

ISSN 1993-0135

ХВОЙНЫЕ



БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

2025

Том XLIII
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 XLIII
№ 1

Красноярск
2025

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XLIII, № 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, академик Российской академии образования (РАО) (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 (проректор по перспективным проектам СФУ, 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)
Крутовский Константин Валерьевич, профессор (Техасский агрохимический 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)
Мельник Пётр Григорьевич, к.с.-х.н., доцент, МГТУ им. Н. Э. Баумана (Национальный исследовательский университет); старший научный сотрудник, Институт лесоведения Российской академии наук
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)
Плотников Сергей Михайлович, д.т.н., профессор (ИрГУПС, 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 XLIII, No. 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

PhD. 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, Academician of the Russian Academy of Education (RAO) (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)
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)
Melnik Pyotr G., Cand. Sc. in Agriculture, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University (National Research University); Senior Researcher, Institute of Forestry of the Russian Academy of Sciences
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)
Plotnikov Sergey. M., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, 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)
Soukhovolsky Vladislav G., Dr. Sc. in Biology, Professor (Sukachev Institute of Forest, Krasnoyarsk)
Verkhovets Sergei V., Cand. Sc. in Agriculture, Docent (Vice-Rector for Advanced Projects of SFU, 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

Номер подписного индекса в каталоге «Книга-Сервис» Е63087, «Пресса России» 63087

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 Plantation
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 20.02.2025. Дата выхода в свет 14.03.2025. Формат 70×108/8.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 13,48. Уч.-изд. л. 17,3. Тираж 700 экз.
Заказ 3543. С 1054/25. 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

Усольцев В. А. Модели конверсионно-объемных коэффициентов биомассы еловых древостоев в географических градиентах Евразии	7
Мамедова С. К., Шевелев С. Л., Немич В. Н. Строение постагrogenных сосновых древостоев по диаметру ствола	13
Джалолов И. И., Литовка Ю. А., Фомина Н. В., Тимофеев А. А., Арканова М. Е., Познухова С. С., Мирошникова К. А., Павлов И. Н. Культивируемые микромицеты торфяных бугров пучения в тундровых редколесьях Западного Таймыра	20
Шевелева И. С. Жизнеспособность, фертильность и оптимальные условия длительного хранения пыльцы кедрового стланика (<i>Pinus pumila</i>)	27
Феклистов П. А., Грязькин А. В., Гаврилова О. И., Бруева Ж. А., Верховцева Е. П., Болотов И. Н. Морфометрические особенности деревьев в природном рекреационном комплексе «Сосновый бор острова Ягры»	35
Мартынова Н. В. Накопление запасных жиров тканями побегов ясеня обыкновенного в условиях Нижегородской области	43
Танцырев Н. В., Андреев Г. В. Изменение с возрастом основных факторов конкуренции послепожарного березового древостоя в отношении подроста кедра сибирского	55
Хамитов Р. С., Хамитова С. М. Динамика урожайности интродукционных культур сосны кедровой сибирской в Вологодской области	62
Меньшиков А. В., Бессонова Н. В., Выводцев Н. В. Проект организации лесного питомника с целью выращивания сеянцев хвойных и лиственных пород с закрытой корневой системой	68
Демиденко Г. А., Ковылина О. П. Изменчивость сосны обыкновенной в южной части бореальной зоны Приенисейской Сибири	73

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Эскин В. Д., Криворотова А. И., Ермолин В. Н. Влияние мелкодисперсной фракции на основные свойства пресс-массы и плитного материала без связующих веществ из коры <i>Pinus sylvestris</i>	78
Черник К. Н., Елисеев С. Г. Обоснование рабочей скорости лесопосадочной машины для сеянцев с закрытой корневой системой	85
Неверов Н. А., Тюкавина О. Н., Минеев А. Л. Погрешности измерений сопротивления сверлению древесины сосны и ели устройством резистограф	92

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Артёмов А. В., Бурындин В. Г., Шкуро А. Е., Юрьев Ю. Л. Оценка уровня химического загрязнения почв продуктами деструкции композиционного материала без связующего на основе древесного сырья	97
Алашкевич Ю. Д., Юртаева Л. В., Каплёв Е. В., Слизикова Е. А., Пожаркова С. А., Марченко Р. А. Влияние характера размола волокнистой массы на качественные характеристики готовых бумажных изделий	107
Авторская ссылка	115

Contents

BIOLOGY AND ECOLOGY, FORESTRY

Usoltsev V. A. Models of <i>Picea</i> spp. biomass conversion and expansion factors in geographical gradients of Eurasia	7
Mamedova S. K., Shevelev S. L., Nemich V. N. Structure of post-agricultural pine stands by trunk diameter	13
Jalolov I. I., Litovka Yu. A., Fomina N. V., Timofeev A. A., Arkanova M. E., Poznukhova S. S., Miroshnikova K. A., Pavlov I. N. Cultivated micromycetes of peat mounds of tundra woodlands of Western Taimyr	20
Sheveleva I. S. Viability, fertility and optimal conditions for long-term storage of Siberian dwarf pine (<i>Pinus pumila</i>)	27
Feklistov P. A., Gryazkin A. V., Gavrilova O. I., Brueva Z. A., Verkhovtseva E. P., Bolotov I. N. Morphometric features of trees in the natural recreation complex "Sosnovy bor of Yagry island"	35
Martynova N. V. Accumulation of spare fats by the tissues of the shoot of common ash in the conditions of the Nizhny Novgorod region	43
Tantsyrev N. V., Andreev G. V. Changes with age in the main factors of the post-fire birch tree stand competition in relation to the siberian stone pine undergrowth	55
Khamitov R. S., Khamitova S. M. Yield dynamics of introduced Siberian cedar pine crops in the Vologda oblast	62
Menshikov A. V., Bessonova N. V., Vyvadtsev N. V. The project of organizing a forest nursery for the purpose of growing seedlings of coniferous and deciduous species with a closed root system	68
Demidenko G. A., Kovylyina O. P. Variability of scots pine in the southern part of the boreal zone of Yenisei Siberia	73

TECHNOLOGY OF HARVESTING AND MECHANICAL PROCESSING OF WOOD

Eskin V. D., Krivorotova A. I., Ermolin V. N. The effect of the fine fraction on the basic properties of the press mass and slab material without binders from the bark of <i>Pinus sylvestris</i>	78
Chernik K. N., Eliseev S. G. Justification of the working speed of the planting machine for seedlings with a closed root system	85
Neverov N. A., Tyukavina O. N., Mineev A. L. Errors in measuring the drilling resistance of pine and spruce wood by the device resistograph	92

CHEMICAL PROCESSING TECHNOGY

Artyomov A. V., Buryndin V. G., Shkuro A. E., Yuryev Yu. L. Assessment of the level of chemical contamination of soil by degradation products of a composite material without resins based on wood raw materials	97
Alashkevich Yu. D., Yurtayeva L. V., Kaplyov E. V., Slizikova E. A., Pozharova S. A., Marchenko R. A. Influence of the nature of fiber mass grinding on the quality characteristics of finished paper products	107
Author's link	116

МОДЕЛИ КОНВЕРСИОННО-ОБЪЕМНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ БИОМАССЫ ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ГРАДИЕНТАХ ЕВРАЗИИ*

В. А. Усольцев

Уральский государственный лесотехнический университет
Российская Федерация, 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

Аннотация. Данные о лесной биомассе обеспечивают важный вклад в реализацию целей устойчивого управления лесами, поддержание положительного углеродного баланса в земной атмосфере, а также снабжение материалами и возобновляемой энергией. При моделировании данных о биомассе лесов получил распространение конверсионно-объемный коэффициент (КОК) как отношение абсолютно сухой биомассы той или иной фракции к запасу стволовой древесины. Актуальность применения КОК определяется с одной стороны, трудоемкостью получения фактических данных о биомассе древостоев на пробных площадях, а, с другой стороны, наличием огромных массивов данных о запасах стволовой древесины, накопленных традиционной лесной таксацией. КОК обеспечивает сопряжение традиционных таблиц и банков лесоустроительной информации о запасах стволовой древесины с данными о биомассе древостоев. О закономерностях изменения КОК в географических градиентах Евразии нет единого мнения. Цель наших исследований состояла в разработке моделей конверсионно-объемных коэффициентов биомассы еловых древостоев (род *Picea* L.) в географических градиентах Евразии с использованием авторской базы данных в количестве 942 пробных площадей. В результате предложены модели КОК надземной и подземной биомассы древостоев ели, предназначенные для оценки биомассы древостоев по значениям возраста и запаса стволовой древесины. В отличие от ранее опубликованных моделей, предложенные модели видоспецифичны и дифференцированы по географическим координатам широты и долготы. Установлено, что КОК фракций надземной и подземной биомассы увеличивается в направлениях с юга на север и с запада на восток. Возраст древостоев и их географическое положение обеспечивают примерно равные вклады в объяснение изменчивости КОК биомассы. При этом вклад широты примерно втрое больше вклада долготы. Предложенные модели КОК могут быть использованы при расчетах углеродного пула в еловых древостоях по данным инвентаризации лесов.

Ключевые слова: род *Picea* L., конверсионно-объемные коэффициенты биомассы, географические градиенты, регрессионные модели.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 1, P. 7–12

MODELS OF *Picea* spp. BIOMASS CONVERSION AND EXPANSION FACTORS IN GEOGRAPHICAL GRADIENTS OF EURASIA

V. A. Usoltsev

Ural State Forest Engineering University
37, Siberian tract, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation

Abstract. Forest biomass data provide an important contribution to the implementation of sustainable forest management, maintaining a positive carbon balance in the earth's atmosphere, as well as the supply of materials and renewable energy. When modeling data on forest biomass, the Biomass Conversion and Expansion Factor (BCEF) has become widespread as the ratio of dry biomass of its some fraction to the volume stock. The relevance of the BCEF application is determined, on the one hand, by the complexity of obtaining actual data on the stand biomass on sample

* Работа выполнена в рамках тематики научных исследований Уральского государственного лесотехнического университета.

plots, and, on the other hand, by the presence of huge arrays of data on volume stocks accumulated by traditional forest mensuration. The BCEF provides the interface of traditional tables and banks of forest inventory information on volume stocks with data on the stand biomass. There is no consensus on the patterns of changes in the BCEF in the geographical gradients of Eurasia. The purpose of our research was to develop models of BCEF of biomass of spruce stands (genus *Picea* L.) in geographical gradients of Eurasia using the author's database of 942 sample plots. As a result, models of BCEF of aboveground and underground biomass of spruce stands are proposed, designed to assess the stand biomass by the values of stand age and volume stock. Unlike previously published models, the proposed models are species-specific and differentiated by geographical coordinates of latitude and longitude. It was found that the BCEF of the aboveground and underground biomass fractions increases in the directions from south to north and from west to east. The age of the stands and their geographical location provide approximately equal contributions to the explanation of the variability of the BCEF of biomass. At the same time, the contribution of latitude is about three times greater than the contribution of longitude. The proposed BCEF models can be used to calculate the carbon pool in spruce stands according to forest inventory data.

Keywords: genus *Picea* L., biomass expansion factors, geographical gradients, regression models.

ВВЕДЕНИЕ

Данные о лесной биомассе обеспечивают важный вклад в реализацию целей устойчивого управления лесами, поддержание положительного углеродного баланса в земной атмосфере, а также снабжение материалами и возобновляемой энергией [23]. Данные о структуре лесной биомассы входят в отчетность Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). В методических указаниях МГЭИК рассматриваются следующие фракции лесной биомассы: стволовая древесина с корой, ветви, листва (хвоя) и корни [21]. Сюда же входит относительный показатель как отношение абсолютно сухой биомассы той или иной фракции к запасу стволовой древесины, известный как конверсионно-объемный коэффициент (КОК) [2]. В зарубежной литературе он получил распространение как "Biomass Conversion and Expansion Factor (BCEF)" [19; 26]. Актуальность применения КОК определяется с одной стороны, трудоемкостью получения фактических данных о биомассе древостоев на пробных площадях, а, с другой стороны, наличием огромных массивов данных о запасах стволовой древесины, накопленных традиционной лесной таксацией. КОК обеспечивает сопряжение традиционных таблиц и банков лесоустроительной информации о запасах стволовой древесины с данными о биомассе древостоев [12].

Начало применения КОК восходит в позапрошлом столетии, когда он был рассчитан для массы ветвей еловых и буковых древостоев в зависимости от их таксационных показателей [20]. В прошлом веке подобные зависимости для разных пород были предложены в России [8; 9]. Затем модели КОК были задействованы при составлении таблиц биологической продуктивности древостоев путем совмещения названных моделей с традиционными таблицами хода роста [11–13] и при расчете биомассы и углеродного пула на лесопокрытых площадях путем совмещения с данными Государственного учета лесного фонда [1; 5; 7; 14; 22; 24; 25].

Для лесобразующих пород Евразии была исследована зависимость КОК от возраста древостоя по трем широтным грациям, однако какой-либо закономерности в изменении КОК в широтно-зональном градиенте не было выявлено [2; 3]. Затем для основных лесобразующих пород Евразии по данным более

8 тыс. пробных площадей были рассчитаны модели КОК в зависимости от возраста, относительной полноты и класса бонитета древостоев [24]. В этом случае увеличение КОК как для надземной, так и для подземной биомассы, в широтном градиенте в направлении с юга на север было очевидным [24]. Для 13 лесобразующих пород Северной Евразии, произрастающих на территории от Великобритании до Японии, были рассчитаны многофакторные модели КОК, дифференцированные по 50 регионам. Путем совмещения моделей КОК с традиционными таблицами хода роста древостоев для всех регионов был составлен комплект таблиц биопродуктивности. Исследована география табличных показателей биопродуктивности каждой породы в градиентах континентальности климата, и установлено ее снижение в направлении от Атлантического и Тихоокеанского побережий к полюсу континентальности в Якутии [13].

