutting for subsequent industrial application.

Keywords: round log, heart butt rot, allometric model, combined log, sawing, lumber volume yield.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время происходит ухудшение экологической обстановки, которое влияет, в том числе и на лесные массивы. Ввиду воздействия на лесные ресурсы выбросов промышленных предприятий и в результате изменения структуры почв качественный состав лесов значительно ухудшается. В стволах деревьев все чаще встречается напенная ядровая гниль. Напенная (ядровая) гниль – это гниль, которая находится в нижней части ствола деревьев хвойных пород. Высота поражения напенной гнилью составляет от 1,5 до 3 м длины ствола от корневой системы. Однако ядровая стволовая гниль может располагаться и по всей длине ствола.

При сравнении встречаемости гнилей в стволах деревьев хвойных пород можно отметить, что наибольшая встречаемость наблюдается у сосны. Согласно проведенных исследований [6; 9; 10] в стволах деревьев сосны встречаемость напенных гнилей составляет от 20 до 35 %, а стволовых гнилей – от 10 до 50 % от всех деревьев. Встречаемость напенных гнилей в стволах деревьев ели составляет от 12 до 40 %, а стволовых гнилей – от 3 до 4 %. Средняя протяженность напенных гнилей по длине ствола у сосны составляет 1,6–3,0 м, а стволовых от 8 до 10 м. Для ели протяженность составляет соответственно 2,6–6,0 и 15,0–17,8 м. Установлено, что частота встречаемости гнилей уменьшается по высоте ствола от комля к вершине. Для тонкомерных хлыстов и вершинных частей стволов ели частота встречаемости невысокая и составляет от 2,9 до 18 %. В тонкомерных стволах сосны гнилей не обнаружено.



Рис. 1. Схема расположения ядровой напенной и стволовой гнили в стволе растущего дерева [20]

Согласно требованиям ГОСТ 9463–2016 «Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия» ядровая гниль допускается если укладывается во вписанную в торец полосу (вырезку) размером 1/4 диаметра в средних лесоматериалах и 1/3 в крупных лесоматериалах с выходом на один торец. Раскрой хлыстов с наличием гнили заключается последовательным отпиливанием отрезков длиной 1–2 м до тех пор, пока размеры гнили на первом пиловочном бревне не превышают допускаемые размеры. Поэтому до 85 % круглых сортиментов хвойных пород попадают в разряд низкокачественных из-за наличия напенной гнили, которая значительно поражает ядровую древесину и выходит на один или оба торца сортимента. Такие сортименты находят применение только для изготовления технологической щепы или тарной пилопродукции. Но в основном они идут на производство дров или остаются в лесу. Древесину, пораженную напенной гнилью, оставляют в лесу ввиду высоких транспортных расходов на вывозку и низкой стоимости, вырабатываемой из нее продукции. Такая древесина не только захламляет лесные массивы, но и способствует заражению гнилью древесины здоровых деревьев.

В круглых сортиментах пораженных ядровой напенной гнилью присутствует большое количество здоровой заболонной древесины. Ее объем достигает 70 % от ее общего объема [17]. В связи с этим встает задача повышения эффективности их переработки на пилопродукцию. Круглые лесоматериалы, с размерами гнили превышающими установленные стандартами в дальнейшем, будем называть низкокачественными круглыми лесоматериалами. Данная работа посвящена исследованию величины полезного выхода пилопродукции из низкокачественных круглых лесоматериалов.

Для того чтобы эффективно раскраивать круглые лесоматериалы с напенной гнилью на пилопродукцию необходимо знать точное описание их формы, а также форму и местоположение гнили в пиловочных сортиментах. Наиболее точной и целесообразной математической моделью описания круглых лесоматериалов является модель, структура которой основана на естественном законе роста деревьев [15]. При изучении живых организмов широкое применение находит теория относительного роста. Сущность положения состоит в том, что чаще всего отношение скоростей роста разных органов в онтогенезе остается постоянным, хотя абсолютные величины этих скоростей меняются. Данное положение применительно к древо-стою заключается в определенном соотношении между линейным и объемными размерами стволов расту-

щих деревьев [16]. Это соотношение относительного аллометрического роста. Зависимость аллометрического роста является частным случаем регрессионного уравнения:

$$y = C + ax^b,$$

где x, y – величины переменных факторов; a и C – константы начального состояния; b – константа равновесия, передающая темп изменения y относительно x .

При необходимости точность этой математической модели может быть повышена за счет применения кусочной аллометрии [17].

В низкоквалитетных круглых лесоматериалах больших диаметров присутствует ядровая гниль. Форма и размеры ядровой напенной гнили подчиняются закону аллометрического роста. Исследованиями установлено, что изменение диаметра гнили по длине сортимента (рис. 2), происходит в соответствии с аллометрическим законом и имеет следующий вид [16].

$$d_r = d_{r0} - al_r^b,$$

где d_r – диаметр ядровой напенной гнили в произвольном сечении, м; d_{r0} – диаметр ядровой напенной гнили в комле круглого сортимента, м; l_r – длина поражения ядровой напенной гнилью, м; a, b – соответственно константы начального состояния и равновесия.

Константы начального состояния и равновесия находятся по формулам

$$a = (1/\psi)^b (d_{r0} - d_r'),$$

$$b = \ln[(d_{r0} - d_r'') / (d_{r0} - d_r')] / \ln[(\psi + f) / \psi],$$

где d_{r0}, d_r', d_r'' – соответственно диаметр гнили в комлевом торце и диаметры гнили в двух местах замера по длине поражения l_r , м; ψ – абсцисса места первого замера, м; f – расстояние между замерами диаметров гнили, м. При необходимости точность этой математической модели может быть повышена за счет применения кусочной аллометрии.

Для достижения максимального эффекта при производстве пиломатериалов для строительных конструкций применяется оптимизационная модель индивидуального раскроя хлыстов, пораженных ядровой напенной гнилью, в которой в качестве математического описания образующих формы круглых лесоматериалов и гнили предлагается аллометрическая зависимость, основанная на законе относительного роста. В начале проводят замеры геометрических параметров хлыста и гнили и, пользуясь аллометрическим методом, получают зависимости, описывающие образующую хлыста и образующую гнили, следующего вида (рис. 3) [11]:

$$d = d_0 + a_1 l^{b_1}, \quad (1)$$

$$d_6 = d_{60} + a_2 l^{b_2}, \quad (2)$$

$$d_r = d_{r0} + a_3 l^{b_3}, \quad (3)$$

где d, d_6, d_r – соответственно диаметр хлыста в коре, без коры и диаметр гнили в произвольном сечении, м; d_0, d_{60}, d_{r0} – соответственно диаметр хлыста в коре, без коры и диаметр гнили в комле, м; a_1, a_2, a_3 – константы начального состояния; l – расстояние от комля до произвольного сечения, м; b_1, b_2, b_3 – константы равновесия, передающие темп изменения диаметра относительно l .

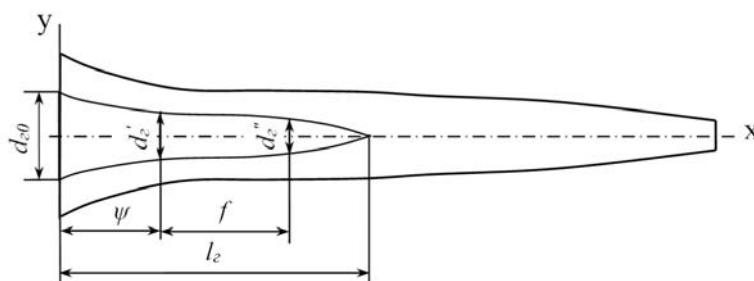


Рис. 2. Схема измерения размеров напенной гнили в сортиментах:

d_{r0} – диаметр гнили в комлевом торце; l_r – длина гнили; d_r', d_r'' – диаметры гнили в двух сечениях по ее длине; ψ и f – x -координаты сечений гнили по ее длине

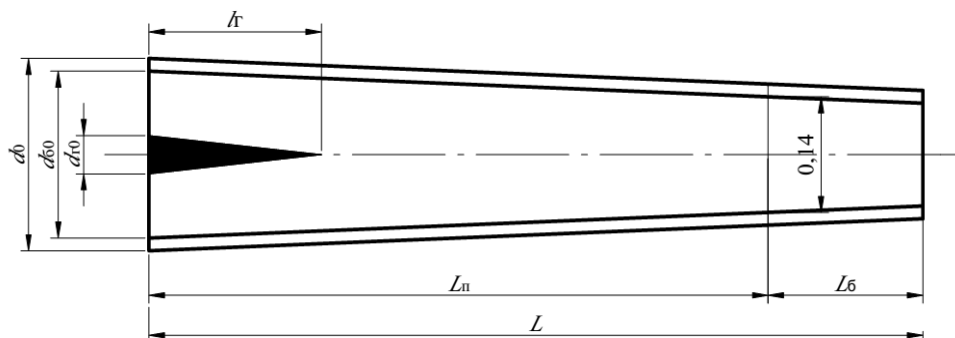


Рис. 3. Схема хлыста, пораженного ядровой гнилью:

d_0 – диаметр комля хлыста в коре; d_{60} – диаметр комля хлыста без коры; d_{r0} – диаметр гнили в комле хлыста; L – длина хлыста; L_n – длина части хлыста для получения пиловочных бревен; L_6 – длина балансовой части хлыста; l_r – длина распространения ядровой напенной гнили

Объем пропилов, получаемых при раскряжке хлыста, вычисляется по формуле

$$V_{\text{пр}} = \frac{\pi}{4} \sum_{i=1}^n p_i d_{\text{в}i}^2,$$

где n – количество бревен, получаемых из хлыста, шт.; p_i – ширина i -го пропила при поперечном раскрое хлыста, м; $d_{\text{в}i}$ – диаметр в вершине i -го бревна, м.

Объем i -го пиловочного бревна, получаемого из хлыста, определяется по формуле

$$V_{\text{с}i} = \frac{\pi}{4} \int_0^L d_i^2 dl,$$

где L – длина хлыста, м; d_i – диаметр i -го бревна в коре, м.

$$d_i = d_{0i} + a_{1i} l^{b_{1i}},$$

где d_{0i} – диаметр в коре i -го пиловочного бревна в комле, который определяется по формуле; a_{1i} и b_{1i} – коэффициенты аллометрической зависимости диаметра i -го пиловочного бревна в коре от его длины.

После подстановки и интегрирования получаем:

$$V_{\text{с}i} = \frac{\pi}{4} \left(d_{0i}^2 L_i + \frac{a_{1i} d_{0i}}{b_{1i} + 1} L_i^{b_{1i} + 1} + \frac{a_{1i}^2}{2b_{1i} + 1} L_i^{2b_{1i} + 1} \right),$$

где L_i – длина i -го пиловочного бревна.

С другой стороны, объем i -го бревна равен сумме объемов составляющих, которые образуются при его продольном раскрое:

$$V_{\text{с}i} = V_{\text{п}i} + V_{\text{г}i} + V_{\text{к}i} + V_{\text{пр}i} + V_{\text{к.о.}i},$$

где $V_{\text{п}i}$ – суммарный объем пиломатериалов, получаемых из i -го пиловочного бревна, м³; $V_{\text{г}i}$ – объем части пиловочного бревна, пораженной гнилью, м³; $V_{\text{пр}i}$ – объем пропилов при продольном раскрое i -го пиловочного бревна, м³; $V_{\text{к.о.}i}$ – объем кусковых отходов, получаемых при продольном раскрое i -го пиловочного бревна, м³.

Суммарный объем пиломатериалов, выпиливается из i -го пиловочного бревна:

– для четного постава

$$V_{\text{п}i} = 2 \sum_{j=1}^{m_1} V_{ij};$$

– для нечетного постава

$$V_{\text{п}i} = V_{i1} + 2 \sum_{j=2}^{m_1} V_{ij},$$

где m_1 – количество пар пиломатериалов, получаемых при продольном раскрое, шт.; V_{ij} – объем одного пиломатериала j пары из i -го пиловочного бревна, м³.