ЦЕЛЬ, МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель наших исследований состояла в разработке моделей конверсионно-объемных коэффициентов биомассы еловых древостоев (род *Picea* L.) в географических градиентах Евразии. Для этого использована база данных [15], из которой взяты таксационные характеристики и показатели биомассы еловых древостоев, сопряженные с координатами соответствующих пробных площадей в количестве 942 определенных. Характеристика исходного материала представлена в табл. 1.

Исходные данные КОК древостоев в связи с возрастом и географическими координатами нами обработаны по программе стандартного регрессионного анализа ([http://www.statgraphics.com/for more information](http://www.statgraphics.com/for_more_information)) согласно структуре регрессионной модели, апробированной ранее [16]:

$$\ln(P_i/M) = a_0 + a_1 \ln A + a_2 (\ln A)^2 + a_3 (\ln LAT) + a_4 (\ln LON), \quad (1)$$

где P_i – фитомасса древостоев в абсолютно сухом состоянии: P_f , P_b , P_s , P_a и P_r – соответственно фитомасса хвои, ветвей, стволов, надземная и корней, т/га; M – запас стволовой древесины, м³/га; A – возраст древостоя, лет; LAT и LON – соответственно географическая широта и долгота, град.

Таблица 1
Характеристика исходных данных 942 пробных площадей

Статистики	Диапазоны изменения исходных показателей								
	Широта, град.	Долгота, град.	Возраст древосто- ев, лет	Запас, м³/га	Биомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га				
					Хвоя	Ветви	Стволы	Надземная	Корни
Среднее значение	—	—	85	322,2	12,1	19,1	128,6	159,8	40,1
Минимальное зна- чение	26,1	1,0	5	0,07	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02
Максимальное зна- чение	68,5	142,5	350	1152,0	45,4	116,2	1280,0	1434,9	131,3
Стандартное откло- нение	—	—	51,4	216,0	7,2	12,2	92,2	105,0	24,9
Коэффициент ва- риации, %	—	—	60,7	67,1	59,6	63,7	71,7	65,7	62,1
Число наблюдений	—	—	942	942	942	942	942	942	525

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчета моделей (1) представлены в табл. 2.

Модель (1) действительна в диапазонах действующих факторов, показанных в табл. 1. Все регрессионные коэффициенты модели значимы на уровне $p < 0,001$. В то же время, необходимо отметить сравнительно невысокие значения коэффициентов детерминации моделей (1) в табл. 2, для зависимых переменных $\ln(P_f/M)$, $\ln(P_b/M)$ и $\ln(P_r/M)$, равных соответственно 0,627; 0,445 и 0,372, что, тем не менее, несколько выше средних значений для лесобразующих пород Северной Евразии, показанных Д.Г. Замолотчиковым с соавторами [4]: соответственно 0,581; 0,356 и 0,312. Наименьшей объяснительной способностью ($\text{adj}R^2 = 0,102$) обладает модель для переменной

$\ln(P_s/M)$, представляющей базисную плотность ствола в коре.

В результате регрессионного анализа установлена величина вкладов действующих факторов в объяснение изменчивости зависимой переменной [6; 10]. Названные вклады возраста древостоев и географического положения объектов исследования показаны в табл. 3.

Согласно табл. 3, возраст древостоев и их географическое положение обеспечивают примерно равные вклады в объяснение изменчивости КОК биомассы (соответственно 52 и 48 %). При этом вклад широты почти вдвое больше вклада долготы (33 против 14 %).

О степени адекватности модели (1) и отсутствии корреляции остатков можно судить по соотношению эмпирических и расчетных значений КОК (рис. 1).

Таблица 2
Характеристика моделей (1)

Зависимая переменная $\ln(P_i/M)$	Регрессионные коэффициенты при независимых переменных					$\text{adj}R^{2**}$	SE^{***}
	a_0^*	$a_1 \ln A$	$a_2 (\ln A)^2$	$a_3 (\ln LAT)$	$a_4 (\ln LON)$		
$\ln(P_f/M)$	–1,98111	–1,8213	0,1200	1,0175	0,1481	0,627	0,56
$\ln(P_b/M)$	–4,5118	–0,9081	0,0565	1,0595	0,1659	0,445	0,49
$\ln(P_s/M)$	–2,2026	0,0635	–0,0050	0,2649	0,0239	0,102	0,15
$\ln(P_d/M)$	–1,0755	–0,4357	0,0281	0,3962	0,0706	0,464	0,20
$\ln(P_r/M)$	–5,0407	–0,3775	0,0251	0,9773	0,1214	0,372	0,39

Примечания:

*Свободный член скорректирован на логарифмическое преобразование [18];

**Коэффициент детерминации $\text{adj}R^2$ скорректирован на количество переменных;

***SE – стандартная ошибка модели (1).

Таблица 3
Вклад независимых переменных модели (1) в объяснение изменчивости зависимой переменной, %

Зависимая переменная $\ln(P_i/M)$	Независимые переменные				
	$\ln A$ (I)	$(\ln A)^2$ (II)	(I)+(II)	$\ln LAT$	$\ln LON$
$\ln(P_f/M)$	43	30	73	18	9
$\ln(P_b/M)$	33	22	55	29	16
$\ln(P_s/M)$	17	15	32	52	16
$\ln(P_d/M)$	36	24	60	25	15
$\ln(P_r/M)$	25	17	42	43	15
В среднем	30,8±10,1	21,6±5,9	52,4±15,9	33,4±13,8	14,2±2,9

Модель (1) протабулирована далее по задаваемым значениям географических координат при среднем значении возраста древостоев, показанного в табл. 1. По результатам табулирования построены 3Д-зависимости КОК от географических координат объектов

исследования (рис. 2). Мы видим, что в направлениях с юга на север и с запада на восток КОК фракций надземной и подземной биомассы увеличивается, что согласуется с результатом Д. Г. Щепашенко с соавторами [24].

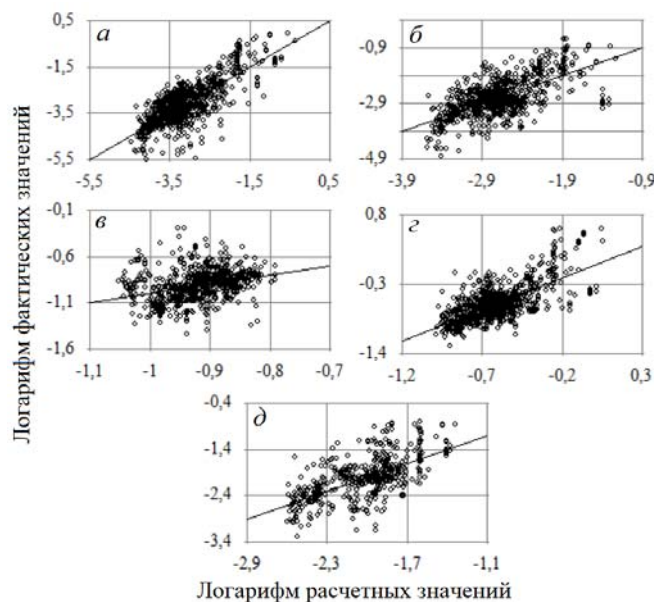


Рис. 1. Соотношение расчетных и фактических значений КОК согласно модели (1).
Здесь и далее: а, б, в, г и д – КОК соответственно для хвои, ветвей, стволов, надземной и корней

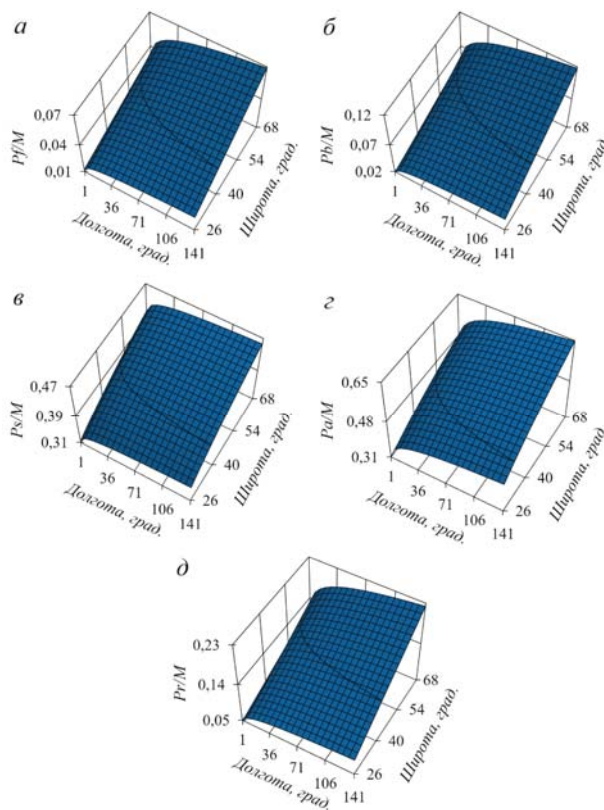


Рис. 2. Изменение расчетных значений КОК по географическим градиентам широты и долготы согласно моделям (1) при среднем значении возраста, равном 85 годам

Рис. 2 дает возможность рассчитать процентные изменения КОК, приходящиеся на 1 градус широты и долготы. Для хвои, ветвей, стволов, надземной и подземной биомассы при повышении широты на 1 градус происходит увеличение КОК соответственно на 3,8; 4,2; 0,7; 1,1 и 3,7 %. При увеличении долготы на 1 градус происходит повышение КОК для хвои, ветвей, стволов надземной и подземной биомассы на 0,8; 0,9; 0,1; 0,3 и 0,6 %.

Предложенные модели КОК могут быть использованы при расчетах углеродного пула в еловых древостоях по данным инвентаризации лесов. Необходимо иметь в виду, что инвентаризация лесов в России традиционно осуществляется не по классам возраста, а по возрастным группам [17], что может дать в итоге некоторые смещения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложены модели конверсионно-объемных коэффициентов (КОК) надземной и подземной биомассы древостоев ели, предназначенные для оценки биомассы древостоев по значениям возраста и запаса стволовой древесины, получаемым в процессе лесоинвентаризации. В отличие от ранее опубликованных моделей, предложенные модели видоспецифичны и дифференцированы по географическим координатам широты и долготы.

Установлено, что КОК фракций надземной и подземной биомассы увеличивается в направлениях с юга на север и с запада на восток. Возраст древостоев и их географическое положение обеспечивают примерно равные вклады в объяснение изменчивости КОК биомассы. При этом вклад широты примерно вдвое больше вклада долготы.

Благодарность. Автор благодарит к.с.-х.н. И. С. Цепордею за помощь при подготовке статьи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Алексеев В. А., Бердси Р. А. Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1994. 224 с.
2. Замолотчиков Д. Г., Уткин А. И., Коровин Г. Н. Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объемным коэффициентам // Лесоведение. 1998. № 3. С. 84–93.
3. Замолотчиков Д. Г., Уткин А. И., Честных О. В. Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу для основных лесобразующих пород России // Лесная таксация и лесоустройство. 2003. № 1. С. 119–127.
4. Замолотчиков Д. Г., Уткин А. И., Коровин Г. Н. Конверсионные коэффициенты фитомасса/запас в связи с дендрометрическими показателями и составом древостоев // Лесоведение. 2005. № 6. С. 73–81.
5. Исаев А. С., Коровин Г. Н., Уткин А. И. и др. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. 1993. № 5. С. 3–10.
6. Лиела И. Я. Динамика древесных запасов: Прогнозирование и экология. Рига: Зинатне, 1980. 170 с.
7. Макаревский М. Ф. Запасы и баланс органического углерода в лесных и болотных биогеоценозах Карелии // Экология. 1991. № 3. С. 3–10.

8. Онучин А. А., Борисов А. Н. Опыт таксации фитомассы сосновых древостоев // Лесоведение. 1984. № 6. С. 66–71.
9. Поздняков Л. К., Протопопов В. В., Горбатенко В. М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. Красноярск: Книжное изд-во, 1969. 120 с.
10. Розенберг Г. С., Долотовский И. М. Еще раз о показателях силы влияния // Биологические науки. 1988. № 9. С. 105–110.
11. Усольцев В. А. Рост и структура фитомассы древостоев. Новосибирск: Наука, 1988. 253 с. <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3352>.
12. Усольцев В. А. Формирование банков данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 541 с. <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3224>.
13. Усольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 762 с. <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3302>.
14. Усольцев В. А. Депонирование углерода лесами Уральского региона России (по состоянию Государственного учета лесного фонда на 2007 год). Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2018. 265 с. <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/7768>.
15. Усольцев В. А. Биомасса и первичная продукция лесов Евразии. Электронная база данных. 4-е доп. изд. Монография. Екатеринбург : Ботанический сад УрО РАН, Уральский государственный лесотехнический университет, 2023. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12452>
16. Усольцев В. А., Цепордей И. С., Карабан А. А. и др. Использование регрессионной модели при анализе конверсионно-объемных коэффициентов фитомассы ольхи в географических градиентах Евразии // Лесной вестник. 2023. Т. 27. (В печати).
17. Уткин А. И., Замолотчиков Д. Г., Сухих В. И. Влияние возрастного критерия лесных насаждений на точность региональных оценок запасов и депонирования углерода в фитомассе лесов // Экология. 1999. № 4. С. 243–250.
18. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Canadian Journal of Forest Research. 1972. Vol. 2. No. 1. P. 49–53.
19. Dong L., Zhang L., Li F. Evaluation of stand biomass estimation methods for major forest types in the eastern Da Xing'an Mountains, Northeast China // Forests. 2019. Vol. 10. Article 715. DOI: 10.3390/f10090715.
20. Flury Ph. Untersuchungen über das Verhältniss der Reisigmasse zur Derbholzmasse // Mitteilungen der Schweizerische Centralanstalt für das forstliche Versuchswesen. 1892. Vol. 2. P. 25–32.
21. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Intergovernmental Panel on Climate Change. IGES: Hayama, Japan, 2006. 20 p.
22. Lakida P., Nilsson S., Shvidenko A. Estimation of forest phytomass for selected countries of the former European USSR // Working Paper WP-95-79. IIASA: Laxenburg, Austria, 1995. 33 p.
23. Müller A., Weigelt J., Götz A. et al. The role of biomass in the sustainable development goals: A reality check and governance implications. IAS Working Paper; IASS: Potsdam, Germany, 2015. 36 p.

24. Schepaschenko D., Moltchanova E., Shvidenko A. et al. Improved estimates of biomass expansion factors for Russian forests // *Forests*. 2018. Vol. 9. Article 312.

25. Usoltsev V. A., Hoffmann C. W. Combining harvest sample data with inventory data to estimate forest biomass // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 1997. Vol. 12. No. 3. P. 273–279.

26. Wang Y., Miao Z., Hao Y. et al. Effects of biotic and abiotic factors on biomass conversion and expansion factors of natural white birch forest (*Betula platyphylla* Suk.) in Northeast China // *Forests*. 2023. Vol. 14. Article 362. DOI:10.3390/f14020362.

REFERENCES

1. Alekseyev V. A., Berdsi R. A. Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1994. 224 с.

2. Zamolodchikov D. G., Utkin A. I., Korovin G. N. Opredeleniye zapasov ugleroda po zavisimym ot vozrasta nasazhdeniy konversionno-ob'yemnym koeffitsiyentam // *Lesovedeniye*. 1998. № 3. S. 84–93.

3. Zamolodchikov D. G., Utkin A. I., Chestnykh O. V. Koeffitsiyenty konversii zapasov nasazhdeniy v fitomassu dlya osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Rossii // *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo*. 2003. № 1. S. 119–127.

4. Zamolodchikov D. G., Utkin A. I., Korovin G. N. Konversionnyye koeffitsiyenty fitomassa/zapas v svyazi s dendrometricheskimi pokazatelyami i sostavom drevostoyev // *Lesovedeniye*. 2005. № 6. S. 73–81.

5. Isayev A. S., Korovin G. N., Utkin A. I. i dr. Otsenka zapasov i godichnogo deponirovaniya ugleroda v fitomasse lesnykh ekosistem Rossii // *Lesovedeniye*. 1993. № 5. S. 3–10.

6. Liyepa I. Ya. Dinamika drevesnykh zapasov: Prognozirovaniye i ekologiya. Riga: Zinatne, 1980. 170 с.

7. Makarevskiy M. F. Zapasy i balans organicheskogo ugleroda v lesnykh i bolotnykh biogeotsenozakh Karelii // *Ekologiya*. 1991. № 3. S. 3–10.

8. Onuchin A. A., Borisov A. N. Opyt taksatsii fitomassy sosnovykh drevostoyev // *Lesovedeniye*. 1984. № 6. S. 66–71.

9. Pozdnyakov L. K., Protopopov V. V., Gorbatenko V. M. Biologicheskaya produktivnost' lesov Sredney Sibiri i Yakutii. Krasnoyarsk: Knizhnoye izd-vo, 1969. 120 с.

10. Rozenberg G. S., Dolotovskiy I. M. Yeshche raz o pokazatelyakh sily vliyaniya // *Biologicheskiye nauki*. 1988. № 9. S. 105–110.

11. Usoltsev V. A. Rost i struktura fitomassy drevostoyev. Novosibirsk: Nauka, 1988. 253 с. <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3352>.

12. Usoltsev V. A. Formirovaniye bankov dannykh o fitomasse lesov. Yekaterinburg: URO RAN, 1998. 541 с. <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3224>.

13. Usoltsev V. A. Fitomassa lesov Severnoy Yevrazii: normativy i elementy geografii. Yekaterinburg: URO RAN, 2002. 762 с. <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3302>.

14. Usoltsev V. A. Deponirovaniye ugleroda lesami Ural'skogo regiona Rossii (po sostoyaniyu Gosudarstvennogo ucheta lesnogo fonda na 2007 god). Yekaterinburg : Ural'skiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskiy universitet, 2018. 265 с. <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/7768>.

15. Usoltsev V. A. Biomassa i pervichnaya produktsiya lesov Yevrazii. Elektronnaya baza dannykh. 4-e dop. izd. Monografiya. Yekaterinburg: Botanicheskiy sad URO RAN, Ural'skiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskiy universitet, 2023. -1 elektron. opt. disk (CD-ROM). <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12452>.

16. Usoltsev V. A., Tsepordey I. S., Karaban A. A. i dr. Ispolzovaniye regressionnoy modeli pri analize konversionno-ob'yemnykh koeffitsiyentov fitomassy ol'khi v geograficheskikh gradiyentakh Yevrazii // *Lesnoy vestnik*. 2023. T. 27. (V pechati).

17. Utkin A. I., Zamolodchikov D. G., Sukhikh V. I. Vliyaniye voznrastnogo kriteriya lesnykh nasazhdeniy na tochnost' regional'nykh otsenok zapasov i deponirovaniya ugleroda v fitomasse lesov // *Ekologiya*. 1999. № 4. S. 243–250.

18. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // *Canadian Journal of Forest Research*. 1972. Vol. 2. No. 1. P. 49–53.

19. Dong L., Zhang L., Li F. Evaluation of stand biomass estimation methods for major forest types in the eastern Da Xing'an Mountains, Northeast China // *Forests*. 2019. Vol. 10. Article 715. DOI:10.3390/f10090715.

20. Flury Ph. Untersuchungen über das Verhältniss der Reisigmasse zur Derbholzmasse // *Mitteilungen der Schweizerische Centralanstalt für das forstliche Versuchswesen*. 1892. Vol. 2. P. 25–32.

21. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Intergovernmental Panel on Climate Change. IGES : Hayama, Japan, 2006. 20 p.

22. Lakida P., Nilsson S., Shvidenko A. Estimation of forest phytomass for selected countries of the former European USSR // Working Paper WP-95-79. IIASA: Laxenburg, Austria, 1995. 33 p.

23. Müller A., Weigelt J., Götz A. et al. The role of biomass in the sustainable development goals: A reality check and governance implications. IAS Working Paper; IASS: Potsdam, Germany, 2015. 36 p.

24. Schepaschenko D., Moltchanova E., Shvidenko A. et al. Improved estimates of biomass expansion factors for Russian forests // *Forests*. 2018. Vol. 9. Article 312.

25. Usoltsev V. A., Hoffmann C. W. Combining harvest sample data with inventory data to estimate forest biomass // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 1997. Vol. 12. No. 3. P. 273–279.

26. Wang Y., Miao Z., Hao Y. et al. Effects of biotic and abiotic factors on biomass conversion and expansion factors of natural white birch forest (*Betula platyphylla* Suk.) in Northeast China // *Forests*. 2023. Vol. 14. Article 362. DOI:10.3390/f14020362.

СТРОЕНИЕ ПОСТАГРОГЕННЫХ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПО ДИАМЕТРУ СТВОЛА

С. К. Мамедова, С. Л. Шевелев, В. Н. Немич

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

Аннотация. В последние десятилетия в Российской Федерации появились значительные по площади территории заброшенных сельскохозяйственных земель. На этих землях формируются или уже сформировались древостой. По данным различных источников на их долю приходится от 45 до 97 млн га.

Целью настоящей работы явилось установление особенностей строения по диаметру древостоев сосны, сформировавшихся на землях, вышедших из сельскохозяйственного использования в условиях Средней Сибири.

В основу работы положены материалы 18 пробных площадей, закладка которых осуществлялась с соблюдением требований ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки». Средний возраст древостоев пробных площадей лежит в пределах 12–90 лет. Густота древостоев от 160 до 15 733 шт./га. В составе древостоев кроме сосны присутствует береза, лиственница, ель, пихта. Всего обмерено 4 747 деревьев сосны.

За основной стратификационный признак наряду с группой возраста принята густота древостоев. В результате обработки данных получены ряды распределения числа стволов по диаметру для различных групп возраста и густоты.

Ключевые слова: строение древостоя, диаметр ствола, сосна обыкновенная, заброшенные сельскохозяйственные земли.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 1, P. 13–19

STRUCTURE OF POST-AGRICULTURAL PINE STANDS BY TRUNK DIAMETER

S. K. Mamedova, S. L. Shevelev, V. N. Nemich

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

Abstract. In recent decades, significant areas of abandoned agricultural land have appeared in the Russian Federation. On these lands stands of forests are being or have already been formed. According to various sources, they account for from 45 to 97 million ha.

The purpose of this work was to determine the peculiarities of the diameter structure of pine stands formed on lands abandoned from agricultural use in Central Siberia.

The work is based on the materials of 18 sample plots, which were laid in compliance with the requirements of OST 56-69-83 'Sample forest inventory plots. Laying methods'. The average age of stands of sample plots lies within the range of 12–90 years. The density of stands ranged from 160 to 15 733 trees/ha. Apart from pine, the stands include birch, larch, spruce and fir. A total of 4 747 pine trees were measured.

The density of stands was taken as the main stratification feature along with the age group. As a result of data processing, we obtained series of distribution of number of trunks by diameter for different age and density groups.

Ключевые слова: stand structure, trunk diameter, Scots pine, abandoned agricultural land.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из результатов трансформации социально-экономического строя в Российской Федерации за последние десятилетия стало появление значительных площадей заброшенных сельскохозяйственных земель. Это произошло в силу разных экономических причин, обусловивших отказ собственников от использования угодий по их прямому назначению. На этих землях в результате начавшихся лесообразова-

тельных процессов формируются или уже сформировались древостой.

В настоящее время такие лесные формации занимают в Российской Федерации от 45 до 97 миллионов гектаров, причем из них уже около 30 миллионов гектаров приходится на сомкнувшиеся древостой [1]. Эти цифры очень приблизительны, зачастую источники, их приводящие, противоречат друг другу. Так, по расчетам природоохранной организации «Greenpeace» [2],

в Российской Федерации за 2018 год зафиксировано 76 млн га неиспользуемых сельхозземель. Эта площадь превышает показатели Минсельхоза РФ [3] на 57,6 %.

Однако несмотря на недостатки в учете лесных сообществ, сформировавшихся на землях вышедших из сельхозпользования, они явились объектом внимания государственных структур РФ и получили правовой статус в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 21.09.2020 г. № 1509 «Об особенностях использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения» [4] и статьи 123 Лесного кодекса РФ [5]. В печати и интернете ведется достаточно интенсивная полемика о возможностях так называемого «сельского лесоводства».

По официальным данным Минсельхоза РФ [6], в Красноярском крае общая площадь неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения за 2021 год составляет 1751 тыс. га (4,4 % – от общей площади с/х земель), в том числе неиспользуемых с/х угодий – 1294 тыс. га (73,9 %). Среди заброшенных угодий преобладают пашни – 1072 тыс. га (82,8 %).

Нужно отметить, что особенности роста и развития древостоев на землях, вышедших из сельхозпользования, уже явились объектом изучения.

В ряде работ [7–12] отмечается высокая продуктивность естественных сосновых древостоев, сформировавшихся на постагрогенных землях.

Н. Н. Соколовым [10] установлено, что в молодняках изменчивость прироста деревьев в толщину значительна и увеличивается с возрастанием густоты. Он рекомендует при проведении рубок ухода в молодняках не снижать густоту менее 0,8–1,0 тыс. деревьев на 1 га, так как дальнейшее разреживание не ведет к существенному увеличению прироста диаметра.

Радиальный прирост древесины у сосны на залежах значительно выше, чем на лесных землях [7; 13], однако интенсивный рост древесины может привести

к снижению её качества, поэтому А. А. Березина, Н. П. Савиных [14] предлагают для формирования высокопродуктивного соснового леса на землях, вышедших из сельхозпользования, проводить лесохозяйственные мероприятия, аналогичные таковым при уходе за молодняками: рубки ухода (прочистки, прореживание) с удалением всех «отпавших», многовершинных, поврежденных и угнетенных деревьев с равномерной выборкой.

Однако следует отметить, что для условий Средней Сибири существует достаточно ограниченный ряд исследований, посвященных данному вопросу [15–18].

Г. Г. Полякова и др. [18] отмечают высокую изменчивость диаметров в сосновых молодняках, сформировавшихся на землях, вышедших из сельхозпользования. Например, коэффициент вариации диаметра (V) в разные годы наблюдения изменяется от 65 % в 7-летнем возрасте до 55 % к 14 годам. Представленные показатели согласуются с данными Р. А. Зиганшина [19], который в 28-летнем сосняке фиксирует коэффициент варьирования 54 %, с дальнейшим его уменьшением в спелом возрасте до 30–35 %, в перестойных насаждениях до 23 %.

Даже без проведения детального анализа ясно, что развитие древостоев на землях, вышедших из сельхозпользования, имеет свои особенности, обусловленные хотя бы тем, что под земли сельского хозяйства отводились территории с наиболее плодородными почвами и ровным рельефом.

Примером могут служить древостои на территории Учебно-опытного лесхоза СибГУ им. М. Ф. Решетнева, сформировавшихся на пашнях 90 лет назад (рис. 1), где выросли чистые сосновые древостои с относительной полнотой 1,3 по «Стандартной таблице суммы площадей поперечных сечений и запасов ЦНИИЛХ».

На рис. 1 также представлены сосновые молодняки, сформировавшиеся на заброшенных сельхозугодьях в пределах последних 15–20 лет.



Рис. 1. Сосновый древостой на бывших землях сельхозпользования (фото 2022–2023 гг.)

Целью настоящей работы является установление особенностей строения по диаметру древостоев сосны, сформировавшихся на землях, вышедших из сельскохозяйственного использования в условиях Средней Сибири.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу работы положены материалы 18 пробных площадей. Закладка пробных площадей проводилась с соблюдением требований ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки» [20], с учетом особенностей объекта исследования.