Объем древесины, пораженной гнилью в i -м бревне определяется по формуле

$$V_{\text{г}i} = \frac{\pi}{4} \int_0^L d_{\text{г}i}^2 dl. \quad (7)$$

После подстановки в формулу (7) выражения (3) и интегрирования получаем:

$$V_{\text{г}i} = \frac{\pi}{4} \left(d_{\text{г}0i}^2 L_i + \frac{a_{3i} d_{0i}}{b_{3i} + 1} L_i^{b_{3i} + 1} + \frac{a_{3i}^2}{2b_{3i} + 1} L_i^{2b_{3i} + 1} \right).$$

Процент полезного выхода пиломатериалов рассчитывается по формуле

$$P_i = \frac{V_{\text{п}i}}{V_{\text{с}i}} 100 \%,$$

Объем j -го пиломатериала из i -го пиловочного бревна

$$V_{ij} = h_{ij} s_{ij} l_{ij},$$

где h_{ij} , s_{ij} , l_{ij} – соответственно толщина, ширина и длина пиломатериала j -го пиломатериала из i -го пиловочного бревна, м.

$$l_{ij} = L_i, \text{ если } t_{ij} \leq \frac{A_{\text{кр}i}}{2},$$

$$l_{ij} = \frac{d_{0i} - \sqrt{(s_{ij} + \Delta_{s_{ij}})^2 + 4t_{ij}^2}}{S}, \text{ если } \frac{A_{\text{кр}i}}{2} \leq t_{ij} \leq \frac{A_{\text{пред}i}}{2},$$

где t_{ij} – расстояние от оси бревна до наружной пласти j -го пиломатериала из i -го пиловочного бревна; $\Delta_{s_{ij}}$ – припуск на усушку по ширине j -го пиломатериала из i -го пиловочного бревна; $A_{\text{кр}i}$ – размер пифагорической зоны i -го бревна; $A_{\text{пред}i}$ – предельное значение охвата i -го пиловочного бревна поставом.

Размер пифагорической зоны i -го пиловочного бревна вычисляется по формуле

$$A_{\text{кр}i} = \sqrt{1,5d_{\text{б}0i}^2 - 0,5d_{\text{б}0i}^2},$$

где $d_{\text{б}0i}$, $d_{\text{б}0i}$ – соответственно диаметр i -го пиловочного бревна без коры в вершинном и комлевом торцах.

Предельное значение охвата i -го бревна поставом определяется по формуле

$$A_{\text{пред}i} = \sqrt{(d_{\text{б}0i}^2 - s_{\text{мин}}^2) - (d_{\text{б}0i}^2 - d_{\text{б}0i}^2)} \frac{l_{\text{мин}}}{L_i},$$

где $s_{\text{мин}}$, $l_{\text{мин}}$ – соответственно минимальные допустимые ширина и длина пиломатериалов.

Ширина пиломатериалов в произвольном сечении определяется по формуле

$$s_{ij} = \sqrt{d_{\text{б}0i}^2 - 4t_{ij}^2}, \text{ если } t \leq \frac{A_{\text{кр}i}}{2}.$$

Оптимальная ширина укороченных пиломатериалов:

$$s_{ij} = 0,577 \sqrt{d_{\text{б}0i}^2 - 4t_{ij}^2}, \text{ если } \frac{A_{\text{кр}i}}{2} < t \leq \frac{A_{\text{пред}i}}{2}.$$

Эти формулы могут быть использованы для математического описания процесса раскроя круглых лесоматериалов, имеющих ядровую напечную гниль, на пилопродукцию.

Для проведения исследований проведены замеры диаметров хлыстов в коре и без коры, а также диаметры гнили. Порода древесины хлыстов – сосна (*Pinus sylvestris*). Диаметры хлыстов определялись с интервалом 2 м, а диаметры ядровой напечной гнили через 0,5 м. Диаметры измерялись с точностью до 0,001 м. Пользуясь аллометрическим методом, получили зависимости, описывающие образующие хлыста и ядровой гнили.

Проверили адекватность полученных уравнений регрессии по F -критерию Фишера [5]. Все уравнения оказались адекватны.

Исследования проводились с применением метода математической теории планирования эксперимента [1–5]. Математическая теория планирования эксперимента позволяет выбрать оптимальное расположение точек в факторном пространстве при неполном знании процессов, сократить объем экспериментальных работ и разработать математическую модель процесса. При построении математических моделей объемного выхода пилопродукции при раскросе круглых лесоматериалов пораженной ядровой напеченной гнилью были применены основные методические положения по планированию экспериментов исследования технологических процессов в деревообрабатывающей промышленности, приведенные в работе А. А. Пижурина [12]. В целях снижения трудоемкости проведения исследований нами разработана система алгоритмов и компьютерных программ, позволяющих определять объемный выход пилопродукции (заготовок) определенных размеров при помощи ЭВМ. Эта система алгоритмов и программ представляет собой имитационную модель раскроса круглых лесоматериалов из древесины сосны, пораженных ядровой гнилью на пилопродукцию.

Математическое описание технологических процессов сводится к нахождению и исследованию функциональной зависимости, так называемой функции отклика, вида

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n).$$

Выбор варьируемых факторов и уровней их варьирования является важной составной частью постановки многофакторного эксперимента. Для решения поставленной задачи нами выделены и рассмотрены факторы, влияющие на процесс раскроса низкоквалитетного сырья. Это следующие факторы: диаметр круглых лесоматериалов в комлевом торце, величина сбега лесоматериалов, длина лесоматериалов, диаметр гнили в комлевом торце, длина гнили, величина сбега гнили, толщина пилопродукции и ширина пропилов.

Диаметр гнили на комлевом торце круглых лесоматериалов выделен как стабилизирующий фактор, так как согласно математической теории планирования эксперимента невозможно варьирование данного фактора и диаметра лесоматериалов в комлевом торце в виду корреляционной зависимости между этими факторами [19].

Ширина пропила принята как постоянная величина, так как этот фактор оказывает незначительное влияние [11]. Таким образом, в качестве переменных (варьируемых) факторов приняты диаметр круглых лесоматериалов в комле, длина круглых лесоматериалов и толщина пилопродукции получаемой из круглых лесоматериалов после их продольного раскроса. Выбор уровней варьирования диаметра круглых лесоматериалов в комле принят исходя из анализа размерной характеристики лесоматериалов. Факторы и уровни варьирования приведены в табл.3. Выше указано, что математическая модель объемного выхода пилопродукции при раскросе низкоквалитетного сырья описывается полиномом второй степени. Поэтому для проведения экспериментальных исследований был

выбран план в среде статистической компьютерной программы *Statistica 10* (фирма *Stat Soft Inc.* США) [3]. Был выбран 3-х уровневый факторный план (*3-level factorial desing*). Данный план позволяет для трех факторов поставить 27 опытов. Применение данной программы позволяет наиболее полно проанализировать полученные данные. На основе матрицы планирования эксперимента в кодированных переменных и уровней варьирования факторов была построена матрица планирования. В результате реализации матрицы планирования на ЭВМ были определены значения выходного параметра по каждой строке.

В результате анализа результатов ранее проведенных исследований [11; 18] были установлены пределы варьирования диаметра круглых лесоматериалов $25 \text{ см} < D < 55 \text{ см}$. Уровни варьирования длины круглых лесоматериалов приняты $3,5 \text{ м} < L < 6,5 \text{ м}$. Это обусловлено тем, что преимущественно круглые лесоматериалы такого диапазона длин поступают на предприятия для продольного раскроса. Уровни варьирования толщины пилопродукции выбраны на основе проведенного анализа размерных характеристик пилопродукции для столярно-строительных изделий. Пределы варьирования толщины пилопродукции $19 \text{ мм} < S_{\text{заг}} < 50 \text{ мм}$.

Таблица 1
Уровни варьирования факторов

№	Факторы	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		-1	0	+1	
1	Диаметр комбинированного пиловочника, см	25	40	55	15
2	Длина комбинированного пиловочника, м	3,5	5	6,5	1,5
3	Толщина пилопродукции, мм	19	34,5	50	15,5

Толщина пилопродукции при уровне варьирования 0 не стандартная и используется лишь для моделирования. Раскросу подвергается комбинированный пиловочник, имеющий здоровую часть и часть, пораженную гнилью. Продольный раскрой производится на лесопильных рамах. Ряд факторов приняты условно постоянными. Это форма комбинированного пиловочника выраженная прямой близкой к телу вращения, форма поперечного сечения – круг, ширина пропила равной 3,8 мм.

При проведении исследований провели распиловку комбинированного пиловочника трех групп диаметров 25, 40, 55 см, длиной 6,5 м из древесины сосны (*Pinus sylvestris*). Пораженность ядровой гнили приняли по [18] в пределах 0,2–0,5 комлевого диаметра сортиментов. После обмеров комбинированного пиловочника по регрессионному уравнению были определены расчетные значения выхода обрезных пиломатериалов для данного способа раскроса. Комбинированный пиловочник раскраивали на обрезные пиломатериалы стандартных размеров. Определили опытные значения объемного выхода пиломатериалов и провели сравнение с расчетными значениями.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате обработки экспериментальных данных получены коэффициенты регрессионного уравнения связи объемного выхода пиломатериалов с влияющими на него факторами. Матрица коэффициентов регрессионного уравнения связи объемного выхода пилопродукции с влияющими на него показателями приведена в табл. 2.

Из данной таблицы следует, что статистически значимый эффект имеет только показатели, у которых величина p меньше 0,05 – диаметр и длина комбинированного пиловочника. R^2 (R -squared) – квадрат коэффициента множественной корреляции показывает, что полученное регрессионное уравнение объясняет 28,4 % разброса (относительно выборочного среднего зависимой переменной). SE ($Standard Error of Estimate$) – стандартная ошибка оценки является мерой рассеивания наблюдаемых значений относительно регрессионной модели. F – критерий применяется для проверки гипотезы об эффективности уравнения регрессии.

Уравнение множественной регрессии связи объемного выхода пиломатериалов с влияющими на него факторами выглядит следующим образом:

$$Q = 75,304 - 0,1777D - 1,9652L - 0,0497S_{zn},$$

где D – диаметр комбинированного пиловочника в комле; L – длина комбинированного пиловочника; S_{zn} – толщина пилопродукции.

Таблица 2
Матрица коэффициентов регрессионного уравнения

	B	Ср. ошибка B	t -критерий	p -значение
Своб. член ур-я	75,3040	6,5453	1,5050	0,0000
D	-0,1777	0,0894	-1,9881	0,0488
L	-1,9652	0,8936	-2,1991	0,0382
S_{zn}	-0,0497	0,0865	-0,5744	0,5713

$$R = 0,533; R^2 = 0,284; F = 3,0396; p_e = 0,04943; S_e = 5,6870.$$

Обозначения: D – диаметр комбинированного пиловочника в комле; L – длина комбинированного пиловочника; S_{zn} – толщина пилопродукции; B – коэффициент регрессионного уравнения; t – критерий Стьюдента; p – уровень значимости коэффициентов регрессии; p_e – уровень значимости уравнения регрессии; R^2 – коэффициент детерминации; F – критерий Фишера; SE – стандартная ошибка.

Таблица 3
Результаты опытных распиловок

Объемный выход пиломатериалов, %					
расчетный			фактический		
$D = 25$ см	$D = 40$ см	$D = 55$ см	$D = 25$ см	$D = 40$ см	$D = 55$ см
48,9	61,7	46,43	44,5	56,9	41,5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования по определению влияния параметров круглых лесоматериалов с наличием ядровой напенной гнили на выход получаемой из них пилопродукции позволяют сделать следующие выводы:

Полученное уравнение регрессии взаимосвязи объемного выхода пилопродукции с геометрическими характеристиками круглого лесоматериала может быть использовано для оценки качественных и количественных характеристик пиломатериалов при рас-

Для подтверждения результатов имитационного моделирования провели распиловку круглых лесоматериалов трех групп диаметров 25, 40, 55 см, длиной 6,5 м из древесины сосны (*Pinus sylvestris*). Пораженность ядровой напенной гнилью приняли в пределах 0,2–0,5 комлевого диаметра комбинированного пиловочника. После обмеров круглых лесоматериалов по регрессионному уравнению были определены расчетные значения выхода обрезных пиломатериалов для данного способа раскроя. комбинированный пиловочник раскраивали на обрезные пиломатериалы стандартных размеров. Боковые пиломатериалы имели номинальную толщину 19 мм. Центральные доски имели номинальную толщину 50 мм. Номинальная ширина пиломатериалов составляла 75, 100, 125, 150, 175 и 200 мм. Длина пиломатериалов принималась от 1,5 до 6 м, с градацией по длине 0,25 м. Определили опытные значения объемного выхода пиломатериалов и провели сравнение с расчетными значениями. Величина расчетного и фактического объемного выхода пиломатериалов приведены в табл. 3.