Характеристика пробных площадей приведена в табл. 1.

Следует отметить, что пробные площади характеризуют достаточно широкий возрастной промежуток – средний возраст древостоев лежит в пределах 12–90 лет. Также значительно различается и густота древесных растительных сообществ, сформировавшихся на сельскохозяйственных землях, от максимальной 15733 до минимальной 160 шт./га.

Состав характеризуется преобладанием сосны с участием березы (*Betula pendula* Roth), лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.), ели (*Picea obovata* Ledeb.), пихты (*Abies sibirica* Ledeb.). Всего на пробных площадях были обмерены диаметры 4747 деревьев.

Обработка данных велась с использованием пакета анализа электронной таблицы «Excel», пакетов программы «CurveExpert – 1.4» и «SPSS».

Таблица 1
Характеристика пробных площадей

№ п/п	Состав	А, лет	D 1.3, см	H, см	Б	N, шт./га	P абс., м ² /га	M, м ³ /га	Тип леса
1	9С1Б	16	11,9	5,0	2	346	3,61	13	С. кипрейно-разнотравный
2	10Сед.Б	15	11,1	4,5	2	160	1,53	5	С. кипрейно-разнотравный
3	10С	13	6,8	3,9	2	1173	4,01	13	С. злаково-разнотравный
4	10С	13	6,0	4,6	2	4280	12,05	42	С. кипрейно-злаково-разнотравный
5	10Сед.Б	20	12,2	8,3	1	1933	21,22	103	С. злаково-разнотравный
6	10Сед.Б	14	4,4	4,6	2	9091	13,95	47	С. разнотравный
7	10Сед.Б	16	11,8	7,4	2	2000	19,76	91	С. злаково-разнотравный
8	10Сед.Б	12	3,2	2,9	3	15733	10,39	30	С. кипрейно-разнотравный
9	10Сед.Б,Л	16	11,8	5,4	3	685	6,70	25	С. разнотравный
10	10С	17	8,0	5,7	3	4235	21,46	94	С. разнотравный
11	10С	19	8,1	8,4	1	7175	31,13	156	С. мелкотравный
12	9С1Бед.Л	21	10,0	9,5	1	5482	37,10	208	С. хвощово-разнотравный
13	9С1Бед.Е	16	6,9	5,1	3	3245	12,02	49	С. кипрейно-разнотравный
14	10С	90	28,8	28,8	1	1311	77,71	1045	С. грушанково-зеленомошный
15	10С	90	29,8	29,7	1	971	64,67	904	С. грушанково-зеленомошный
16	10С	90	30,5	29,6	1	880	64,34	912	С. грушанково-зеленомошный
17	10С	75	31,1	30,3	1а	906	66,58	950	С. осочково-разнотравный
18	10Сед.П, Б	80	29,1	29,9	1а	750	41,16	576	С. осочково-разнотравный

Примечание. ПП № 1-13 – центральная и северо-восточная часть Емельяновского района, ПП № 14-16 – Учебно-опытный лесхоз СибГУ им. М. Ф. Решетнева, ПП № 17-18 – СХТ «Боровое».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученный массив данных характеризует достаточно широкий спектр растительных сообществ, сформировавшихся на бывших сельскохозяйственных землях, поэтому потребовалась определенная стратификация с целью установления его однородных частей, объединенных какими-то базовыми признаками. Для установления этих признаков данные были подвергнуты первичной статистической обработке.

В табл. 2 приведены величины коэффициентов варьирования (V, %) и точности опыта (P, %) для рядов диаметров деревьев сосны на пробных площадях.

Характер изменчивости признака, а также вид распределений по абсолютным ступеням диаметра, полученные для каждой пробной площади показали, что наиболее оптимальной базовой характеристикой для стратификации массива данных с целью выявления особенностей строения по диаметру может служить густота древостоя.

Таблица 2
Изменчивость диаметров стволов деревьев сосны на пробных площадях

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V, %	27,6	30,9	45,8	46,3	48,9	51,7	56,0	44,2	43,1
P, %	1,9	3,3	3,0	4,5	4,7	2,3	4,0	3,1	3,9

Окончание таблицы 2

№ п/п	10	11	12	13	14	15	16	17	18
V, %	60,2	63,1	49,9	62,9	24,6	20,4	23,3	20,8	33,5
P, %	4,5	2,9	2,6	3,5	1,4	1,0	1,3	2,6	4,8

Густота является признаком, тесно связанным с возрастом древостоя и им опосредованным, а также реагирующим на богатство и влагообеспеченность местообитания лесной формации.

Далее был использован метод «естественных ступеней» А. В. Тюрина, что позволило выделить несколько типов строения древостоев, явившихся объектом исследования.

На рис. 2 показан обобщенный ряд распределения числа стволов в древостоях, входящих в группы возраста «средневозрастные и приспевающие».

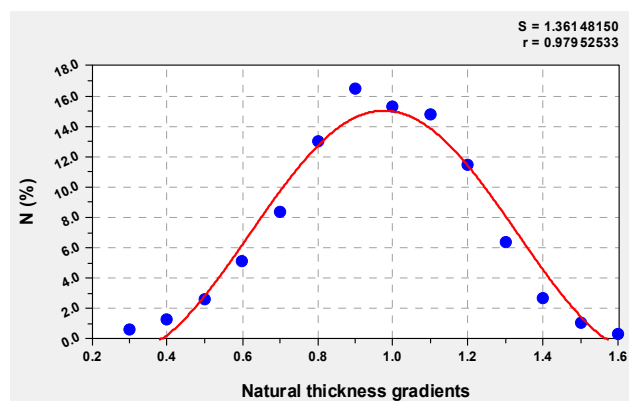


Рис. 2. Распределение числа стволов по естественным ступеням диаметра (средневозрастные и приспевающие древостои)

Древостои имеют густоту от 750 до 1311 шт./га. Оценка кривых на согласованность с использованием критерия согласия Колмагорова-Смирнова позволила получить обобщенный ряд, который отображается функцией вида (Sinusoidal Fit):

$$y = a + b * \cos(cx + d), \quad (2)$$

где y – количество деревьев, %; x – естественные ступени толщины; a, b, c, d – коэффициенты уравнения.

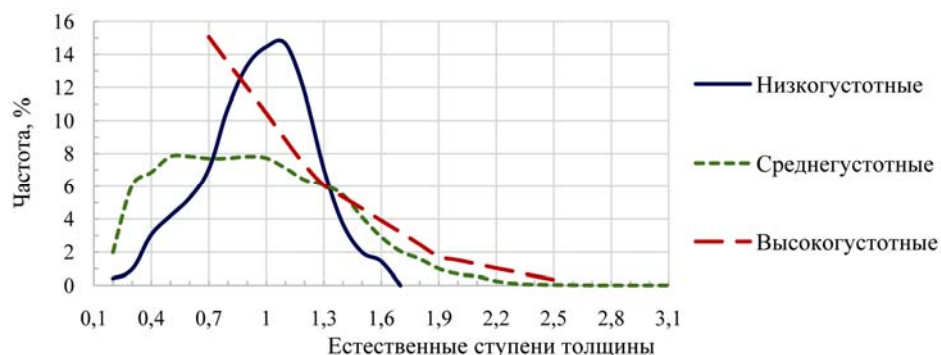


Рис. 3. Распределение числа стволов по естественным ступеням диаметра в древостоях (молодняки разной густоты)

Таблица 4

Математические модели рядов распределения числа стволов в возрастной группе «молодняки»

№ п/п	Группы	Функция	R^2	S
1	Низкогустотные	Rational Function: $y = (a + bx) / (1 + cx + dx^2)$	0,97	$\pm 0,99$
2	Среднегустотные	Gaussian Model: $y = a * \exp(-(b-x)^2 / (2 * c^2))$	0,99	$\pm 0,57$
3	Высокогустотные	Weibull Model: $y = a - b * \exp(-c * x^d)$	1,00	$\pm 0,16$

Исходные параметры уравнения представлены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты уравнения и показатели его адекватности (средневозрастные и приспевающие древостои)

Коэффициенты и показатели адекватности	Значение
a	6,939326
b	8,0983187
c	4,4161983
d	-4,3037132
Коэффициент детерминации (R^2)	0,98
Стандартная ошибка (S)	$\pm 1,36$

Древостои, относящиеся к группе возраста «молодняки», разделены на три группы по густоте: высокогустотные, среднегустотные и низкогустотные.

К группе высокогустотных молодняков отнесена пробная площадь № 8, с густотой 15733 шт./га, к среднегустотным – пробные площади № 1-7, 9-13, с густотой от 685 до 9091 шт./га и низкогустотным – пробы № 1-2, с густотой от 160 до 346 шт./га.

На рис. 3 приведены обобщенные ряды распределения числа стволов по диаметру в молодняках, сформировавшихся на заброшенных сельскохозяйственных землях.

Следует отметить значительные амплитуды диаметров деревьев в древостоях, особенно в среднегустотных, где отдельные экземпляры соответствуют естественной ступени диаметра 3.1, то есть их диаметр более чем в 3 раза превышает среднее значение.

Для распределений были получены математические модели, приведенные в табл. 4.

Табуляция уравнений позволила получить числовые значения частот рядов распределения числа стволов по диаметру в древостоях, сформировавшихся на землях сельскохозяйственного назначения, вышедших из пользования (табл. 5).

Таблица 5

Строение по диаметру древостоев сосны, сформировавшихся на землях сельскохозяйственного назначения

Группы древостоев	Естественные ступени толщины / Количество деревьев, %										
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
Средневозрастные и припевающие	–	0,6	1,3	2,6	5,1	8,4	13,0	16,5	15,3	14,8	11,5
Молодняк низкогустотный	0,4	1,0	3,0	4,2	5,3	7,0	10,7	13,3	14,5	14,6	11,7
Молодняк среднегустотный	2,0	6,1	6,8	7,8	7,8	7,7	7,7	7,8	7,7	7,1	6,4
Молодняк высокогустотный	–	–	–	–	–	15,1	13,5	12,0	10,5	8,8	7,3

Продолжение таблицы 5

Группы древостоев	Естественные ступени толщины / Количество деревьев, %												
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
Средневозрастные и припевающие	6,4	2,8	1,1	0,3	0,1	0,0	0,2	–	–	–	–	–	–
Молодняк низкогустотный	7,1	3,8	2,0	1,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Молодняк среднегустотный	6,1	5,5	4,1	2,9	2,1	1,6	1,0	0,7	2,1	1,6	1,0	0,7	0,5
Молодняк высокогустотный	6,1	5,3	4,6	3,9	3,2	2,5	1,7	1,5	3,2	2,5	1,7	1,5	1,3

Окончание таблицы 5

Группы древостоев	Естественные ступени толщины / Количество деревьев, %										
	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	Итого
Средневозрастные и припевающие	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100
Молодняк низкогустотный	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100
Молодняк среднегустотный	0,3	0,1	0,1	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	100
Молодняк высокогустотный	1,0	0,8	0,6	0,3	–	–	–	–	–	–	100

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ближайшие годы леса, сформировавшиеся на землях сельскохозяйственного назначения, станут объектом ведения лесного хозяйства в соответствии с правовыми актами, регулирующими решение данной проблемы. В настоящее время усилиями Рослесинфорга ведутся работы по обнаружению таких территорий и их оцифровке.

Однако леса, сформировавшиеся на сельхозземлях, имеют свои особенности в росте, производительности, строении и т. д. и, следовательно, требуют разработки соответствующей нормативной базы таксации.

В результате выполнения настоящей работы установлены особенности строения древостоев сосны, сформировавшихся на сельскохозяйственных землях в Средней Сибири. Полученные данные могут быть использованы в практике лесного хозяйства при проектировании ряда лесохозяйственных мероприятий, а также смогут явиться основой для дальнейшей разработки нормативных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Ярошенко А. Сколько лесов в России? // Земля касается каждого. 2023. URL: <https://earthtouches.me/articles/2023/11/02/skolko-lesov-v-rossii/>.

2. Карта неиспользуемых сельхозземель, потенциально пригодных для выращивания леса. 2019. URL: <https://maps.greenpeace.org/maps/aal/> (дата обращения: 25.08.2024).

3. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2018 году. М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 340 с.

4. Об особенностях использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения : Постановление Правительства РФ от 21.09.2020 № 1509 (ред. от 08.06.2022). Доступ из справочно-правовой системы «Консультант-Плюс» (дата обращения: 25.09.2024).

5. Лесной кодекс РФ от 4 декабря 2006 г. № 200-ФЗ (ред. от 08.08.2024). Доступ из справочно-правовой системы «Консультант-Плюс» (дата обращения: 25.09.2024).

6. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2021 году. Москва : ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 356 с.

7. Голубева, Л. В., Наквасина Е. Н., Минин Н. С. Продуктивность и качество древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в постагrogenных насаж-

дениях // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. № 215. С. 19–29.

8. Мелехов В. И., Антонов А. М., Лохов Д. В. Лесоводственный потенциал неиспользуемых сельскохозяйственных угодий // Arctic Environmental Research. 2011. № 3.

9. Наквасина Е. Н., Голубева Л. В. Идентификация постагрогенных лесов в национальном парке «Кенозерский» // Arctic Environmental Research. 2015. № 4.

10. Соколов Н. Н. Рост и продуктивность сосновых древостоев по старым пашням // Лесной журнал. 1978. № 4. С. 22–25.

11. Януш С. Ю., Данилов Д. А. Таксационная и товарная структура древостоев сосны и ели на старопашотных и лесных почвах в Ленинградской области // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2020. № 4. С. 54–64.

12. Януш С. Ю., Данилов Д. А., Зайцев Д. А. Плотность древесины сосны и ели в насаждениях на старопашотных и лесных землях в Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. № 243. С. 46–67.