Анализ данных приведенных в табл. 3 показывает, что разница абсолютных значений расчетного и фактического выхода не превышает 5 %. В случае раскроя круглых лесоматериалов с наличием ядровой напенной гнили это является вполне удовлетворительным результатом.

крое комбинированного пиловочника хвойных пород древесины. Статистически значимый эффект при раскрое комбинированного пиловочника на объем полезного выхода пилопродукции имеют длина и диаметр круглого лесоматериала. Результаты проведенных исследований могут быть применены в дальнейшей работе по совершенствованию технологического процесса раскроя круглых лесоматериалов хвойных пород с ядровой напенной гнилью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бахарев Н. П. Планирование эксперимента : учеб. пособие. Самара : Самар. ГТУ. 2013. 77 с.
2. Болтянский В. Г. Математические методы оптимального управления. М. : Наука. 2012. 307 с.
3. Дюк В. Обработка данных на ПК в примерах. СПб. : Питер. 1997. 240 с.
4. Кононюк А. Е. Основы научных исследований (общая теория эксперимента). Кн. 1. Киев, 2010. 508 с.
5. Кононюк А. Е. Основы научных исследований (общая теория эксперимента). Кн. 2. Киев, 2010. 452 с.
6. Коробов В. В. Переработка низкокачественного древесного сырья / В. В. Коробов, Н. П. Рушнов. М. : Экология, 1991. 288 с.
7. Кумэ Х. Статистические методы повышения качества. М. : Финансы и статистика. 1990. 304 с.
8. Меркелов В. М. Совершенствование раскрытия низкокачественного осинового сырья с целью увеличения выхода пиломатериалов: специальность 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки» : дис. ... канд. техн. наук. Л., 1985. 205 с.
9. Комплексная оценка качества древесины в лесных культурах разных условий местопроизрастания / В. И. Мелехов, Н. А. Бабич, С. А. Корчагов, Р. В. Щекалев // Лесоведение. 2021. № 2. С. 208–216.
10. Мелехов В. И., Корчагов С. А., Бабич Н. А. Комплексная оценка качества древесины хвойных пород в культурах : монография. Архангельск : САФУ, 2013. 130 с.
11. Микрюкова Е. В., Торопов А. С. Исследование выхода пилопродукции из комбинированного пиловочника с напенной гнилью // Пенитенциарная наука. № 29. С. 75–78. Текст: непосредственный.
12. Пижурич А. А. Научные исследования в деревообработке. Основы научных исследований: текст лекций. М. : МГУЛ. 1999. 103 с.
13. Радченко С. Г. Устойчивые методы оценивания статистических моделей : монография. Киев : ПП Санспарель, 2010. 504 с.
14. Соболев И. М., Стадищев Р. Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М. : Наука, 2010. 108 с.
15. Семенкова Н. Г. Фитопатология. Дереворазрушающие грибы, гнили и патологические окраски древесины : определительные таблицы. 2-е изд., стер. М. : ГОУ ВПО МГУЛ. 2002. 58 с.
16. Торопов А. С. Аллометрический метод исследований // Материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, докторантов, аспирантов, сотрудников МарГТУ. Ч. 2. Йошкар-Ола : МарГТУ. 1996. С. 116–117.
17. Торопов А. С. Интенсификация производственных процессов поперечной распиловки лесоматериалов: 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 1993. 31 с.
18. Торопов А. С., Торопов С. А., Микрюкова Е. В. Исследование пораженности древесины напенной гнилью // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2009. № 4. С. 95–100.
19. Торопов А. С., Микрюкова Е. В., Краснова В. Ф. Прогнозирование выхода продукции деревообрабатывающих производств. Йошкар-Ола : ПГТУ. 2012. 148 с.
20. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение : учебник. М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. 351 с.
21. Blatner K. A., Keegan C. E., Daniels J. M., Morgan T. A. Trends in Lumber Processing in the Western United States. Part III: Residue Recovered versus Lumber Produced // Forest Products Journal. 2012. No. 62 (6). P. 429–433.
22. Chang S. J., Gazo R. Measuring the Effect of Internal Log Defect Scanning on the Value of Lumber Produced // Forest Products Journal. 2009. 59 (11-12). P. 56–59.
23. Ikami Y., Matsumura Y., Murata K., Tsuchikawa S. Effect of Crosscutting Crooked Sugi (*Cryptomeria japonica*) Logs on Sawing Yield and Quality of Sawed Lumber // Forest Products Journal. 2010. Vol. 60 (3). P. 244–248.
24. Lin W., Wang J., Vallance D. De. Log Sawing Practices and Lumber Recovery of Small Hardwood Sawmills in West Virginia // Forest Products Journal. 2011. No. 61 (3). P. 216–224.
25. Montero R. S., Moya R. Reducing Warp and Checking in 4 by 4 Beams from Small-Diameter Tropical Species (*Tectona grandis*, *Grevillea arborea* and *Cordia alliodora*) Obtained by Turning the Pith Inside Out // Forest Products Journal. 2015. No. 65 (5-6). P. 285–291.

REFERENCES

1. Bakharev N. P. Planning of the experiment: textbook. allowance. Samara : Samar. GTU. 2013. 77 p.
2. Boltiansky V. G. Mathematical methods of optimal control. Moscow : Nauka. 2012. 307 p.
3. Duke V. Data processing on a PC in examples. SPb: Peter. 1997. 240 p.
4. Kononyuk A. E. Fundamentals of scientific research (general theory of experiment). Book 1. Kiev. 2010. 508 p.
5. Kononyuk A. E. Fundamentals of scientific research (general theory of experiment). Book 2. Kiev. 2010. 452 p.
6. Korobov V. V., Rushnov N. P. Processing of low-quality wood raw materials. Moscow, 1991. 288 p.
7. Kume H. Statistical methods for improving quality. Moscow : Finance and statistics. 1990. 304 p.
8. Merkelov V. M. Improving the cutting of low-quality aspen raw materials in order to increase the yield of sawn timber: specialty 05.21.05. Wood science, technology and equipment for wood processing: dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Leningrad, 1985. 205 p.
9. Melekhov V. I., Babitch N. A., Kortchagov S. A., Shekalev R. V. Comprehensive assessment of wood quality in forest crops of different growing conditions // Forest science. 2021. No. 2. P. 208–216.
10. Melekhov V. I., Kortchagov S. A., Babitch N. A. Comprehensive assessment of the quality of coniferous wood in crops : monograph. Arkhangelsk : SAFU. 2013. 130 p.
11. Pizhurin A. A. Scientific research in woodworking. Fundamentals of scientific research : text of lectures. Moscow : MGUL. 1999. 103 p.

12. Radchenko S. G. Stable methods for estimation of statistical models : monograph. Kiev : PP Sansparelle. 2010. 504 p.
13. Sobol I. M., Stadishchev R. B. Choice of Optimal Parameters in Problems with Many Criteria. Moscow : Nauka, 2010. 108 p.
14. Semenkov N. G. Plant pathology. Wood-destroying fungi, rot and pathological wood stains (definition tables. 2nd ed., stereotypical. Moscow : GOU VPO MGUL. 2002. 58 p.
15. Toropov A. S. Allometric research method // Materials of the scientific conference of the teaching staff, doctoral students, graduate students, employees of MarSTU, Part 2. Yoshkar-Ola : MarGTU. 1996. P. 116–117.
16. Toropov A. S. Intensification of production processes of transverse sawing of timber: 05.21.01. Technology and machines of logging and forestry: abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Saint Petersburg. 1993. 31 p.
17. Toropov A. S., Toropov S. A., Mikryukova E. V. Investigation of wood damage by foam rot // Lesnoy Zhurnal (Forestry journal). 2009. No. 4. P. 95–100.
18. Toropov A. S., Mikryukova E. V., Krasnova V. F. Forecasting the output of woodworking production. Yoshkar-Ola : PSTU. 2012. 148 p.
19. Ugolev B. N. Wood science and forest commodity science : textbook. M. : GOU VPO MGUL, 2007. 351 p.
20. Blatner K. A., Keegan C. E., Daniels J. M., Morgan T. A. Trends in Lumber Processing in the Western United States. Part III: Residue Recovered versus Lumber Produced // Forest Products Journal. 2012. No 62 (6). P. 429–433.
21. Chang S. J., Gazo R. Measuring the Effect of Internal Log Defect Scanning on the Value of Lumber Produced // Forest Products Journal. 2009. 59 (11-12). P. 56–59.
22. Ikami Y., Matsumura Y., Murata K., Tsuchikawa S. Effect of Crosscutting Crooked Sugi (*Cryptomeria japonica*) Logs on Sawing Yield and Quality of Sawn Lumber // Forest Products Journal. 2010. Vol. 60 (3). P. 244–248.
23. Lin W., Wang J., Vallance D. De. Log Sawing Practices and Lumber Recovery of Small Hardwood Sawmills in West Virginia // Forest Products Journal. 2011. No. 61 (3). P. 216–224.
24. Montero R. S., Moya R. Reducing Warp and Checking in 4 by 4 Beams from Small-Diameter Tropical Species (*Tectona grandis*, *Gmelina arborea* and *Cordia alliodora*) Obtained by Turning the Pith Inside Out // Forest Products Journal. 2015. No. 65 (5-6). P. 285–291.

© Бызов В. Е., Торопов А. С., Торопова Е. В.,
Микрюкова Е. В., Шарапов Е. С., 2023

Поступила в редакцию 10.09.2022
Принята к печати 10.01.2023

ВЛИЯНИЕ ПРОПИТКИ ГИДРОФОБИЗИРУЮЩИМИ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИМИ СОСТАВАМИ НА СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

А. В. Ермолина

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31

Древесина в связи с особенностями своего анатомического строения обладает способностью к увлажнению, что позволяет ей легко поглощать влагу из окружающей среды при контакте. Однако это приводит к снижению ее эксплуатационных качеств и биоразрушениям. Одним из способов снижения водопоглощения и влагопоглощения древесины является ее обработка гидрофобизирующими составами. Особенно это востребовано для памятников истории и культуры, выполненных из древесины. С этой целью рекомендуется выполнять поверхностную капиллярную пропитку составами на основе кремнийорганических соединений.

В работе приведены исследования свойств натуральной пиленой и частично деградированной древесины, обработанной органикорастворимыми гидрофобизирующими кремнийорганическими составами, и составами на водной основе. Определен pH этих составов. По кратности нанесения составов, которая позволяла достигнуть необходимого расхода, была изучена скорость проникновения гидрофобизаторов в древесину. Также устанавливалась глубина проникновения составов при выбранном капиллярном методе пропитки. Для оценки срока службы сформированного гидрофобного покрытия древесина подвергалась циклам климатических испытаний.

После испытаний производились исследования поглощающей способности обработанной древесины. Она оценивалась по изменению значений водопоглощения и влагопоглощения гидрофобизированной древесины в сравнении с необработанной. Было установлено, что большее снижение водопоглощения наблюдается у частично деградированной древесины. Результаты испытаний по определению влагопоглощения древесины позволяют сделать вывод о паропроницаемости сформированных гидрофобных покрытий.

В заключение на основании полученных результатов исследований был сделан вывод о целесообразности применения гидрофобизирующих кремнийорганических составов для защиты зданий и сооружений, уже находящихся в эксплуатации, в частности для памятников деревянного зодчества.

Ключевые слова: древесина, гигроскопичность, водопоглощение, влагопоглощение, гидрофобизация.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 1, P. 89–94

EFFECT OF IMPREGNATION WITH HYDROPHOBIZING ORGANOSILICON COMPOUNDS ON THE PROPERTIES OF WOOD

A. V. Ermolina

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

Wood, due to the peculiarities of its anatomical structure, has the ability to moisten, which allows it to easily absorb moisture from the environment upon contact. However, this leads to a decrease in its performance and biodegradation. One of the ways to reduce water absorption and moisture absorption of wood is its treatment with hydrophobizing compositions. This is especially in demand for historical and cultural monuments made of wood. For this purpose, it is recommended to perform surface capillary impregnation with compositions based on organosilicon compounds.