13. Чибисов Г. А., Москалева С. А., Крыжановская Л. Е. Качество древесины сосны и ели, метод его определения // Вопросы таежного лесоводства на Европейском Севере: сб. науч. трудов. Архангельск: Северный НИИ лесного хозяйства, 2005. С. 89–99.

14. Березин А. А., Савиных Н. П. Постагрогенные сосняки в подзоне Южной тайги в Кировской области // Экология родного края: проблемы и пути их решения. 2020. С. 91–95.

15. Вараксин Г. С., Вайс А. А., Байкалов Е. М. Зарастание древесной растительностью земель сельскохозяйственного назначения // Вестник КрасГАУ. 2012. № 5.

16. Ерохина З. В., Смолякова Е. В., Зверькова Е. В. Оценка лесовозобновления на сельхозугодьях совхоза «Логовик», прилегающих к насаждениям Емельяновского лесничества // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения : сб. материалов по итогам Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 21 октября 2022 года. Красноярск : СибГУ, 2023. С. 109–112.

17. Ерохина З. В., Хомиджонов М. Б. Зависимость биометрических показателей подростa сосны от условий местопрорастания // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения : сб. материалов по итогам Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 21 октября 2022 года. Красноярск : СибГУ, 2023. С. 37–41.

18. Полякова Г. Г., Поляков М. В., Ибе А. А., Подляк Н. М. Таксационная оценка состояния молодняка сосны при естественном лесовозобновлении // Сибирский лесной журнал. 2016. № 4. С. 98–104.

19. Зиганшин Р. А. Площадь выявления насаждений и необходимое число наблюдений в древостоях элемента леса // Сиб. лесн. журн. 2015. № 1. С. 87–104.

20. ОСТ 56–69–83 «Площади пробные лесоустroительные. Методы закладки». М. : Государственный комитет по стандартам, 1982. 12 с.

REFERENCES

1. Jaroshenko A. Skol'ko lesov v Rossii? // Zemlja kasaetsja kazhdogo. 2023. URL: <https://earthtouches.me/articles/2023/11/02/skolko-lesov-v-rossii/>.

2. Karta neispol'zuemyh sel'hozzemel', potencial'no prigodnyh dlja vyrashhivaniya lesa. 2019. URL: <https://maps.greenpeace.org/maps/aal/> (data obrashhenija: 25.08.2024).

3. Doklad o sostojanii i ispol'zovanii zemel' sel'skohozjajstvennogo naznachenija Rossijskoj Federacii v 2018 godu. M.: FGBNU «Rosinformagroteh», 2020. 340 s.

4. Ob osobennostjah ispol'zovanija, ohrany, zashhity, vosproizvodstva lesov, raspolozhennyh na zemljah sel'skohozjajstvennogo naznachenija : Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 21.09.2020 № 1509 (red. ot 08.06.2022). Dostup iz spravочно-pravovoj sistemy «Konsul'tant-Pljus» (data obrashhenija: 25.09.2024).

5. Lesnoj kodeks RF ot 4 dekabrja 2006 g. № 200-FZ (red. ot 08.08.2024). Dostup iz spravочно-pravovoj sistemy «Konsul'tant-Pljus» (data obrashhenija: 25.09.2024).

6. Doklad o sostojanii i ispol'zovanii zemel' sel'skohozjajstvennogo naznachenija Rossijskoj Federacii v 2021 godu. Moskva: FGBNU «Rosinformagroteh», 2022. 356 s.

7. Golubeva, L. V., Nakvasina E. N., Minin N. S. Produktivnost' i kachestvo drevesiny sosny obyknovennoj (Pinus sylvestris L.) v postagrogennyh nasazhdenijah // Izvestija Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. 2016. № 215. S. 19–29.

8. Melehov V. I., Antonov A. M., Lohov D. V. Lesovodstvennyj potencial neispol'zuemyh sel'hozzajstvennyh ugodij // Arctic Environmental Research. 2011. № 3.

9. Nakvasina E. N., Golubeva L. V. Identifikacija postagrogennyh lesov v nacional'nom parke «Kenozerskij» // Arctic Environmental Research. 2015. № 4.

10. Sokolov N. N. Rost i produktivnost' sosnovykh drevostoev po starym pashnjam // Lesnoj zhurnal. 1978. № 4. S. 22–25.

11. Janush S. Ju., Danilov D. A. Taksacionnaja i tovarnaja struktura drevostoev sosny i eli na staropashotnyh i lesnyh pochvah v Leningradskoj oblasti // Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozjajstva. 2020. № 4. S. 54–64.

12. Janush S. Ju., Danilov D. A., Zajcev D. A. Plotnost' drevesiny sosny i eliv nasazhdenijah na staropashotnyh i lesnyh zemljah v Leningradskoj oblasti // Izvestija Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. 2023. № 243. S. 46–67.

13. Chibisov G. A., Moskaleva S. A., Kryzhanovskaja L. E. Kachestvo drevesiny sosny i eli, metod ego opredelenija // Voprosy taezhnogo lesovodstva na Evropejskom Severe: sb. nauch. trudov. Arhangel'sk: Severnyj NII lesnogo hozjajstva, 2005. S. 89–99.

14. Berezin A. A., Savinyh N. P. Postagrogennye sosnjaki v podzone Juzhnoj tajgi v Kirovskoj oblasti // Jekologija rodnogo kraja: problemy i puti ih reshenija. 2020. S. 91–95.

15. Varaksin G. S., Vajs A. A., Bajkalov E. M. Zarastanie drevesnoj rastitel'nost'ju zemel' sel'skohozjajstvennogo naznachenija // Vestnik KrasGAU. 2012. № 5.

16. Erohina Z. V., Smoljakova E. V., Zver'kova E. V. Ocenka lesovozobnovlenija na sel'hozogod'jah sovhoza

«Logovik», prilegajushhih k nasazhdenijam Emel'janovskogo lesnichestva // Lesnoj i himicheskij komplekсы – problemy i reshenija : sb. materialov po itogam Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Krasnojarsk, 21 oktjabrja 2022 goda. Krasnojarsk: SibGU, 2023. S. 109–112.

17. Erohina Z. V., Homidzhonov M. B. Zavisimost' biometricheskikh pokazatelej podrosta sosny ot uslovij mestoproizrastanija // Lesnoj i himicheskij komplekсы – problemy i reshenija : sb. materialov po itogam Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Krasnojarsk, 21 oktjabrja 2022 goda. Krasnojarsk: SibGU, 2023. S. 37–41.

18. Poljakova G. G., Poljakov M. V., Ibe A. A., Podoljak N. M. Taksacionnaja ocenka sostojanija mladnjaka sosny pri estestvennom lesovozobnovlenii // Sibirskij lesnoj zhurnal. 2016. № 4. S. 98–104.

19. Ziganshin R. A. Ploshhad' vyjavlenija nasazhdenij i neobhodimoe chislo nabljudenij v drevostojah jelementa lesa // Sib. lesn. zhurn. 2015. № 1. S. 87–104.

20. OST 56-69-83 «Ploshhadi probnye lesoustroitel'nye. Metody zakladki». M. : Gosudarstvennyj komitet po standartam, 1982. 12 s.

© Мамедова С. К., Шевелев С. Л.,
Немич В. Н., 2025

Поступила в редакцию 15.09.2024
Принята к печати 18.02.2025

КУЛЬТИВИРУЕМЫЕ МИКРОМИЦЕТЫ ТОРФЯНЫХ БУГРОВ ПУЧЕНИЯ В ТУНДРОВЫХ РЕДКОЛЕСЬЯХ ЗАПАДНОГО ТАЙМЫРА

И. И. Джалолов^{1,2}, Ю. А. Литовка^{1,2,3}, Н. В. Фомина^{1,2}, А. А. Тимофеев^{2,3},
М. Е. Арканова¹, С. С. Познухова^{1,2}, К. А. Мирошникова³, И. Н. Павлов^{1,2}

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

²Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН)
Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/28

³Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН»
Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50

E-mail: Night_oxen.77@mail.ru

Аннотация. Исследовано биоразнообразие и биологические особенности культивируемых микроскопических грибов, обитающих в торфяных буграх пучения тундровых редколесий Западного Таймыра. Определены видовой состав и вертикальное распределение доминирующих психрофильных видов на различной глубине (0,1; 1; 2; 4 м); выявлены идентичные виды на разных глубинах. Идентификация изолятов проведена по совокупности морфолого-культуральных и молекулярно-генетических особенностей. Исследованы ростовые параметры доминирующих видов в диапазоне 12–16 °С и активность их окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов. Сформирована коллекция быстрорастущих психрофильных штаммов с радиальной скоростью роста от 5 до 24 мм/сут при 12 °С, которая представляет практический интерес для скрининга продуцентов ферментных препаратов, эффективных в условиях низких температур.

Ключевые слова: психрофилы, микромицеты, биоразнообразие, скорость роста, ферментативная активность, Арктика, тундровые редколесья, торфяные бугры.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 1, P. 20–26

CULTIVATED MICROMYCETES OF PEAT MOUNDS OF TUNDRA WOODLANDS OF WESTERN TAIMYR

I. I. Jalolov^{1,2}, Yu. A. Litovka^{1,2,3}, N. V. Fomina^{1,2}, A. A. Timofeev^{2,3},
M. E. Arkanova¹, S. S. Poznukhova^{1,2}, K. A. Miroshnikova³, I. N. Pavlov^{1,2}

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology

31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

²V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS – a separate division of the FRC KCS SB RAS (IF SB RAS)
50/28, Akademgorodok St., Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

³Federal Research Center Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
50, Akademgorodok St., Krasnoyarsk, 660036, Russia Federation

Abstract. The biodiversity and biological features of cultivated microscopic fungi living in peat mounds of the tundra woodlands of Western Taimyr are studied. The species composition and vertical distribution of the dominant psychrophilic species at different depths (0.1; 1; 2; 4 m) were determined; identical species were identified at different depths. The isolates were identified based on a combination of morphological, cultural, and molecular genetic features. The growth parameters of the dominant species in the range of 12–16 °C and the activity of their redox and hydrolytic enzymes were studied. A collection of fast-growing psychrophilic strains with a radial growth rate from 5 to 24 mm/day at 12 °C has been formed, which is of practical interest for screening producers of enzyme preparations effective at low temperatures.

Keywords: psychrophiles, micromycetes, biodiversity, growth rate, enzymatic activity, Arctic, tundra woodlands, peat mounds.

ВВЕДЕНИЕ

Торфяные бугры пучения представляют собой уникальные экосистемы, характерные для тундровых редколесий Западного Таймыра. Они возникают в результате сезонного замерзания и оттаивания почв,

что приводит к образованию особых микрорельефов и значительных слоев торфа. В таких условиях накапливается масса органических веществ, минерализация которых происходит чрезвычайно медленно из-за низких температур и ограниченной аэрации [1].

В экосистемах с выраженными экстремальными условиями адаптация живых организмов играет ключевую роль в их выживании и функционировании. Среди разнообразия биоты, населяющей арктические регионы, психрофильные грибы занимают особую нишу и играют важнейшую роль в процессах разложения органики и круговороте веществ. В условиях низких температур у грибов включается широкий спектр адаптивных механизмов, в том числе активная экспрессия генов синтеза антимикробных веществ, сидерофоров, низкомолекулярных хелаторов и генов гликолиза для синтеза промежуточных метаболитов – предшественников синтеза крио- и осмопротекторов [2; 3].

Исследования микромицетов в торфяных буграх пучения в тундровых редколесьях Таймыра особенно актуальны в контексте глобальных изменений климата, поскольку грибы играют важнейшую роль в процессах минерализации органики и функционировании углеродного цикла [4]. Однако биоразнообразие и функциональные способности микромицетов в этих специфических экосистемах остаются недостаточно изученными. Эффективные адаптивные стратегии психрофильных грибов в неблагоприятных условиях (низкие температуры, резкие колебания температуры и влажности, лимитированное почвенное питание, сезонные колебания освещенности, частичный анаэробизм) представляют немалый практический интерес для биотехнологии, включая поиск продуцентов ферментных препаратов, эффективных в низкотемпературном диапазоне [5].

Целью данной работы является исследование биоразнообразия, вертикального распределения и биологических особенностей доминирующих видов микроскопических грибов в торфяных буграх пучения тундровых редколесий Западного Таймыра.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образцы торфа были отобраны из бугров пучения в тундровых редколесьях Западного Таймыра в период с июля по август 2019 года. Глубина отбора образцов была различной, включая поверхностный слой (10–20 см), границу сезонно-талого слоя (до 1 м) и глубинные слои (2 и 4 м). Образцы хранили при температуре –18 °С до проведения исследований с сохранением их структурной целостности [6; 7].

Изолирование чистых культур грибов проводили методами истощающего посева торфяной суспензии и раскладки фрагментов торфа на поверхность агаризованных сред (2 % мальт-экстракт агар, среда Сабуро и среда Чапека). Посевы инкубировали при 12 и 16 °С в темноте в течение 7–14 сут [8]. Появившийся мицелий пересеивали на чашки со свежей средой для изучения морфологических особенностей.

Видовую идентификацию выделенных изолятов проводили по совокупности морфолого-культуральных и молекулярно-генетических характеристик. Особенности жизненного цикла и морфологию колоний исследовали на агаризованных средах в диапазоне температур 12–16 °С. Ростовые параметры изолятов оценивали на картофельно-сахарозном агаре (КСА), сусло-агаре (СА) и среде Чапека при 12, 16 и 24 °С в течение 18 сут; определяли радиальную ско-

рость колоний и ростовой коэффициент [9]. Микроструктуры исследовали в витальном и фиксированном состоянии с использованием светового микроскопа Eclipse Ci (Nikon, Japan) и системы фотодокументации.