The paper presents studies of the properties of natural sawn and partially degraded wood treated with organic-soluble hydrophobizing organosilicon compositions, and water-based compositions. The pH of these compositions was determined. According to the multiplicity of application of the compositions, which made it possible to achieve the required consumption, the rate of penetration of hydrophobizing compositions into the wood was studied. The penetration depth of the compositions was also established with the selected capillary impregnation method. To assess the service life of the formed hydrophobic coating, the wood was subjected to cycles of climatic tests.

After the tests, studies were carried out on the absorbing capacity of the treated wood. It was evaluated by changing the values of water absorption and moisture absorption of hydrophobized wood in comparison with untreated wood. It was found that a greater decrease in water absorption is observed in partially degraded wood. The results of tests to determine the moisture absorption of wood allow us to conclude that the vapor permeability of the formed hydrophobic coatings.

In conclusion, based on the results of the research, it was concluded that it is expedient to use hydrophobic organosilicon compositions to protect buildings and structures already in operation, in particular for monuments of wooden architecture.

Keywords: wood, hygroscopicity, water absorption, moisture absorption, hydrophobization.

ВВЕДЕНИЕ

Древесина используется во многих отраслях промышленности. Обладая более низкой плотностью в сравнении с кирпичом и бетоном, она имеет достаточную прочность, хорошие теплоизоляционные свойства, способность без разрушения поглощать энергию при ударных нагрузках, гасить вибрации. Древесина легко поддается механической обработке, склеиванию, удерживает металлические и другие крепления, обладает уникальной резонансной способностью [1].

Однако в связи с особенностями химического состава и строения структуры древесина способна легко поглощать влагу при контакте с водой и влажным воздухом. В результате этого при проникновении молекул воды в лигноуглеводный комплекс происходит разрыв межмолекулярных водородных связей, что приводит к снижению прочности древесины. При повышении влажности древесины с 12 % до 30 % ее механическая прочность в среднем снижается на 70 % [2; 3]. Вследствие экологических загрязнений атмосферная влага может содержать кислотные агенты, что приводит к гидролитическим разрушениям деревянных конструкций [4; 5]. Кроме того, увеличение влажности приводит к разбуханию древесины и как следствие увеличению ее размеров, а так же развитию биоповреждений. Это в результате приводит к сокращению срока службы изделий и конструкций из древесины [6].

Проблема снижения поглощения древесиной влаги может быть решена путем ее гидрофобизации. Особенно актуальна такая защита для памятников деревянного зодчества. Процесс гидрофобизации может быть осуществлен при пропитке древесины мономерами при избыточном давлении методом горячих-холодных ванн с перепадом температур и автоклавным, а так же созданием защитной гидрофобной пленки на поверхности методом капиллярной пропитки [5]. Пропитка древесины при избыточном давлении обеспечивает наиболее глубокое проникновение пропиточных составов и рекомендуется для обработки древесины, эксплуатируемой в тяжелых условиях. Однако эти способы предполагают большой расход пропиточного материала при проведении процесса пропитки, а также связанные с ним высокие трудозатраты и расход энергии [7].

Создание гидрофобных пленок на поверхности древесины может быть реализовано различными способами: обработка маслами, лакокрасочными материалами и кремнийорганическими составами. При обработке древесины маслами ее погружают в горячее масло, которое может быть минеральным, растительным, синтетическим или полусинтетическим, а затем сушат. Недостатками такой обработки является большой расход материала, длительность процесса, неравномерность распределения гидрофобной пленки по поверхности древесины [8; 9]. Лакокрасочными материалами, которые могут быть использованы для гидрофобизации древесины, являются пропитки и морилки на масляной основе, органикорастворимые лазури и краски. Данные материалы наносят на поверхность древесины кистью, валиком. Недостатком такой обработки является то, что они могут снижать огне-

стойкость, способность древесины к склеиванию и полностью скрывать цвет и текстуру дерева [10], а также не обеспечивают длительную эксплуатацию в атмосферных условиях.

Гидрофобизирующие составы на основе кремнийорганических соединений обладают высокой тепло- и термостойкостью, способны химически связываться с ней [5]. При обработке такими составами у древесины повышается сопротивление возгоранию одновременно с гидрофобным действием. Это особенно ценно в клееных деревянных конструкциях (КДК), где необходимо снижать внутренние напряжения в клеевых швах путем влагозащитной обработки древесины и одновременно защищать ее от огня. Древесина, пропитанная некоторыми кремнийорганическими соединениями, сохраняет способность склеиваться [8]. Обработка гидрофобизирующими составами на основе кремнийорганических соединений может осуществляться в пропиточных ваннах и нанесением на поверхность ручными инструментами, при этом образуется достаточно долговечное покрытие.

В настоящее время на практике применяют гидрофобизирующие кремнийорганические составы на основе алкилсиликонатов калия, алкоксисиланов гидро-содержащих силоксанов, гидроксидсодержащих силоксанов. Современными гидрофобными материалами являются полиорганосилоксаны в виде жидкостей, алкилсиликонаты щелочных металлов, смолы, а также композиции на их основе [11–14]. Наиболее удобными в применении являются гидрофобизирующие составы в виде растворов кремнийорганических соединений в воде и органических растворителях. Исследованию влияния таких гидрофобизирующих составов на процессы увлажнения древесины и посвящена данная работа.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

На основании обзора существующих гидрофобизирующих кремнийорганических составов для исследований были отобраны составы «Gfsintez» [15], на основе изопропилового спирта, и два состава на водной основе «Типром К» [16] и «Гидрофобизирующая кремнийорганическая жидкость» (ГКЖ) [17]. На предварительном этапе у каждого выбранного состава была определена pH среды. Было установлено, что состав «Gfsintez» имеет pH = 3 (кислая среда), «Типром К» – pH = 7 (нейтральная среда), ГКЖ – pH = 12 (щелочная среда).

Для изучения влияния пропитки гидрофобизирующими кремнийорганическими соединениями на свойства древесины были изготовлены две партии образцов. Одна была вырезана из натуральной пиленной древесины. Вторая партия – из частично деградированной в результате атмосферного воздействия древесины вырезанная из сортимента, который эксплуатировался длительное время на открытом воздухе.

На первом этапе исследований выявлялись технологические особенности обработки древесины выбранными гидрофобизирующими составами. Была изучена динамика их проникновения при капиллярной пропитке методом нанесения на поверхность и глубина пропитки. В процессе проведения экспери-

мента определялся расход гидрофобизирующих составов при каждом их нанесении на поверхность. В качестве предельных значений расходов были приняты рекомендуемые техническими условиями на составы фирмами производителями. Было установлено, что требуемый расход гидрофобизирующих составов у древесины, подвергавшейся атмосферному воздействию, достигается уже при однократном нанесении. Для достижения требуемого расхода на образцах натуральной пиленной древесины необходимо было произвести однократное нанесение состава «Gfsintez» и двух-, трехкратное нанесение составов «Типром К» и ГКЖ, что свидетельствует о более низкой проникающей способности составов на водной основе. Так же было установлено, что глубина проникновения гидрофобизирующих составов не превышает 1 мм, что характерно для данного способа пропитки.

На следующем этапе исследований для моделирования длительных сроков эксплуатации в тяжелых температурно-влажностных условиях выполнялись 10 циклов температурно-влажностных испытаний в соответствии с ГОСТ 33121–2014 [18]. Один цикл испытаний включал следующие операции: вымачивание в течение 20 ч при температуре $(+20 \pm 2)^\circ\text{C}$; замораживание мокрых образцов в течение 6 ч при температуре $(-20 \pm 2)^\circ\text{C}$; оттаивание и подсушивание образцов на стеллажах в течение 16 ч при температуре $(+20 \pm 2)^\circ\text{C}$; высушивание в сушильном шкафу в течение 6 ч при

температуре $(+60 \pm 5)^\circ\text{C}$ и влажности воздуха от 60 до 75 %. На основании проведенных испытаний было установлено, что после циклов климатических испытаний у обеих партий образцов не было выявлено внешних изменений.

Для оценки долговечности гидрофобных покрытий после циклов климатических испытаний были произведены исследования водопоглощения и влагопоглощения древесины. Образцы древесины, обработанные гидрофобизирующими составами, после циклов климатических испытаний и без них высушивались до абсолютно сухого состояния и помещались в эксикатор с дистиллированной водой при комнатной температуре. Продолжительность эксперимента составляла 10 дней. Результаты экспериментов по определению водопоглощения на основании средних значений опытов приведены на рис. 1, 2.

Как следует из полученных зависимостей, водопоглощение частично деградированной древесины выше, чем у натуральной пиленной древесины, что объясняется нарушением структуры такой древесины в результате воздействия. После обработки составом «Gfsintez» натуральной пиленной древесины ее водопоглощение после 10 суток испытаний без циклов климатических испытаний снижается на величину около 30 % в сравнении с водопоглощением необработанной древесиной, при обработке «Типром К» – на величину около 25 %, ГКЖ – на величину около 20 %.

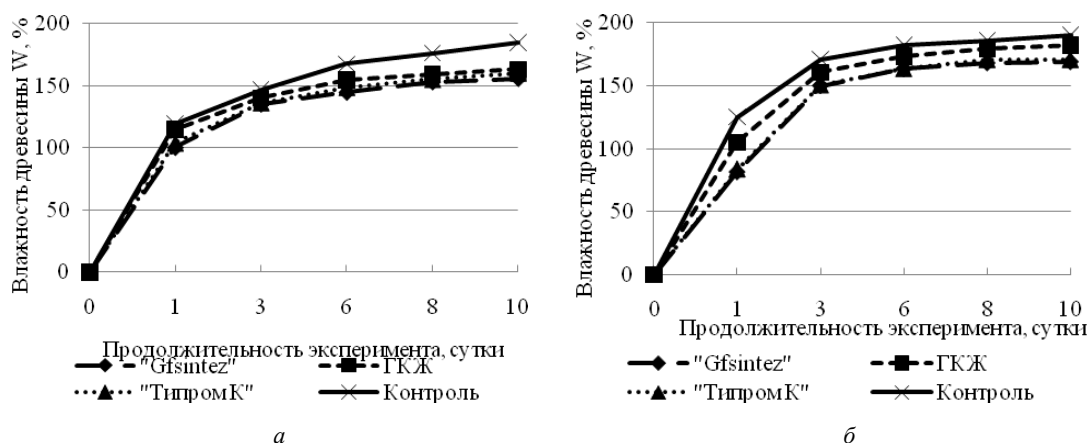


Рис. 1. Водопоглощение натуральной древесины:

a – без климатических испытаний; *б* – после циклов климатических испытаний

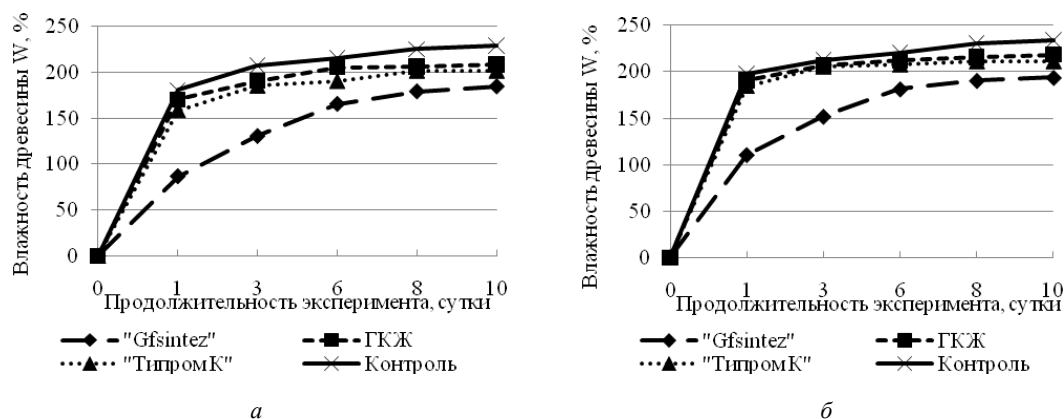


Рис. 2. Водопоглощение частично деградированной древесины:

a – без климатических испытаний; *б* – после циклов климатических испытаний

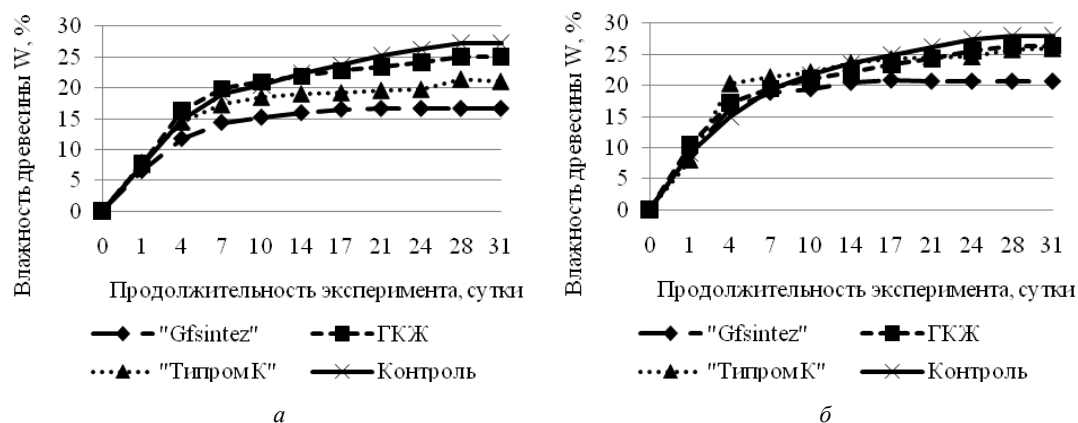


Рис. 3. Влагопоглощение натуральной древесины:

a – без климатических испытаний, *б* – после циклов климатических испытаний

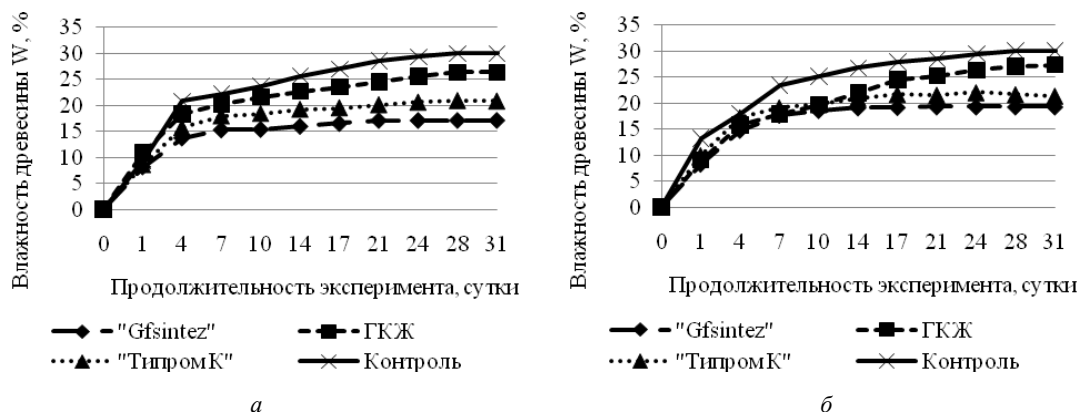


Рис. 4. Влагопоглощение частично деградированной древесины:

a – без климатических испытаний; *б* – после циклов климатических испытаний

Водопоглощение частично деградированной древесины, обработанной составом «Gfsintez» без циклов климатических испытаний, на 10 суток снижается на величину около 45 % в сравнении с необработанной древесиной, «Типром К» – около 30 %, ГКЖ – около 20 %.

После циклов климатических испытаний водопоглощение образцов древесины, обработанных гидрофобизаторами, так же ниже в сравнении с необработанными. Для образцов натуральной пиленной древесины, покрытых «Gfsintez» и «Типром К» ниже на величину около 20 %, ГКЖ – около 10 %. Для образцов из частично деградированной древесины, обработанной «Gfsintez» ниже на величину около 40 %, «Типром К» – около 20 %, ГКЖ – около 15 %.

Влагопоглощение образцов древесины, обработанных кремнийорганическими составами, после циклов климатических испытаний и без них проводилось в соответствии с ГОСТ 16483.19–72 [19] до достижения постоянной массы образцами в течение 31 суток. На рис. 3, 4 представлены графические зависимости изменения влажности древесины от продолжительности исследований на основании средних значений опытов.

На основании представленных данных можно сделать вывод, что аналогично водопоглощению, влагопоглощение натуральной пиленной древесины меньше, чем у частично деградированной древесины. После 31

суток испытаний влагопоглощение образцов натуральной пиленной древесины, не подвергавшейся циклам климатических испытаний и после них, которые были обработаны составом «Gfsintez» ниже на величину от 8 % в сравнении с влагопоглощением необработанной древесиной, «Типром К» – около от 4 %, ГКЖ – около 2 %. Влагопоглощение частично деградированной древесины без циклов климатических испытаний и после них, обработанной «Gfsintez» и «Типром К» ниже на величину около 10 % в сравнении с влагопоглощением необработанной, ГКЖ – на величину около 3 %. Приведенные данные свидетельствуют о паропроницаемости сформированных гидрофобных покрытий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных экспериментов можно заключить, что испытанные гидрофобизирующие кремнийорганические составы являются долговечными. После проведения климатических испытаний, которые включали в себя десятикратное повторение циклов «вымачивание – замораживание – сушка – нагревание» они сохранили свои защитные свойства. При этом существенного ухудшения внешнего вида образцов древесины не произошло. Это свидетельствует о том, что данные составы могут защитить древесину на длительный срок. Лучшие результаты показал органикорастворимый состав «Gfsintez».

Наибольший эффект от использования кремнийорганических составов отмечался на образцах из частично деградированной древесины. Это было заметно в большей степени при исследовании влияния обработки гидрофобизирующими составами на скорость процессов влагопоглощения. Исходя из этого, можно заключить, что целесообразно применять эти составы для защиты зданий и сооружений, уже находящихся в эксплуатации. Особенно это актуально в настоящее время для памятников деревянного зодчества.

Результаты исследований влагопоглощения и водопоглощения древесины свидетельствуют о том, что кремнийорганические составы не создают сплошной пленки на поверхности, то есть древесина остается паропроницаемой в процессе эксплуатации. Это является принципиально важным условием для обеспечения длительной эксплуатации деревянных сооружений. Кроме того, это позволяет проводить повторные обработки с определенной периодичностью без удаления предыдущего слоя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Применение гидрофобизирующих и модифицирующих составов для пропитки древесного армирующего заполнителя / Т.Н. Стородубцева [и др.] // Лесотехнический журнал. 2012. № 2. С. 36–46.
2. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение : учебник для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во МГУЛ, 2007. 351 с.
3. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине : справочник. М. : Лесная пром-сть, 1989. 294 с.
4. Шарков В. И. Гидролизное производство. В 3 т. Т. 1. Теория осахаривания разбавленными кислотами: Допущ. ВКВШ при СНК СССР в качестве учеб. пособия для втузов. М.: Гослестехиздат, 1945. 287 с.
5. Покровская Е. Н. Сохранение памятников деревянного зодчества с помощью элементоорганических соединений: [Электронный ресурс]: химико-физические основы увеличения долговечности древесины. М. : МГСУ, 2009. 135 с.
6. Стенина Е. И. Защита древесины и деревянных конструкций : учебное пособие для учебных заведений, реализующих программу среднего профессионального образования по специальности 35.02.03 «Технология деревообработки». М. : Инфра-М, 2020. 218 с.
7. Серговский П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М. : Лесная пром-сть, 1975. 400 с.
8. Калниныш А. Я. Консервирование и защита лесоматериалов : справочник. М. : Лесн. пром-ть, 1971. 424 с.
9. Мамедьяров М. А. Химия синтетических масел. Л. : Химия. Ленингр. отд-ние, 1989. 237с.
10. Тамилин М. Лакокрасочная продукция для защиты древесины [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: https://domastroim.su/articles/kraski/kraski_489.html, свободный. Загл. с экрана.
11. Гидрофобизатор на основе окисленного атактического полипропилена / Н. Н. Дебелова [и др.] // Известия Томского политехнического университета. 2013. № 3. С. 91–94.
12. Борисов С. Н., Воронков М. Г., Луцкевич Э. Я. Кремнийэлементоорганические соединения. Производные неорганогенов. Л. : Химия, 1966. 544 с.
13. Вершинина Г. С. Применение кремнийорганических соединений в строительстве. М. : Стройизд, 1989. 62 с.
14. Кротова В. А. Органосиликатные и кремнийорганические материалы в практике строительных, противокоррозионных, защитно-декоративных, ремонтных и реставрационных работ // V Междунар. симпозиум «Контроль и реабилитация окружающей среды» : Матер. научно-практ. конф. / под ред. В. А. Кротова. Л., 1991. 76 с.
15. Каталог продукции «Gfsintez». Защитное покрытие для дерева и картона [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <https://gfsintez.ru/products/category/2459075>, свободный. Загл. с экрана.
16. Каталог продукции «САЗИ». Гидрофобизатор «Типром К» [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <https://www.sazi-group.ru/gidrofobizatory/tiprom-k/>, свободный. Загл. с экрана.
17. Каталог продукции «Акродекор – К». Гидрофобизирующая кремнийорганическая жидкость ГКЖ [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <https://www.akrodekor-k.ru/tovary/gidrofobiziruyushchaya-kremniyorganicheskaya-zhidkost-gkzh>, свободный. Загл. с экрана.
18. ГОСТ 33121–2014. Конструкции деревянные клееные. Методы определения стойкости клеевых соединений к температурно-влажностным воздействиям. Взамен ГОСТ 18446–73, ГОСТ 19100–73, ГОСТ 17005–82, ГОСТ 17580–82, ГОСТ 27812–2005 ; введ. 2015–07–01. М. : Стандартинформ, 2015. 20 с.
19. ГОСТ 16483.19–72. Древесина. Метод определения влагопоглощения. Взамен ГОСТ 11487–65 ; введ. 1974–01–01. М. : Издательство стандартов, 1999. 2 с.

REFERENCES

1. Primeneniye gidrofobiziruyushchikh i modifitsiruyushchikh sostavov dlya propitki drevesnogo armiruyushchego zapolnitelya / T.N. Storodubtseva [i dr.] // Lesotekhnicheskij zhurnal. 2012. № 2. S. 36–46.
2. Ugolev B. N. Drevesinovedeniye i lesnoye tovarovedeniye : uchebnik dlya vuzov. 5-e izd., pererab. i dop. M. : Izd-vo MGUL, 2007. 351 s.
3. Borovikov A. M., Ugolev B. N. Spravochnik po drevesine : spravochnik. M. : Lesnaya prom-st', 1989. 294 s.
4. Sharkov V. I. Gidroliznoye proizvodstvo. V 3 t. T. 1 Teoriya osakharivaniya razbavlennymi kislotami: Dopushch. VKVSH pri SNK SSSR v kachestve ucheb. posobiya dlya vtuzov. M.i: Goslестekhizdat, 1945. 287 s.
5. Pokrovskaya Ye. N. Sokhraneniye pamyatnikov derevyannogo zodchestva s pomoshch'yu elementoorganicheskikh soyedineniy: [Elektronnyy resurs]: khimiko-fizicheskiye osnovy uvelicheniya dolgovechnosti drevesiny. M. : MGSU, 2009. 135 s.
6. Stenina Ye. I. Zashchita drevesiny i derevyannykh konstruksiy : uchebnoye posobiye dlya uchebnykh zavedeniy, realizuyushchikh programmu srednego professional'nogo obrazovaniya po spetsial'nosti 35.02.03 "Tekhnologiya derevoobrabotki". M. : Infra-M, 2020. 218 s.