Молекулярно-генетические исследования включали извлечение ДНК из десятисуточного мицелия, проведение ПЦР (маркеры ITS и TEF-1alpha), очистку ампликонов и последующее секвенирование методом Сэнгера. Редактирование последовательностей и сборку данных выполняли в программе MEGA X, а реконструкцию филогенетического дерева проводили методом агломеративной иерархической кластеризации UPGMA [10].

Ферментативную активность каталазы, протеазы, амилазы и целлюлазы определяли стандартными методами энзимологии. Использовали культуральный фильтрат, полученный после культивирования исследуемых изолятов на жидких питательных средах [11]. Активность каталазы определяли колориметрическим методом по изменению концентрации H₂O₂ [12]; активность протеазы – методом титрования [13]; активность амилазы – по убыли крахмала [14; 15], активность целлюлазы – по концентрации восстанавливающих сахаров [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведенных исследований торфяных бугров пучения тундровых редколесий Западного Таймыра нами была сформирована коллекция культур психрофильных микроскопических грибов, включающая 96 изолятов. Таксономическая принадлежность большинства штаммов ограничена филумами Ascomycota и Mucoromycota; подавляющее большинство из них представлены мицелиальными формами.

Соотношение количества выделенных изолятов с различной глубины торфяного бугра пучения было неодинаковым: из поверхностного слоя выделено 36,5 % грибных культур от их общего количества [17]; из сезонно-талого метрового слоя – 21,8 % [18]; из двухметрового глубинного слоя – 25 % [19]; из четырехметрового глубинного слоя – 16,7 % [20]. Из поверхностного слоя выделено большее количество изолятов, что, вероятно, связано с отсутствием дефицита кислорода и питательных веществ [21; 22], однако разнообразие морфолого-культуральных типов было невысоким. С увеличением глубины отмечено появление новых морфотипов и увеличение морфологического разнообразия.

На всех исследуемых глубинах обнаружены изоляты грибов из трех идентичных морфолого-культуральных типов. Молекулярно-генетический анализ подтвердил их принадлежность в каждом случае к видам *Neurospora tetraspora* Dania García, Stchigel & Guarro, *Mortierella bainieri* Costantin и *Pseudogymnoascus pannorum* (Link) Minnis & D.L. Lindner. Быстрорастущий вид *N. tetraspora* в настоящее время является модельным организмом для генетических исследований [23]; *M. bainieri* играет важную роль в регуляции углеродного баланса в почве [24]; типичный представитель арктических грибов психротолерантный вид *P. pannorum* устойчив к повышенной концентрации солей и недостатку кислорода [25; 26].

На рис. 1 представлена морфология колоний штаммов *N. tetraspora*, *M. bainieri* и *P. pannorum*, выделенных из поверхностного слоя, а также их характерные микроструктуры. Установлено, что все изоляты демонстрируют более высокую радиальную скорость роста и близкие морфологические характеристики по сравнению с культурами, выделенными из глубинных слоев.

Штамм *N. tetraspora* (рис. 1.1) характеризуется максимальными ростовыми характеристиками при 16 °С, полностью колонизируя поверхность СА в чашке Петри диаметром 9 см за 3 сут. Колонии светлые, мицелий пушистый, относительно редкий; максимальная плотность мицелия отмечена на седьмые сутки с началом интенсивного формирования асков, содержащих эллипсоидальные аскоспоры темно-коричневого цвета размером 2–3 мкм.

Штамм *M. bainieri* (рис. 1.2) также демонстрирует быстрый рост при температуре 16 °С на среде СА; размер колонии 85 мм был достигнут за 5 сут. Колония светлая, умеренно-пушистая с выраженным фестончатым краем и неровными concentрическими кольцами, напоминающими лепестки, центр колонии более пушистый с порошистым налетом. Отмечено

формирование характерных крупных сферических спорангиев, содержащих овально-эллипсоидные спорангиоспоры размером 9–12×4–5 мкм.

Для штамма *P. pannorum* (рис. 1.3) характерна невысокая скорость роста на суловом агаре по сравнению с другими изолятами. Воздушный мицелий порошистый, насыщенного желтого цвета в центральной части с более светлым краем; рост колонии не строго радиальный с эффектом рассеивания по поверхности агара. Штамм формирует длинные цепочки гладкостенных артроконидий, развивающихся на разветвленных конидиеносцах.

На рис. 2 представлена морфология колоний штаммов *N. tetraspora*, *M. bainieri* и *P. pannorum*, изолированных с глубины 1, 2 и 4 м в ходе культивирования на среде СА при температуре 16 °С. Установлено снижение плотности мицелия у штаммов, выделенных с более глубоких слоев (мицелий приземистый, стелющийся, скудный), а также скорости роста у изолятов *P. pannorum*. Микроскопические исследования показали, что для «глубинных» штаммов характерно утолщение гиф (до 4–6 мкм) и стенки спор, а также более интенсивное спорообразование, что, вероятно, связано с их адаптацией к условиям анаэробно-биоза и низких температур.

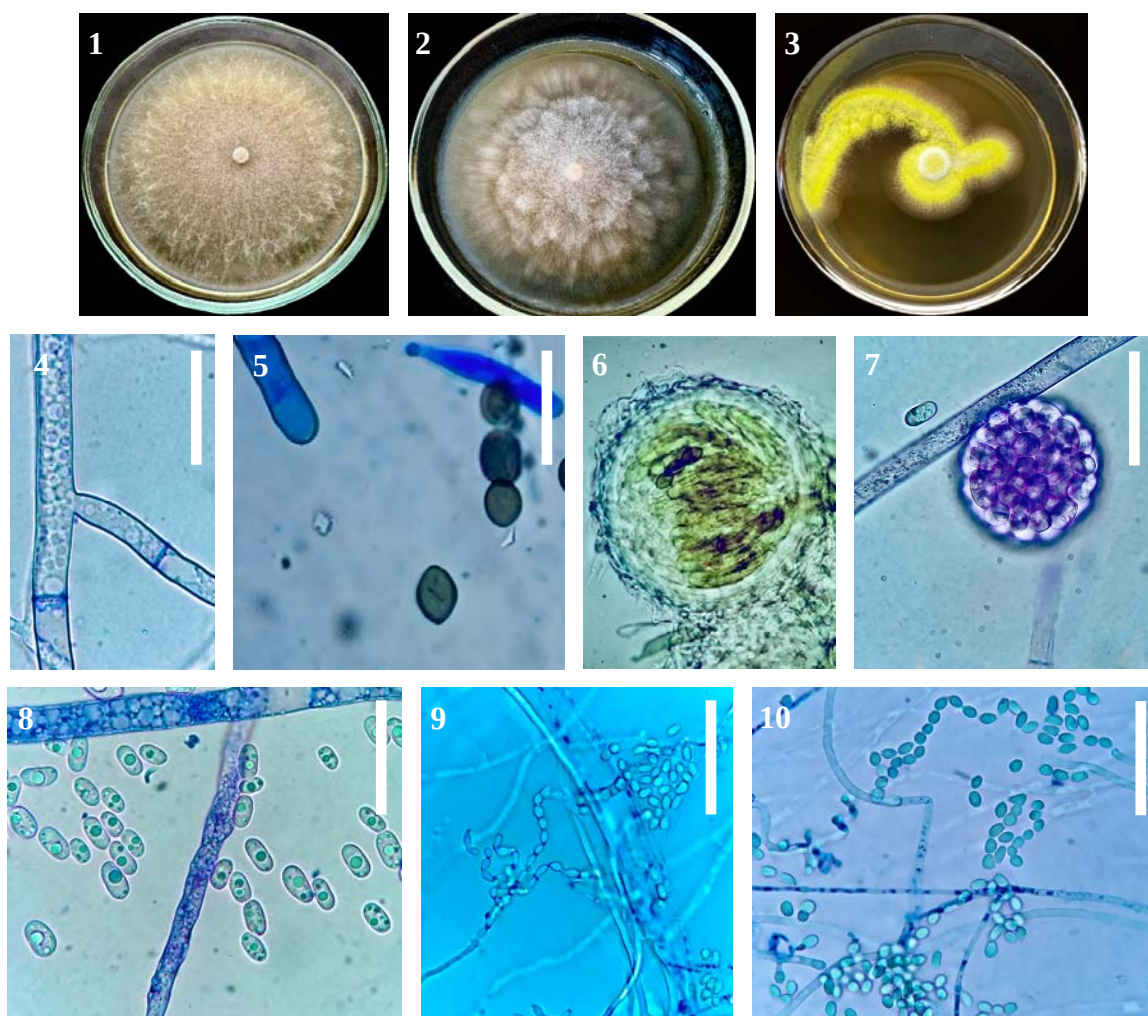


Рис. 1. Пятисуточные колонии штаммов (1 – *Neurospora tetraspora*; 2 – *Mortierella bainieri*; 3 – *Pseudogymnoascus pannorum*) на суловом агаре при 16 °С и их микроструктуры (4 – гифы *N. tetraspora*; 5 – аскоспоры *N. tetraspora*; 6 – аскома *N. tetraspora*; 7 – зрелые спорангии *M. bainieri*; 8 – спорангиоспоры *M. bainieri*; 9–10 – артроконидии и гифы *P. pannorum*. Масштабная шкала = 25 мкм

Ростовые показатели штаммов каждого вида с разной глубины существенно не отличались при температуре 12 °С. При 16 °С радиальная скорость роста была выше у штаммов из поверхностного слоя. При увеличении температуры до 24 °С рост всех изолятов существенно замедлялся на всех типах сред, особенно, на среде Чапека, вплоть до остановки роста. Это указывает на температурный предел исследуемых грибов и невозможность роста при более высоких температурах, что подтверждает их принадлежность к группе психрофиль-

ных организмов. На рис. 3 в качестве примера приведены данные радиальной скорости роста изолятов *N. tetraspora* при температуре 12, 16 и 24 °С. Штамм из верхнего слоя продемонстрировал максимальную скорость роста при 16 °С (21,4 мм/сут), тогда как у штамма из глубинного слоя (4 м) этот показатель составил 17,5 мм/сут. Увеличение температуры до 24 °С замедлило рост всех изолятов, но в большей степени штамма из поверхностного слоя (в два раза); дальнейшее увеличение температуры полностью остановило рост.

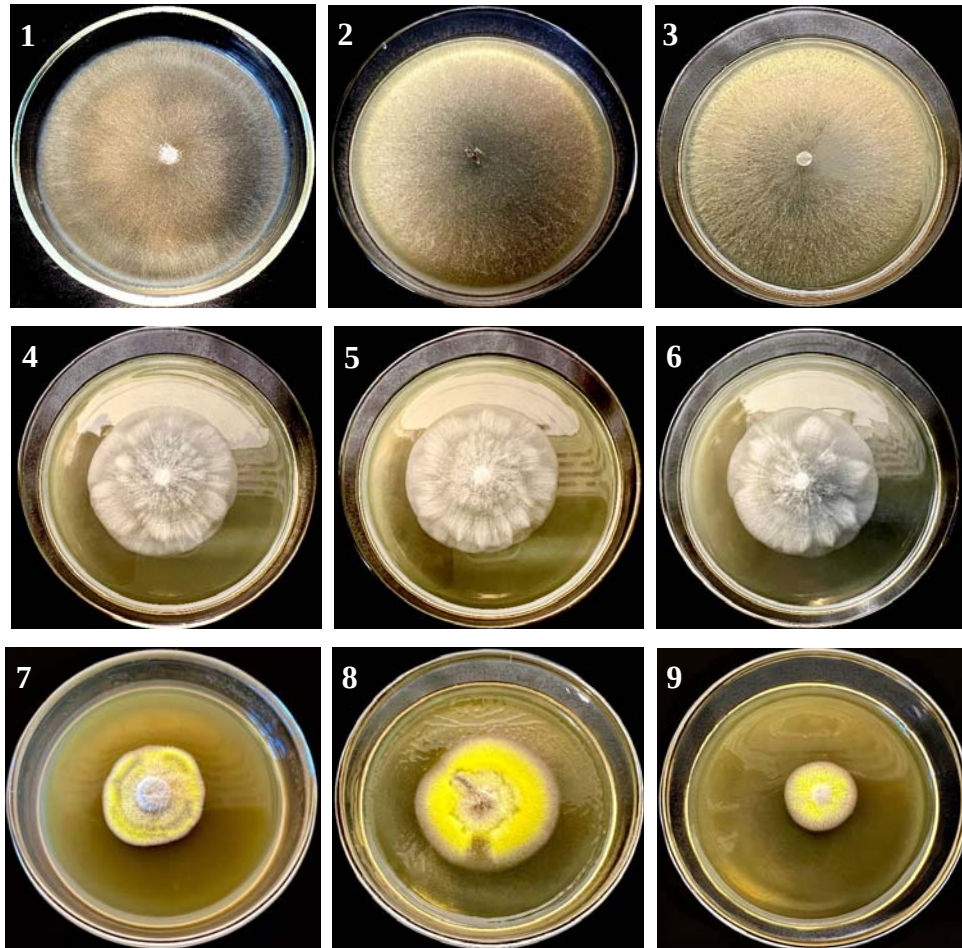


Рис. 2. Колонии штаммов *Neurospora tetraspora* (верхний ряд), *Mortierella bainieri* (средний ряд) и *Pseudogymnoascus pannorum* (нижний ряд), выделенных из глубинных слоев (слева направо: глубина 1 м, 2 м и 4 м) на сусловом агаре при 16 °С