7. Sergovskiy P. S. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovaniye drevesiny*. M. : Lesnaya prom-st', 1975. 400 s.
8. Kalnin'sh A. Ya. *Konservirovaniye i zashchita lesomaterialov : spravochnik*. M. : Lesn. prom-t', 1971. 424 s.
9. Mamed'yarov M. A. *Khimiya sinteticheskikh masel*. L. : Khimiya. Leningr. otd-niye, 1989. 237s.
10. Tamin M. *Lakrasochnaya produktsiya dlya zashchity drevesiny* [Elektronnyy resurs]. Elektron. dan. Rezhim dostupa: https://domastroim.su/articles/kraski/kraski_489.html, svobodnyy. Zagl. s ekrana.
11. *Gidrofobizator na osnove okislennogo atakticheskogo polipropilena* / N. N. Debelova [i dr.] // *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2013. № 3. S. 91–94.
12. Borisov S. N., Voronkov M. G., Lutskevich E. Ya. *Kremniy·elementoorganicheskiye soyedineniya. Proizvodn·yye neorganogenov*. L. : Khimiya, 1966. 544 s.
13. Vershinina G. S. *Primeneniye kremniyorganicheskikh soyedineniy v stroitel'stve*. M. : Stroyizd, 1989. 62 s.
14. Krotikova V. A. *Organosilikatn·yye i kremniyorganicheskiye materialy v praktike stroitel'nykh, protivokorroziyonnykh, zashchitno-dekorativnykh, remontnykh i restavratsionnykh rabot* // *V Mezhdunar. Simpozium «Kontrol' i reabilitatsiya okruzhayushchey sredy»* : Mater. nauchno-prakt. konf. / pod red. V. A. Krotikova. L., 1991. 76 s.
15. *Katalog produktsii «Gfsintez»*. Zashchitnoye pokrytiye dlya dereva i kartona [Elektronnyy resurs]. Elektron. dan. Rezhim dostupa: <https://gfsintez.ru/products/category/2459075>, svobodnyy. Zagl. s ekrana.
16. *Katalog produktsii «SAZI»*. Hidrofobizator «Tiprom K» [Elektronnyy resurs]. Elektron. dan. Rezhim dostupa: <https://www.sazi-group.ru/gidrofobizatory/tiprom-k/>, svobodnyy. Zagl. s ekrana.
17. *Katalog produktsii «Akrodekor – K»*. Hidrofobiziruyushchaya kremniyorganicheskaya zhidkost' GKZH [Elektronnyy resurs]. Elektron. dan. Rezhim dostupa: <https://www.akrodekor-k.ru/tovary/gidrofobiziruyushchaya-kremniyorganicheskaya-zhidkost-gkzh>, svobodnyy. Zagl. s ekrana.
18. GOST 33121–2014. *Konstruktsii derevyann·yye kleyen·yye. Metody opredeleniya stoykosti kleyevykh soyedineniy k temperaturno-vlazhnostnym vozdeystviyam*. Vzamen GOST 18446–73, GOST 19100–73, GOST 17005–82, GOST 17580–82, GOST 27812–2005 ; vved. 2015–07–01. M. : Standartinform, 2015. 20 s.
19. GOST 16483.19–72. *Drevesina. Metod opredeleniya vlagopogloshcheniya*. Vzamen GOST 11487–65 ; vved. 1974–01–01. M. : Izdatel'stvo standartov, 1999. 2 s.

© Ермолина А. В., 2023

Поступила в редакцию 05.08.2022
Принята к печати 10.01.2023

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

УДК 547.9

DOI: 10.53374/1993-0135-2023-1-95-100

Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 1. С. 95–100

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ШИШЕК И СЕМЯН ХВОЙНЫХ ПОРОД СИБИРИ

В. А. Иванов, Е. В. Лис, Е. В. Фибих, Ю. С. Шимова

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: liseb@sibsau.ru

В статье приведены исследования химического состава шишек и ядер семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.) и ели сибирской (*Picea obovata* Ldb.), являющихся основными лесообразующими хвойными породами Сибири.

Впервые был изучен компонентный состав шишек и семян основных лесообразующих пород региона. Суммарное содержание полисахаридов в шишках составляет от 61 до 75 %, при этом максимальное количество полисахаридов было обнаружено в шишках сосны обыкновенной, а минимальное – в шишках лиственницы сибирской. Содержание минеральных компонентов в шишках всех исследуемых пород не превышает 1,5 %. Максимальное содержание воскообразных веществ отмечается в шишках сосны сибирской кедровой (1,5 %), минимальное – в шишках сосны обыкновенной (0,2 %). Основными компонентами семян является лигноуглеводный комплекс. Наибольшее содержание минеральных компонентов отмечено в семенах ели сибирской – 2,30 %. Содержание воскообразных веществ в семенах во всех исследуемых породах варьирует незначительно и составляет около 1 %.

Приведен компонентный состав эфирных масел шишек хвойных пород. Основными компонентами эфирных масел шишек являются α -пинен, β -пинен, лимонен, Δ^2 -карен, ланалил пропионат, борнилацетат.

Определено содержание полифенольных соединений в шишках хвойных пород Сибири. Максимальное количество полифенольных соединений и таннидов – 8,27 % и 5,5 % соответственно обнаружено в шишках сосны обыкновенной, фенолкарбоновых кислот – в шишках сосны сибирской кедровой – 2,5 %, флавоноидов – в шишках лиственницы сибирской – 1,34 %.

Ключевые слова: шишки, семена, хвойные породы, химический состав, экстрактивные вещества, эфирные масла, полифенольные соединения.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 1, P. 95–100

STUDY OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF CONES AND SEEDS OF CONIFEROUS SPECIES OF SIBERIA

V. A. Ivanov, E. V. Lis, E. V. Fibikh, Yu. S. Shimova

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: liseb@sibsau.ru

The article presents studies of the chemical composition of cones and seed kernels of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), the Siberian larch (*Larix sibirica* L.), and the Siberian spruce (*Picea obovata* Ldb.), which are the main forest-forming coniferous species of Siberia.

The component composition of cones and seeds of the main forest-forming species of the region was studied for the first time. The total content of polysaccharides in the cones ranges from 61 to 75 %; the maximum amount of polysaccharides was found in the cones of the Scotch pine, and the minimum amount – in the cones of the Siberian larch. The content of mineral constituents in the cones of all species studied does not exceed 1.5 %. The maximum content of waxy substances is observed in the cones of the Siberian pine (1.5 %), the minimum content – in the cones of the Scots pine (0.2 %). The main component of the seeds is the lignin-carbohydrate complex. The highest content of mineral constituents was noted in the seeds of the Siberian spruce – it makes 2.30 %. The content of waxy substances in the seeds of all species studied varies insignificantly and amounts to approximately 1 %.

The component composition of essential oils made from the cones of coniferous species is given. The main components of the essential oils made from cones are α -Pinene, β -Pinene, limonene, Δ^2 -Carene, Linalyl Propionate, Bornyl acetate.

The content of polyphenolic compounds in the cones of the Siberian coniferous species was determined. The maximum amount of polyphenolic compounds and tannins (8.27 % and 5.5 % respectively) was found in the cones of the Scotch pine, the maximum amount of phenolcarboxylic acids – in the cones of the Siberian pine (2.5 %), the maximum amount of flavonoids – in the cones of the Siberian larch (1.34 %).

Keywords: cones, seeds, coniferous species, chemical composition, extractives, essential oils, polyphenol compounds.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, во всем мире, возрос интерес к исследованиям и переработке растительной биомассы с целью получения биологически активных веществ. Это связано, прежде всего, с тем, что синтетические препараты, используемые при производстве лекарств, пищевой и парфюмерно-косметической продукции, могут оказывать негативное воздействие на организм человека [1–5].

Повышенный интерес представляет традиционное растительное сырье Сибири – хвойные растения. Несмотря на то, что изучением древесной зелени хвойных пород Сибири начали заниматься еще в 30-е годы прошлого века, данные о химическом составе шишек хвойных, являющихся одним из элементов древесной зелени, носят фрагментарный характер, что резко ограничивает возможности их использования. В связи с этим, исследование химического состава шишек и семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.) и ели сибирской (*Picea obovata* Ldb.) основных лесообразующих хвойных пород Сибири, является актуальным.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ компонентного состава шишки и ядра семян проводили по общепринятым в химии древесины методикам. Экстрактивные вещества шишки и скорлупы выделяли исчерпывающей экстракцией в аппарате Сокслета водой, этиловым спиртом, гексаном при температуре кипения растворителей [6–10].

Состав эфирных масел устанавливали методом хромато-масс-спектрометрии на газовом хроматографе с масс-селективным детектором Hewlett Packard – JCD-plus. Условия анализа жирных кислот: газ-носитель – гелий, скорость 1 мл/мин, температура ввода пробы – 230 °C, начальная температура хроматографирования – 70 °C, подъем температуры до 230 °C со скоростью 50 в минуту, температура детектора – 230 °C, колонка капиллярная HP – 5, длина 30 м, диаметр – 0,25 мм [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для исследования были взяты шишки и ядра семян сосны обыкновенной, ели сибирской, лиственницы сибирской, произрастающих в экологически благополучном районе. В качестве сравнения были использованы шишки сосны сибирской кедровой, как наиболее изученных и в настоящее время имеющих достаточно широкое применение. Все результаты приведены в расчёте на абсолютно сухую массу.

Компонентный состав шишек хвойных пород Сибири представлен в таблице 1. Как видно из представленных данных, основными компонентами шишек всех исследуемых пород являются лигноподобные вещества и полисахариды. Содержание лигноподобных веществ варьирует от 40 до 54 % в сосне сибирской кедровой и ели сибирской соответственно. Такое высокое содержание лигноподобных веществ объясняется тем, что шишка выполняет защитную функцию для семян, препятствуя механическому повреждению семян, а также проникновению влаги.

Таблица 1
Компонентный состав шишек хвойных пород Сибири

Показатель	Сосна сибирская кедровая	Сосна обыкновенная	Ель сибирская	Лиственница сибирская
Легкогидролизуемые полисахариды, % а.с.с.	23,60±1,20	14,20±0,05	12,70±0,04	18,25±0,06
Трудногидролизуемые полисахариды, % а.с.с.	13,90±0,70	25,20±1,50	19,60±1,20	15,52±1,00
Лигноподобные вещества, % а.с.с.	40,20±1,80	49,80±2,00	54,20±2,10	46,48±1,50
Экстрактивные вещества, % а.с.с., извлекаемые:				
– гексаном	2,20±0,05	2,35±0,05	0,60±0,03	3,40±0,06
– 96 %-м этанолом	18,30±0,85	10,20±0,60	4,20±0,20	5,80±0,02
– водой	10,50±0,52	12,45±0,60	7,40±0,30	6,80±0,30
Минеральные компоненты, % а.с.с.	0,87±0,04	1,10±0,05	1,10±0,05	1,50±0,05
Хлорофиллы А и Б, мг%	40,00±2,00	15,35±0,04	21,65±0,90	15,25±0,04
Воскообразные вещества, % а.с.с.	1,50±0,07	0,20±0,05	0,78±0,02	0,50±0,01
Эфирные масла, % а.с.с.	0,28±0,01	0,25±0,01	0,20±0,01	0,28±0,01

Суммарное содержание полисахаридов составляет от 61 до 75 %, при этом максимальное количество полисахаридов было обнаружено в шишках сосны обыкновенной, а минимальное – в шишках лиственницы сибирской. Полисахариды придают шишкам прочность и механическую стойкость. Наибольшее содержание легкогидролизуемых полисахаридов отмечается в шишках сосны сибирской кедровой – 23,60 %, а наименьшее в шишках ели сибирской – 12,70 %. Содержание трудногидролизуемых полисахаридов находится в пределах от 13,90 % до 25,20 %. Необходимо отметить корреляционную зависимость содержания легкогидролизуемых полисахаридов и лигноподобных веществ во всех исследуемых образцах, что позволяет предположить важную роль данных соединений в формировании защитных механизмов.

Содержание минеральных компонентов в шишках всех исследуемых пород не превышает 1,5 %, при этом минимальное количество минеральных компонентов обнаружено в шишках сосны сибирской кедровой (0,87 %), максимальное – в шишках лиственницы сибирской (1,5 %). Известно, что минеральные компоненты в растениях играют роль структурных компонентов растительных тканей, катализаторов различных реакций, регуляторов осмотического давления, компонентов буферных систем и регуляторов проницаемости мембран. В связи с чем, дальнейшее изучение качественного и количественного состава минеральных веществ будет полезным для обеспечения лучшей адаптации деревьев к условиям местообитания. Необходимо также отметить, что на качественный и количественный состав минеральных компонентов будет оказывать существенное влияние условия произрастания и тип почв.

Максимальное содержание воскообразных веществ отмечается в шишках сосны сибирской кедровой (1,5 %), минимальное – в шишках сосны обыкновенной (0,2 %). Известно, что эти соединения обладают способностью придавать водоотталкивающие свойства поверхностям, следовательно, можно предположить, что шишки сосны сибирской кедровой обладают максимальной гидрофобностью из всех исследуемых пород.

Содержание хлорофиллов А и В, играющих важнейшую роль в процессах фотосинтеза, существенно варьирует в зависимости от исследуемой породы дерева. Так, максимальное количество хлорофиллов отмечается в шишках сосны сибирской кедровой (40 мг%), минимальное в шишках сосны обыкновенной и лиственницы сибирской (около 15 мг%).

Известно, что экстрактивные вещества являются резервными питательными веществами, обладают фунгицидным, бактерицидным и инсектицидным действием, защищают при повреждениях, определяют цвет и запах древесины, оказывают влияние на проницаемость древесины, поэтому высокое содержание экстрактивных веществ может свидетельствовать о хороших адаптивных способностях растения к внешним воздействиям и позволять рассматривать его как ценное промышленное сырье. Для максимального извлечения экстрактивных веществ была проведена последовательная экстракция с использованием экстрагентов различной полярности. Процесс экстрагирования про-

водили используя в качестве экстрагента гексан, этанол и воду. Максимальное количество экстрактивных веществ наблюдается в шишках сосны кедровой сибирской (около 30 %), минимальное – в шишках ели сибирской (около 12 %). Наибольшее количество веществ извлекаемых гексаном отмечается в шишках лиственницы сибирской – 3,40 %. Однако их количество невелико по сравнению с содержанием веществ извлекаемых этиловым спиртом и водой. Содержание водорастворимых веществ в шишках сосны обыкновенной составляет – 12,45 %. Шишки сосны сибирской кедровой отличаются наибольшим содержанием экстрактивных веществ извлекаемых этанолом – 18,30 %.

Исследуя компонентный состав семян можно отметить тот факт, что основными компонентами семян является лигноуглеводный комплекс. На долю легкогидролизуемых полисахаридов приходится до 9,15 % в скорлупе семян сосны сибирской кедровой. Высокое содержание лигноподобных веществ отмечается во всех семенах хвойных растений Сибири и достигает 52,50 %. Наибольшее содержание минеральных компонентов отмечено в семенах ели сибирской – 2,30 %. Содержание воскообразных веществ и хлорофиллов А и В в семенах во всех исследуемых породах варьирует незначительно и составляет около 1 % воскообразных веществ и 9–12 % хлорофиллов А и В.

Содержание эфирных масел в шишках исследуемых пород составляет 0,2–0,3 %. Роль эфирных масел в жизнедеятельности растительных организмов трудно переоценить. Эфирные масла являются активными метаболитами обменных процессов, протекающих в растительном организме, способствуют предохранению растения от чрезмерного нагревания днем и переохлаждения ночью, а также регуляции транспирации, привлекают опылителей-насекомых, препятствуют заражению патогенными грибами и бактериями, а также защищают растения от поедания животными. Хвойные древесные растения традиционно являются сырьем для промышленного получения эфирных масел, которые широко используются в различных отраслях народного хозяйства, поэтому состав эфирных масел является важной характеристикой для промышленного применения шишек и семян. В табл. 2 представлен компонентный состав эфирных масел шишек хвойных пород Сибири.

Необходимо отметить, что основными компонентами эфирных масел шишек являются α -пинен, β -пинен, лимонен, Δ^2 -карен, ланалил пропионат, борнилацетат. Однако их количество существенно отличается в зависимости от растения. Так наибольшее количество α -пинена наблюдается в эфирном масле шишек сосны сибирской кедровой – 48,61 %, а наименьшее в шишках ели сибирской – 30,50 %. Эфирное масло сосны обыкновенной отличается высоким содержанием α - и β -пинена – 40,50 % и 12,50 % соответственно. Существенно различно содержание фенантрена от 0,62 % в эфирном масле шишек сосны сибирской кедровой до 8,03 % в эфирном масле шишек ели сибирской.

Одно из ведущих мест среди природных соединений, используемых для создания высокоэффективных лекарственных препаратов, занимают полифенольные соединения. К ним относятся флавоноиды, фенолкарбоновые кислоты, танины. Эти группы соединений применяют-

ся в лечении и профилактики целого ряда заболеваний. Лекарственное сырье, содержание полифенольные соединения, применяют для получения препаратов используемых как вяжущие, кровоостанавливающие, противовоспалительные, антимикробные средства.

Обладая разнообразными биологически активными свойствами, полифенолы практически не токсичны. В связи с этим поиск наиболее перспективных источников полифенольных соединений является весьма актуальным. Компонентный состав полифенольных соединений шишек сосны сибирской, сосны обыкновенной, ели сибирской, лиственницы сибирской представлен на рисунке.

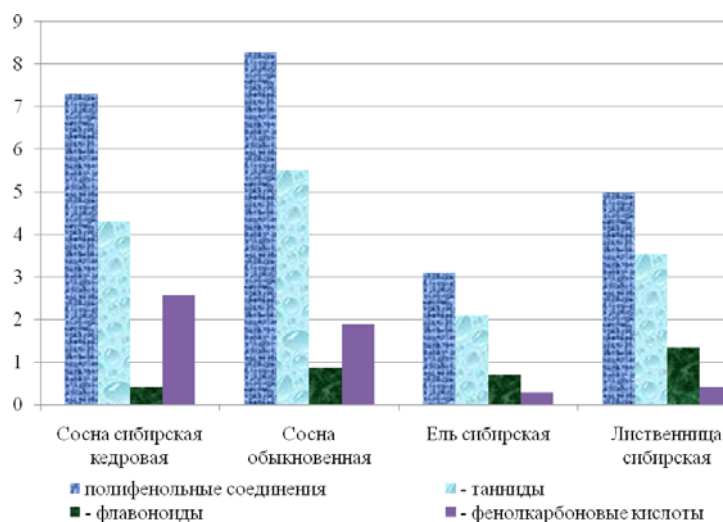
Анализируя полученные данные можно утверждать, что шишки сосны обыкновенной содержат максимальное количество полифенольных соединений и таннидов – 8,27 % и 5,5 % соответственно. Максимальное содержание фенолкарбоновых кислот наблюдается в шишках сосны сибирской кедровой – 2,5 %. Наибольшее содержание флавоноидов в шишках лиственницы сибирской – 1,34 %. Проведенные исследования позволяют рассматривать шишки хвойных пород Сибири в качестве перспективного сырья для получения полифенольных соединений.

Фенольные соединения, относящиеся к одним из наиболее распространенных в растительном мире вторичных метаболитов, принимают участие в ключевых процессах роста и развития растений. Эти соединения являются частью системы неферментативной защиты растения от окислительной токсичности, вызываемой различными неблагоприятными факторами окружающей среды, они способны взаимодействовать с активными формами кислорода и препятствуют развитию окислительного стресса [12–14]. Известно также, что фенольные соединения проявляют радикальносвязывающую и комплексообразовательную активность, что определяет их протекторную функцию в растениях [15–18]. Вместе с тем, фенольные вещества играют огромную роль в защите растений от проникновения патогенов и повреждения вредителями, от бактериальной, вирусной и грибной инфекции [19]. Высокое содержание фенольных соединений в шишках хвойных пород Сибири может свидетельствовать о развитых механизмах формирования устойчивости к неблагоприятным факторам природного и техногенного характера и может являться предметом дальнейших исследований.

Таблица 2

Компонентный состав эфирных масел шишек хвойных пород Сибири

Компонент	Содержание, % к сумме компонентов			
	Сосна сибирская кедровая	Сосна обыкновенная	Ель сибирская	Лиственница сибирская
α -пинен	48,61 $\pm$ 2,20	40,50 $\pm$ 2,02	30,50 $\pm$ 1,50	45,00 $\pm$ 2,00
β -пинен	21,00 $\pm$ 1,05	12,50 $\pm$ 0,62	3,52 $\pm$ 0,15	8,30 $\pm$ 0,40
β -мирцен	следы	4,50 $\pm$ 0,22	3,42 $\pm$ 0,15	5,60 $\pm$ 0,25
Лимонен	12,83 $\pm$ 0,65	2,00 $\pm$ 0,10	1,19 $\pm$ 0,05	4,50 $\pm$ 0,22
Камфоллен альдегид	3,05 $\pm$ 0,15	2,00 $\pm$ 0,10	1,36 $\pm$ 0,05	2,50 $\pm$ 0,12
Δ^2 -карен	следы	10,80 $\pm$ 0,54	22,80 $\pm$ 0,95	11,80 $\pm$ 0,60
Δ^3 -карен	0,19 $\pm$ 0,01	следы	0,95 $\pm$ 0,05	0,50 $\pm$ 0,02
Камфен	следы	1,50 $\pm$ 0,07	1,13 $\pm$ 0,06	1,50 $\pm$ 0,04
Ланалил пропионат	2,83 $\pm$ 0,14	9,15 $\pm$ 0,45	13,10 $\pm$ 0,60	8,50 $\pm$ 0,40
Борнилацетат	2,34 $\pm$ 0,11	6,00 $\pm$ 0,20	6,77 $\pm$ 0,20	4,40 $\pm$ 0,22
Кариофиллен	2,10 $\pm$ 0,10	4,20 $\pm$ 0,21	6,23 $\pm$ 0,20	3,70 $\pm$ 0,18
Фенантрен	0,62 $\pm$ 0,03	4,85 $\pm$ 0,24	8,03 $\pm$ 0,40	1,55 $\pm$ 0,05
Неидентифицированные вещества	6,43 $\pm$ 0,32	2,00 $\pm$ 0,10	1,00 $\pm$ 0,05	2,15 $\pm$ 0,01



Содержание полифенольных соединений в шишках хвойных пород Сибири

ВЫВОДЫ

Был изучен химический состав шишек и семян хвойных пород Сибири. Установлено, что основными компонентами шишек и семян хвойных являются лигноподобные вещества и полисахариды. Определено содержание полифенольных соединений в шишках хвойных пород Сибири, максимальное количество полифенольных соединений и танинов отмечается в шишке сосны обыкновенной, фенолкарбоновых кислот – в шишках сосны сибирской кедровой, флавоноидов – в шишках лиственницы сибирской. Изучен компонентный состав эфирных масел шишек хвойных растений Сибири. Установлено, что основными компонентами эфирных масел шишек являются α -пинен, β -пинен, лимонен, Δ^2 -карен, ланалил пропионат, борнилацетат.

Результаты представленных данных позволяют рекомендовать к использованию в качестве сырья шишки и семена хвойных древесных растений, произрастающих на территории Красноярского края с целью получения комплекса биологически активных веществ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Салова Т.Ю., Громова Н.Ю. Теоретические аспекты получения биологически активных веществ из растительного и животного сырья // Успехи современного естествознания. 2016. № 3. С. 39–43.
2. Немерешина О.Н., Гусев Н.Ф., Петрова Г.В. Изучение биологически активных веществ в растениях *Veronica Chamaedris L.* и *V. Officinalis L.* // Успехи современного естествознания. 2013. № 8. С. 113–118.
3. Зеленцова Е. Н. Химия биологически активных веществ. Саратов : ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2015. 85 с. Библиогр: с. 82. Текст : непосредственный.
4. Куркин В.А., Куркина А.В., Авдеева Е.В. Флавоноиды как биологически активные соединения лекарственных растений // Фундаментальные исследования. 2013. № 11-9. С. 1897–1901.
5. Куркина А.В. Флавоноиды фармакопейных растений : монография. Самара : ООО «Офорт» ; ГБОУ ВПО СамГМУ Минздравсоцразвития России, 2012. 290 с.
6. Шертаева Н.Т., Шаграева Б.Б., Кыбраева Н.С., Битурсын С.С. Количественное определение биологически активных веществ растения *Lepidium Ruderale* // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2022. № 3. С. 70–73.
7. ГОСТ 24027.2–80. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. М. : ИПК Издательство стандартов, 1981. С. 119–124.
8. Выделение и анализ природных биологически активных веществ / Под ред. Е.Е. Сироткиной – Томск: Изд-во. Том. гос. ун-та, 1987. 184 с.
9. Ушанова, В. М. Основы научных исследований. Исследование химического состава растительного сырья / В. М. Ушанова, О. И. Лебедева, А. Н. Девятловская. Красноярск: СибГТУ, Ч. 3 : Исследование химического состава растительного сырья. 2004. 360 с.

10. Запрометов М.Н. Фенольные соединения и методы их исследования // Биохимические методы в физиологии растений. М. Наука, 1971. С. 185–197.

11. Заикин В.Г., Варламов А.В., Микая А.И. Основы масс-спектрометрии органических соединений. М. : МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 286 с.