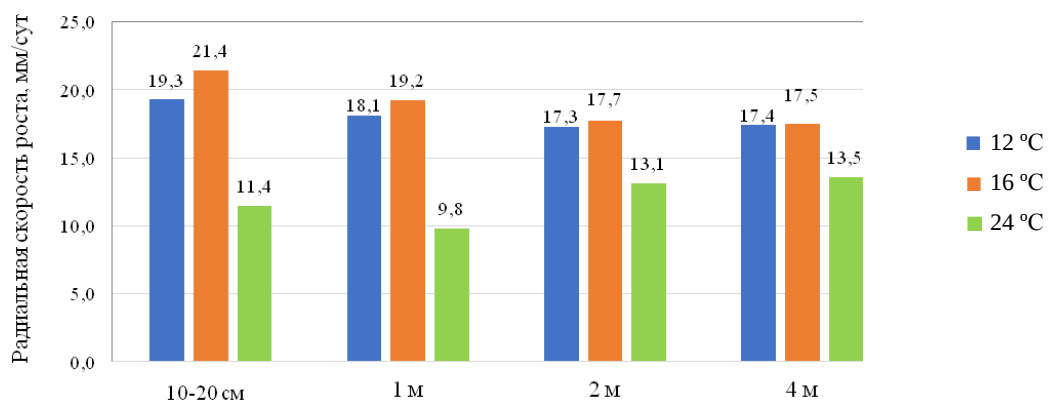


Рис. 3. Радиальная скорость роста *Neurospora tetraspora* в зависимости от температуры культивирования и глубины выделения изолятов

Таблица 1

Ферментативная активность изолятов *Neurospora tetraspora*, выделенных из различных слоев торфяного бугра пучения

Слой, глубина	Каталаза мкат·ч ⁻¹ ·мл ⁻¹	Протеаза мг·ч ⁻¹ ·мл ⁻¹	Целлюлаза ед/мл
Поверхностный, 10–20 см	0,22±0,01	3,56±0,12	0,21±0,01
Сезонно-талый, 1 м	0,22±0,01	4,27±0,11	0,21±0,01
Глубинный, 4 м	0,21±0,01	3,84±0,18	0,20±0,01

Выявлены различия ферментативной активности у изолятов одного вида на разной глубине. У всех штаммов *N. tetraspora*, *M. bainieri* и *P. pannorum* показано возрастание протеолитической активности с увеличением глубины изоляции штамма. Более высокие показатели активности целлюлазы характерны для сезонно-талого слоя у изолятов видов *M. bainieri* и *P. pannorum*. Максимальная амилазная активность характерна для штаммов этих же видов, изолированных с глубины 4 м.

Исследование ферментативной активности изолятов *N. tetraspora*, выделенных с различной глубины торфяного бугра пучения, не выявил у них существенных отличий по активности каталазы и целлюлазы (табл. 1). Показано отсутствие амилазной активности у всех изолятов и увеличение активности протеазы у штаммов, выделенных из более глубоких слоев, особенно в сезонно-талом слое.

ВЫВОДЫ

При исследовании микобиоты торфяных бугров пучения тундровых редколесий Западного Таймыра сформирована коллекция чистых культур психрофильных мицелиальных микроскопических грибов, включающая 96 изолятов из филумов Ascomycota и Mucoromycota. Грибы были изолированы на разной глубине торфяного бугра, включая поверхностный слой (10–20 см), сезонно-талый (1 м) и глубинные слои (2 и 4 м).

Максимальное количество изолятов выделено из поверхностного слоя, однако морфологическое и видовое разнообразие было выше с увеличением глубины. Три вида – *N. tetraspora*, *M. bainieri* и *P. pannorum* – были обнаружены на всех исследуемых глубинах.

Ростовые показатели штаммов каждого вида, выделенных с различной глубины, существенно не отличались в диапазоне температур 12–16 °С. Все выделенные изоляты являются психрофильными: максимальная радиальная скорость роста зафиксирована при температуре 12–16 °С; замедление роста происходит при 22–24 °С; остановка роста – при температуре выше 24 °С.

У изолятов *N. tetraspora*, *M. bainieri* и *P. pannorum* показано возрастание протеолитической активности с увеличением глубины изоляции штамма; максимальные показатели амилазы характерны для штаммов *M. bainieri* и *P. pannorum* с глубины 4 м, целлюлазы – для штаммов из сезонно-талого слоя. Наличие высокоактивных гидролитических ферментных систем у изолятов, выделенных из вечной мерзлоты,

открывает перспективы их практического использования, в том числе для отбора продуцентов ферментных препаратов, активных в условиях низких температур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Turetsky, M. R. et al. Short – term response of methane fluxes and methanogen activity to water table and soil warming manipulations in an Alaskan peatland. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2008, 113(G3). <https://doi.org/10.1029/2007JG000496>.
2. Thormann M. N. Diversity and function of fungi in peatlands: A carbon cycling perspective. *Canadian Journal of Soil Science*, 2006, 86(2), 281–293. <https://doi.org/10.4141/S05-082>.
3. Василенко О. В. и др. Анализ экспрессии генов у грибов-экстремофилов *Pseudogymnoascus pannorum* с использованием RNA-seq для изучения стратегий выживания в неблагоприятных условиях среды // Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов: материалы Первой Пущинской школа-конференция. Пущино. 2014. С. 132–134.
4. Weedon J. T. et al. Temperature sensitivity of peatland C and N cycling: Does substrate supply play a role? *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, 61, 109–120. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.02.026>.
5. Margesin R., Miteva V. Diversity and ecology of psychrophilic microorganisms. *Research in Microbiology*, 2011, 162(3), 346–361. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2010.12.004>.
6. Turunen J. et al. Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland–application to boreal and subarctic regions. *The Holocene*, 2002, 12(1), 69–80.
7. Peay K. G., Kennedy P. G., Talbot J. M. Dimensions of biodiversity in the Earth's mycobiome. *Nature Reviews Microbiology*, 2016, 14(7), 434–447.
8. Koch A. M. et al. A field method for sampling soil biodiversity. *Applied Soil Ecology*, 2004, 26(2), 181–190.
9. Gittel Antje et al. Site- and horizon-specific patterns of microbial community structure and enzyme activities in permafrost-affected soils of Greenland. *Frontiers in Microbiology* 5, 2014.
10. White T. J. et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In *PCR protocols: a guide to methods and applications*. Academic Press, 1990, 315–322.
11. Vermelho Alane & Couri Sonia. *Methods to Determine Enzymatic Activity*. Bentham Science Publishers, 2013, 332.
12. Margesin R., Miteva V. Diversity and ecology of psychrophilic microorganisms. *Research in Microbiology*, 2011, 162(3), 346–361.

13. Инишева Л. И., Ивлева С. Н., Щербаклова Т. А. Руководство по определению ферментативной активности торфяных почв и торфов. Томск : Изд-во Том. ун-та. 2003. 122 с.
14. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М. : Наука, 2005. 252 с.
15. Martorell M. M. et al. Biodiversity and Enzymes Bioprospection of Antarctic Filamentous Fungi. *Antarctic Science*, 2019, 31(1): 3–12. doi: 10.1017/S0954102018000421.
16. Kasana R. C. et al. A Rapid and Easy Method for the Detection of Microbial Cellulases on Agar Plates Using Gram's Iodine. *Current Microbiology*, 2008, 57, 503–507.
17. Джалолов И. И. Изучение микромицетов, выделенных из поверхностного слоя торфяного бугра пучения в Арктике // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием), Красноярск, 18–19 апреля 2024 года. Красноярск : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», 2023. С. 198–200.
18. Исследование культивируемых микромицетов в торфяных буграх пучения в Арктике / И. И. Джалолов, Ю. А. Литовка, А. А. Тимофеев, И. Н. Павлов // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения : сборник материалов по итогам Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 21 октября 2022 года. Красноярск : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», 2023. С. 34–36. EDN JIQEPY.
19. Микромицеты Арктики: биоразнообразие и биотехнологический потенциал / И. И. Джалолов, Ю. А. Литовка, Н. В. Фомина, И. Н. Павлов // III Юдахинские чтения : сборник научных материалов, Архангельск, 25–28 июня 2024 года. Архангельск: КИРА, 2024. С. 225–227. EDN EOULOV.
20. Джалолов И. И. Культивируемые микромицеты, выделенные из глубинных образцов торфяного бугра пучения в Арктике // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием), Красноярск, 20–21 апреля 2023 года. Красноярск : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», 2023. С. 283–285. EDN UWMWFO.
21. Gessler N. N., Egorova A. S., Belozerskaya T. A. Melanin pigments of fungi under extreme environmental conditions (Review). *Appl Biochem Microbiol*, 2014, 50, 105–113. <https://doi.org/10.1134/S0003683814020094>.
22. Hassan N. et al. Psychrophilic and psychrotrophic fungi: a comprehensive review. *Rev Environ Sci Biotechnol*, 2016, 15, 147–172. <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9395-9>.
23. Robinson C. H. Cold adaptation in Arctic and Antarctic fungi. *New Phytologist*, 2001, 151, 341–353.
24. Selbmann L. et al. Fungi at the edge of life: Cryptoendolithic black fungi from Antarctic desert. *Studies in mycology*, 2005, 51, 1–32.
25. Clemmensen K. E. et al. Roots and associated fungi drive long-term carbon sequestration in boreal forest. *Science*, 2013, 339(6127), 1615–1618.
26. Antipova T. V. et al. The Potential of Arctic Pseudogymnoascus Fungi in the Biosynthesis of Natural Products. *Fermentation*. 2023; 9(8):702. <https://doi.org/10.3390/fermentation9080702>.

REFERENCES

1. Turetsky, M. R. et al. Short term response of methane fluxes and methanogen activity to water table and soil warming manipulations in an Alaskan peatland. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2008, 113(G3). <https://doi.org/10.1029/2007JG000496>.
2. Thormann, M. N. Diversity and function of fungi in peatlands: A carbon cycling perspective. *Canadian Journal of Soil Science*, 2006, 86(2), 281–293. <https://doi.org/10.4141/S05-082>.
3. Vasilenko O.V. i dr. Analiz ekspressii genov u gribov – ekstremofilov Pseudogymnoascus pannorum s ispol'zovaniyem RNA - seq dlya izucheniya strategiy vyzhivaniya v neblagopriyatnykh usloviyakh sredy // Biokhimiya, fiziologiya i biosfernaya rol' mikroorganizmov: materialy Pervoy Pushchinskoy shkola-konferentsiya. Pushchino. 2014. S.132–134.
4. Weedon, J. T. et al. Temperature sensitivity of peatland C and N cycling: Does substrate supply play a role? *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, 61, 109–120. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.02.026>.
5. Margesin, R.; Miteva, V. Diversity and ecology of psychrophilic microorganisms. *Research in Microbiology*, 2011, 162(3), 346–361. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2010.12.004>.
6. Turunen, J. et al. Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland–application to boreal and subarctic regions. *The Holocene*, 2002, 12(1), 69–80.
7. Peay, K. G.; Kennedy, P. G.; Talbot, J. M. Dimensions of biodiversity in the Earth's mycobiome. *Nature Reviews Microbiology*, 2016, 14(7), 434–447.
8. Koch, A. M. et al. A field method for sampling soil biodiversity. *Applied Soil Ecology*, 2004, 26(2), 181–190.
9. Gittel, Antje et al. Site- and horizon-specific patterns of microbial community structure and enzyme activities in permafrost-affected soils of Greenland. *Frontiers in Microbiology* 5, 2014.
10. White, T. J. et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In *PCR protocols: a guide to methods and applications*. Academic Press, 1990, 315–322.
11. Vermelho, Alane & Couri, Sonia. *Methods to Determine Enzymatic Activity*. Bentham Science Publishers, 2013, 332.
12. Margesin, R.; Miteva, V. Diversity and ecology of psychrophilic microorganisms. *Research in Microbiology*, 2011, 162(3), 346–361.
13. Inisheva L. I., Ivleva S. N., Shcherbakova T. A. *Rukovodstvo po opredeleniyu fermentativnoy aktivnosti*

torfyanykh pochv i torfov. Tomsk: Izd-vo Tom. Un-ta. 2003. 122 s.

14. Khaziyev F. Kh. Metody pochvennoy enzimologii. M.: Nauka, 2005. 252 s.

15. Martorell, M. M. et al. Biodiversity and Enzymes Bioprospection of Antarctic Filamentous Fungi. *Antarctic Science*, 2019, 31(1): 3–12. doi: 10.1017/S0954102018000421.

16. Kasana, R. C. et al. A Rapid and Easy Method for the Detection of Microbial Cellulases on Agar Plates Using Gram's Iodine. *Current Microbiology*, 2008, 57, 503–507.

17. Dzhallolov, I. I. Izucheniye mikromitsetov, vydelennykh iz poverkhnostnogo sloya torfyanogo bugra pucheniya v Arktike / I. I. Dzhallolov // *Molodyye uchenyye v reshenii aktual'nykh problem nauki : Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (s mezhdunarodnym uchastiyem)*, Krasnoyarsk, 18–19 aprelya 2024 goda. Krasnoyarsk : Federal'noye gosudarstvennoye byudzhethnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya «Sibirskiy gosudarstvennyy universitet nauki i tekhnologii imeni akademika M. F. Reshetneva», 2023. – S. 198–200.

18. Issledovaniye kul'tiviruyemykh mikromitsetov v torfyanykh bugrakh pucheniya v Arktike / I. I. Dzhallolov, Yu. A. Litovka, A. A. Timofeyev, I. N. Pavlov // *Lesnoy i khimicheskiy komplekсы – problemy i resheniya : Sbornik materialov po itogam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Krasnoyarsk, 21 oktyabrya 2022 goda. – Krasnoyarsk : Federal'noye gosudarstvennoye byudzhethnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya «Sibirskiy gosudarstvennyy universitet nauki i tekhnologii imeni akademika M. F. Reshetneva», 2023. S. 34–36. EDN JIQEPY.

19. Mikromitsety Arktiki: bioraznoobraziye i biotekhnologicheskyy potentsial / I. I. Dzhallolov, Yu. A. Litovka, N. V. Fomina, I. N. Pavlov // *III Yudakhinskiye chteniya : sbornik nauchnykh materialov*, Arkhangel'sk,

25–28 iyunya 2024 goda. Arkhangel'sk: KIRA, 2024. S. 225–227. EDN EOULOV.