12. Demidchik V. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology // Environmental and Experimental Botany 2015. Vol. 109. P. 212–228.

13. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжелые металлы и растения. 2014. 194 с.

14. Kulbat K. The role of phenolic compounds in plant resistance // Biotechnol Food Sci. 2016. Vol. 80, № 2. P. 97–108.

15. Mazid M., Khan T.A., Mohammad F. Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants // Biology and Medicine. 2011. Vol. 3. P. 232–249.

16. Экологический анализ активности накопления биофлавоноидов в лекарственных растениях / П.В. Масленников, Г.Н. Чупахина, Л.Н. Скрыпник, П.В. Федурев, В.И. Селедцов // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2014. № 7. С. 110–120.

17. The flavonoid biosynthetic pathway in Arabidopsis: structural and genetic diversity / K. Saito, K. Yonekura-Sakakibara, R. Nakabayashi, Y. Higashi, M. Yamazaki, T. Tohge, A. R. Fernie // Plant Physiology and Biochemistry. 2013. Vol. 72. P. 21–34.

18. Mierziak J., Kostyn K., Kulma A. Flavonoids as important molecules of plant interactions with the environment // Molecules. 2014. Vol. 19. P. 16240–16265.

19. Волюнец А.П. Фенольные соединения в жизнедеятельности растений. Минск : Беларуская навука, 2013. 283 с.

REFERENCES

1. Salova T.Yu., Gromova N.Yu. Teoreticheskiye aspekty polucheniya biologicheskii aktivnykh veshchestv iz rastitel'nogo i zhivotnogo syr'ya // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2016. № 3. S. 39–43.
2. Nemereshina O.N., Gusev N.F., Petrova G.V. Izucheniye biologicheskii aktivnykh veshchestv v rasteniyakh *Veronica Chamaedris L.* i *V. Officinalis L.* // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2013. № 8. S. 113–118.
3. Zelentsova Ye. N. Khimiya biologicheskii aktivnykh veshchestv. Saratov : FGBOU VO Saratovskiy GAU, 2015. 85 s. Bibliogr: s. 82. Tekst : neposredstvennyy.
4. Kurkin V.A., Kurkina A.V., Avdeyeva Ye.V. Flavonoidy kak biologicheskii aktivnyye soyedineniya lekarstvennykh rasteniy // Fundamental'n-yye issledovaniya. 2013. № 11-9. S. 1897–1901.
5. Kurkina A.V. Flavonoidy farmakopeynykh rasteniy : monografiya. Samara : ООО «OforT» ; GBOU VPO SaMGMU Minzdravsotsrazvitiya Rossii, 2012. 290 s.
6. Shertayeva N.T., Shagrayeva B.B., Kybrayeva N.S., Bitursyn S.S. Kolichestvennoye opredeleniye biologicheskii aktivnykh veshchestv rasteniya *Lepidium Ruderale* // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2022. № 3. S. 70–73.
7. GOST 24027.2–80. Syr'ye lekarstvennoye rastitel'noye. Metody opredeleniya vlazhnosti, soderzhaniya

zoly, ekstraktivnykh i dubil'nykh veshchestv, efirmogo masla. M. : IPK Izdatel'stvo standartov, 1981. S. 119–124.

8. Vydeleniye i analiz prirodnykh biologicheskikh aktivnykh veshchestv / Pod red. Ye.E. Sirotkinoy – Tomsk: Izd-vo. Tom. gos. un-ta, 1987. 184 s.

9. Ushanova, V. M. Osnovy nauchnykh issledovaniy. Issledovaniye khimicheskogo sostava rastitel'nogo syr'ya / V. M. Ushanova, O. I. Lebedeva, A. N. Devyatlovskaya. Krasnoyarsk : SiBG TU, Ch. 3 : Issledovaniye khimicheskogo sostava rastitel'nogo syr'ya. 2004. 360 s.

10. Zaprometov M.N. Fenol'n-yye soyedineniya i metody ikh issledovaniya // Biokhimicheskiye metody v fiziologii rasteniy. M. Nauka, 1971. S. 185–197.

11. Zaikin V.G., Varlamov A.V., Mikaya A.I. Osnovy mass-spektrometrii organicheskikh soyedineniy. M. : MAIK "Nauka/Interperiodika", 2001. – 286 s.

12. Demidchik V. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology // Environmental and Experimental Botany 2015. Vol. 109. P. 212–228.

13. Titov A.F., Kaznina N.M., Talanova V.V. Tyazhel'yye metally i rasteniya. 2014. 194 s.

14. Kulbat K. The role of phenolic compounds in plant resistance // Biotechnol Food Sci. 2016. Vol. 80, № 2. P. 97–108.

15. Mazid M., Khan T.A., Mohammad F. Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants // Biology and Medicine. 2011. Vol. 3. P. 232–249.

16. Ekologicheskiy analiz aktivnosti nakopleniya bioflavonoidov v lekarstvennykh rasteniyakh / P.V. Maslennikov, G.N. Chupakhina, L.N. Skrypnik, P.V. Fedurayev, V.I. Seledtsov // Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. 2014. № 7. S. 110–120.

17. The flavonoid biosynthetic pathway in Arabidopsis: structural and genetic diversity / K. Saito, K. Yonekura-Sakakibara, R. Nakabayashi, Y. Higashi, M. Yamazaki, T. Tohge, A. R. Fernie // Plant Physiology and Biochemistry. 2013. Vol. 72. P. 21–34.

18. Mierziak J., Kostyn K., Kulma A. Flavonoids as important molecules of plant interactions with the environment // Molecules. 2014. Vol. 19. P. 16240–16265.

19. Volynets A.P. Fenol'n-yye soyedineniya v zhiznedeiatel'nosti rasteniy. Minsk : Belarusskaya navuka, 2013. 283 s.

© Иванов В. А., Лис Е. В.,
Фибих Е. В., Шимова Ю. С., 2023

Поступила в редакцию 11.08.2022
Принята к печати 10.01.2023

АВТОРСКАЯ ССЫЛКА

Бабич Н. А., см. Залывская О. С.
Батвенкина Т. В. Ход роста модальных
пихтовых древостоев Емельяновского лесничества,
с. 7–11

Безкоровайная И. Н., см. Тарасов П. А.
Бессчетнов В. П., см. Воробьев Р. А.
Бессчетнова Н. Н., см. Воробьев Р. А.
Бызов В. Е. Раскрой круглых лесоматериалов
с ядровой напенной гнилью на пилопродукцию,
с. 80–88

Вайс А. А., см. Чанчикова С. А.
Воробьев Р. А. Таксационные показатели клонов
плюсовых деревьев ели европейской в архиве клонов
в Нижегородской области, с. 12–23

Воробьева И. А., см. Батвенкина Т. В.
Воробьева И. А., см. Шевелев С. Л.
Гарифулин В. Ф., см. Долматов С. Н.
Долматов С. Н. Использование широкополосного
радиодоступа и технологий дистанционного монито-
ринга для обнаружения и управления тушением лес-
ных пожаров, с. 24–32

Ермолина А. В. Влияние пропитки гидрофобизи-
рующими кремнийорганическими составами на свой-
ства древесины, с. 89–94

Залывская О. С. Импульсно-томографная диаг-
ностика состояния древесных пород в городских ус-
ловиях, с. 33–37

Иванов А. В. Сравнительный анализ биомассы
кедровых и дубовых древостоев Приморья в контек-
сте биоразнообразия, с. 38–45

Иванов В. А. Исследование химического состава
шишек и семян хвойных пород Сибири, с. 95–100

Иванов В. А., см. Тарасов П. А.
Иванова Г. А., см. Тарасов П. А.
Касаткин А. С., см. Иванов А. В.
Козлов Н. В., см. Чанчикова С. А.
Колесников П. Г., см. Долматов С. Н.
Лис Е. В., см. Иванов В. А.
Мельник А. И., см. Чанчикова С. А.
Микрюкова Е. В., см. Бызов В. Е.
Немич В. Н., см. Шевелев С. Л.
Романова Л. И., см. Батвенкина Т. В.
Тарасов П. А. Постпирогенные изменения гидро-
термических параметров песчаных подзолов в сосня-
ках Южной тайги, с. 46–55
Торопов А. С., см. Бызов В. Е.
Торопова Е. В., см. Бызов В. Е.
Тютин А. Ю., см. Воробьев Р. А.
Усов С. В., см. Шевелев С. Л.
Усольцев В. А. Аллометрические модели и табли-
цы для оценки биомассы отмерших ветвей растущих
деревьев дистанционными методами, с. 56–64
Усольцев В. А., см. Иванов А. В.
Фибих Е. В., см. Иванов В. А.
Цепордей И. С., см. Иванов А. В.
Цепордей И. С., см. Усольцев В. А.
Чанчикова С. А. Динамика сосновых насаждений
за 20-й период в условиях учебно-опытного лесхоза
СибГУ, с. 65–72
Черников Д. Ю., см. Долматов С. Н.
Шарапов Е. С., см. Бызов В. Е.
Шевелев С. Л. Нормативная база для оценки
лесосек в Сибири, с. 73–79
Шимова Ю. С., см. Иванов В. А.

AUTHOR'S LINK

- Babich N. A.**, see Zalyvskaya O. S.
- Batvenkina T. V.** The course of growth of modal fir stands of the Yemelyanovsky forestry, p. 7–11
- Besschetnov V. P.**, see Vorobyov R. A.
- Besschetnova N. N.**, see Vorobyov R. A.
- Bezkorovaynaya I. N.**, see Tarasov P. A.
- Byzov V. E.** Sawing of round logs with heart butt rot, p. 80–88
- Chanchikova S. A.** Dynamics of pine stands for the 20-th period in the conditions of the educational and experimental forestry of SibSU, p. 65–72
- Chernikov D. Yu.**, see Dolmatov S. N.
- Dolmatov S. N.** Use of broadband radio access and remote minitoring technologies for detection and forest fire extinguishing control, p. 24–32
- Ermolina A. V.** Effect of impregnation with hydrophobizing organosilicon compounds on the properties of wood, p. 89–94
- Fibikh E. V.**, see Ivanov V. A.
- Garifulin V. F.**, see Dolmatov S. N.
- Ivanov V. A.** Study of the chemical composition of cones and seeds of coniferous species of Siberia, p. 95–100
- Ivanov V. A.**, see Tarasov P. A.
- Ivanov A. V.** Comparative analysis of *Pinus koraiensis* S. ex Z. and *Quercus mongolica* F. ex L. stand biomass on Primorye in the context of biodiversity, p. 38–45
- Ivanova G. A.**, see Tarasov P. A.
- Kasatkin A. C.**, see Ivanov A. V.
- Kolesnikov P. G.**, see Dolmatov S. N.
- Kozlov N. V.**, see Chanchikova S. A.
- Lis E. V.**, see Ivanov V. A.
- Melnik A. I.**, see Chanchikova S. A.
- Mikryukova E. V.**, see Byzov V. E.
- Nemich V. N.**, see Shevelev S. L.
- Romanova L. I.**, see Batvenkina T. V.
- Sharapov E. S.**, see Byzov V. E.
- Shevelev S. L.** Regulatory framework for the assessment of logging sites in Siberia, p. 73–79
- Shimova Yu. S.**, see Ivanov V. A.
- Tarasov P. A.** Post-pyrogenic changes in hydrothermal parameters of sandy podzols in the pine forests of the Southern taiga, p. 46–55
- Toropov A. S.**, see Byzov V. E.
- Toropova E. V.**, see Byzov V. E.
- Tsepordey I. S.**, see Ivanov A. V.
- Tsepordey I. S.**, see Usoltsev V. A.
- Tyutin A. Yu.**, see Vorobyov R. A.
- Usoltsev V. A.** Allometric models and tables for estimating the biomass of dead branches of growing trees by remote sensing, p. 56–64
- Usoltsev V. A.**, see Ivanov A. V.
- Usov S. V.**, see Shevelev S. L.
- Vais A. A.**, see Chanchikova S. A.
- Vorobeva I. A.**, see Batvenkina T. V.
- Vorobeva I. A.**, see Shevelev S. L.
- Vorobyov R. A.** Taxation indicators of the norway spruce plus trees in the clone archive in the Nizhny Novgorod region, p. 12–23
- Zalyvskaya O. S.** Pulse-tomograph diagnostics of the state of tree species in urban environments, p. 33–37