20. Dzhallolov, I. I. Kul'tiviruyemye mikromitsety, vydelennyye iz glubinnykh obraztsov torfyanogo bugra pucheniya v Arktike // *Molodyye uchenyye v reshenii aktual'nykh problem nauki : Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (s mezhdunarodnym uchastiyem)*, Krasnoyarsk, 20–21 aprelya 2023 goda. Krasnoyarsk : Federal'noye gosudarstvennoye byudzhethnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya «Sibirskiy gosudarstvennyy universitet nauki i tekhnologii imeni akademika M. F. Reshetneva», 2023. S. 283–285. EDN UWMWFO.

21. Gessler, N. N., Egorova, A. S.; Belozerskaya, T. A. Melanin pigments of fungi under extreme environmental conditions (Review). *Appl Biochem Microbiol*, 2014, 50, 105–113. <https://doi.org/10.1134/S0003683814020094>.

22. Hassan, N. et al. Psychrophilic and psychrotrophic fungi: a comprehensive review. *Rev Environ Sci Biotechnol*, 2016, 15, 147–172. <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9395-9>.

23. Robinson, C. H. Cold adaptation in Arctic and Antarctic fungi. *New Phytologist*, 2001, 151, 341–353.

24. Selbmann, L. et al. Fungi at the edge of life: Cryptoendolithic black fungi from Antarctic desert. *Studies in mycology*, 2005, 51. 1–32.

25. Clemmensen, K. E., et al. Roots and associated fungi drive long-term carbon sequestration in boreal forest. *Science*, 2013, 339(6127), 1615–1618.

26. Antipova, T .V. et al. The Potential of Arctic Pseudogymnoascus Fungi in the Biosynthesis of Natural Products. *Fermentation*. 2023; 9(8):702. <https://doi.org/10.3390/fermentation9080702>.

© Джалолов И. И., Литовка Ю. А., Фомина Н. В., Тимофеев А. А., Арканова М. Е., Познухова С. С., Мирошникова К. А., Павлов И. Н., 2025

**ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ, ФЕРТИЛЬНОСТЬ И ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ
ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ ПЫЛЬЦЫ КЕДРОВОГО СТЛАНИКА (*PINUS PUMILA*)****И. С. Шевелева**Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79

Аннотация. Жизнеспособность и фертильность пыльцы играют ключевую роль в развитии растительного организма. Пыльца представляет собой критический этап в жизненном цикле растений, поскольку жизнеспособность пыльцы имеет решающее значение для эффективного полового размножения растений. Качество пыльцы оценивается на основе ее жизнеспособности. В данном исследовании была изучена пыльца кедрового стланика (*Pinus pumila*) собранная с кустарников, произрастающих в условиях Крайнего Севера. Для проведения селекционных работ по получению новых перспективных сортов часто возникает необходимость сохранения жизнеспособной пыльцы. Для этих целей было проведено исследование по установлению наиболее оптимальных сроков хранения жизнеспособной пыльцы для дальнейшего использования. Было установлено, что пыльца кедрового стланика может сохранять свою жизнеспособность в течение длительного времени с незначительной потерей способности к прорастанию. Также были выявлены аномалии развития пыльцевых зерен что указывает на экологическую обстановку мест где произрастает объект исследования.

Ключевые слова: *Pinus pumila*; кедровый стланик; пыльца, хранение пыльцы, жизнеспособность, фертильность.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 1, P. 27–34

**VIABILITY, FERTILITY AND OPTIMAL CONDITIONS FOR LONG-TERM STORAGE
OF SIBERIAN DWARF PINE (*Pinus pumila*)****Irina S. Sheveleva**Siberian Federal University
79, Svobodny ave., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Abstract. The viability and fertility of pollen play a key role in the development of the plant organism. Pollen represents a critical stage in the plant life cycle, as the viability of pollen is crucial for the effective sexual reproduction of plants. Pollen quality is assessed based on its viability. In this study, the pollen of Siberian dwarf pine (*Pinus pumila*) collected from shrubs growing in the Far North was studied. In order to carry out breeding work to obtain new promising varieties, it is often necessary to preserve viable pollen. For these purposes, a study was conducted to determine the most optimal shelf life of viable pollen for further use. It has been found that Siberian dwarf pine pollen can maintain its viability for a long time with a slight loss of germination ability. Anomalies in the development of pollen grains were also revealed, which indicates the ecological situation of the places where the object of research grows.

Keywords: *Pinus pumila*; Siberian dwarf pine; pollen, pollen storage, viability, fertility.

ВВЕДЕНИЕ

Кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) произрастает на северо-востоке Сибири и занимает обширный ареал от северного Прибайкалья до полуострова Камчатка. Является перспективным ореховидным видом, имеет большое экологическое и хозяйственное значение [Третьякова, 2009]. Формирование качественной пыльцы является важным фактором для обеспечения нормального оплодотворения и дальнейшего развития зародыша семян. Поэтому изучение жизнеспособности пыльцевых зерен является важным этапом для дальнейшего изучения эмбриогенеза.

Одним из важнейших элементов репродуктивной системы растений, оказывающих непосредственное

влияние на эффективность семенного размножения, являются мужские и женские гаметы [Singh, 1978; Delph et al., 1997; Runions, Owens, 1999]. У хвойных мужских гамет (пыльцевых зерен) формируется на несколько порядков больше, чем женских, они более подвержены воздействию внешних факторов и, очевидно, играют ведущую роль в гаметном отборе [Friedman, Floyd, 2001]. Жизнеспособность пыльцы зависит от особенностей генотипа, морфологических и физиологических характеристик пыльцевых зерен, химических и физических условий прорастания [Christiansen, 1972; Dawkins, Owens, 1993; Nikkanen et al., 2000]. В условиях стресса фертильность и жизнеспособность пыльцы снижаются [Владимирова и др.,

2008; Калашник, 2008]. Дефицит жизнеспособной пыльцы у растений может быть одним из основных факторов, ответственных за нарушения оплодотворения и низкую продукцию жизнеспособных семян [Arista, Talavera, 1994; Bazhina, 2018].

Эффективное управление пыльцой играет важную роль в программе селекции растений, особенно когда используется контролируемое или дополнительное опыление. Важные аспекты управления пыльцой включают сбор, обработку, хранение и использование ее в программе селекции [Caron and Powell, 1995]. Эти процессы влияют на жизнеспособность пыльцы и на успех контролируемого опыления [Jet et al., 1993; Siragars and Smit, 2000]. Для успешного контролируемого опыления хвойных деревьев, особенно рода *Pinus*, необходимо использовать высококачественную пыльцу [Moody and Jet, 1990].

Кратковременное или долгосрочное хранение относится к числу наиболее важных видов деятельности, связанных с обработкой пыльцы. Это позволяет преодолеть различия в осыпании пыльцы и восприимчивости яйцеклеток при контролируемом опылении деревьев в одной и той же местности или деревьев в далеко отстоящих друг от друга регионах [Binder et al., 1974]. Методы, используемые для извлечения пыльцы, наряду с температурой хранения, содержанием влаги в пыльце и относительной влажностью воздуха во время хранения, играют решающую роль в сохранении жизнеспособности пыльцы при хранении. Оптимальные значения этих факторов и их сочетание может различаться у отдельных групп растений в зависимости от структуры и химического состава их пыльцы.

Цель настоящих исследований заключалась в оценке качества пыльцы изучением формы и размера пыльцы кустарников *Pinus pumila*, произрастающих в условиях Крайнего Севера, в изучении влияния различных условий окружающей среды на хранение и тестирование жизнеспособности пыльцы *in vitro* и подбору оптимальных сроков хранения пыльцевых зерен.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось в 2021 и 2022 гг. в лесных массивах Иркутской области Бодайбинского района вблизи поселка Артемовского и в Билибинском районе Чукотского автономного округа на месторождении Баимка (Песчанка). Окрестности данных территорий представляют собой горно-таежную местность. В почвенном покрове преобладают бурые лесные почвы, которые характеризуются высоким содержанием органического вещества, а также минеральными и гумусными горизонтами. Также встречаются торфянистые, болотные.

Характерной особенностью климата Билибинского района Чукотского автономного округа является его муссонность, то есть сезонное влияние океана летом и материка зимой. Годовая средняя температура воздуха здесь составляет $-3,9^{\circ}\text{C}$, при этом суммарное количество осадков в год составляет около 198 мм. Зима здесь может длиться до 10 месяцев.

В свою очередь, климат Бодайбинского района характеризуется резко континентальным климатом с про-

должительной морозной зимой и коротким, но жарким летом. Среднегодовая температура здесь составляет $5,6^{\circ}\text{C}$, и годовое количество осадков достигает около 500 мм, из которых на май-август приходится 56 %.

Сбор пыльцы проводили в течение 2021 и 2022 гг. в третью декаду июня в период массового пыления кустарников *Pinus pumila* в сухую погоду. Микро-стробилы хорошо высушивали в течение нескольких дней при температуре $+25^{\circ}\text{C}$, затем из сухих микро-стробил вытряхивали пыльцу в пакеты из кальки и хранили в эксикаторе с силикагелем при температуре $0...+5^{\circ}\text{C}$. В данном исследовании определяли морфометрические параметры пыльцевых зерен (длина и высота тела, длина и высота воздушных мешков), частоту аномалий развития, жизнеспособность и фертильность пыльцы.

Фертильность пыльцы определяли по гистохимической реакции на содержание крахмала с помощью окрашивания пыльцевых зерен раствором Люголя (Дженсен, 1965).

Для определения жизнеспособности пыльцы *Pinus pumila* использовали водный раствор сахарозы в концентрациях 5, 10, 15 и 20 %. Пыльцу проращивали при температуре $+25^{\circ}\text{C}$ в течение 5 суток. Подсчитывалось число проросших пыльцевых зерен (%) и длина пыльцевых трубок (мкм). Однократное проращивание проводили по вышеописанной методике через 3, 6, 9 и 12 месяцев хранения пыльцы при температуре $0...+5^{\circ}\text{C}$.

Наблюдение микроскопических образцов осуществляли с помощью микроскопа МИКМЕД-6 ЛОМО (Санкт-Петербург, Россия) с видеонасадкой DSM510. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета Microsoft Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пыление наблюдается во второй и третьей декадах июня. Зрелая пыльца состоит из остатков двух проталиальных, сифоногенной, спермиогенной и стерильной клеток, как и у других видов рода *Pinus* [Бажина, Седаева, 2017].

Морфометрические характеристики. Наши исследования показали, что морфометрические характеристики пыльцы – ее эллипсовидная форма и наличие двух воздушных мешков – не отличаются от других представителей рода *Pinus*. Средние значения размеров пыльцы варьируют по длине от 54,3 мкм до 73,0 мкм, по высоте от 39,5 мкм до 52 мкм (табл. 1).

Наиболее крупные пыльцевые зерна формировались у деревьев с Иркутской области (длина пыльцевых зерен составляет $73,0\pm 1,0$ мкм; высота – $52\pm 0,59$ мкм), наиболее мелкие – у деревьев с Чукотки (длина пыльцевых зерен равна $54,3\pm 1,2$ мкм, высота – $39,5\pm 1,15$ мкм). Наиболее крупные размеры воздушных мешков отмечались у пыльцы деревьев с Чукотки (длина воздушного мешка составила около $37\pm 0,83$ мкм, высота – $25\pm 0,77$ мкм). Минимальные размеры воздушных мешков наблюдались у деревьев Иркутской области ($29,7\pm 1,1$ мкм по длине и $20\pm 0,92$ мкм по высоте).

Аномалии развития. Количество аномального развития пыльцевых зерен в разные годы пыления варьировались от 0 до 7,1 % (табл. 2). Больше число аномалий было обнаружено у пыльцы, собранной

в Билибинском районе Чукотского автономного округа на месторождении Баимка (Песчанка).

Самые часто встречающиеся отклонения связаны с мелкими размерами пыльцевых зерен, вызванными нарушением процесса мейоза, из-за чего часть генетического материала теряется из-за аномалий в веретене или хромосомных мутаций [Rana et al., 2013]. Также, эти аномалии могут быть связаны с экологическими условиями в районах, где произрастают деревья *Pinus pumila*.

Другие виды нарушений были зафиксированы в количестве «воздушных мешков» – с 3–4 воздушными мешками, форме воздушных мешков, а также сросшимися пыльцевыми зернами (рис. 1).

Жизнеспособность пыльцы в значительной степени зависит от содержащихся в ней питательных и физиологически активных веществ, так как в начальный период прорастания пыльцевые трубки развиваются за счет собственных запасов [Поддубная–Арнольди, 1964]. Пыльца пророщенная на питательных растворах (средах) считается жизнеспособной, если длина пыльцевых трубок превышает размеры тела пыльцевого зерна [Nak, Russel, 2004]. Проведенные исследования показали, что жизнеспособность пыльцы деревьев *Pinus pumila* была достаточно высокой как у пыльцевых зерен собранных в Билибинском районе Чукотского автономного округа на месторождении Баимка (Песчанка) так и в Иркутской области Бодайбинского

района вблизи поселка Артемовского. Проращивание на водных растворах сахарозы в концентрациях 5, 10, 15 и 20 % показало, что наилучшее прорастание пыльцы шло на концентрации 15 % водном растворе сахарозы в 2022 г. (табл. 3). Фиксировались различия жизнеспособности пыльцы кедрового стланика в зависимости от места произрастания и годом исследования: по проценту проросших пыльцевых зерен – 10–98 %, по длине пыльцевой трубки. Можно предположить что данные вариации связаны с погодно климатическими условиями года исследования, а также с экологической обстановкой и адаптациям деревьев кедрового стланика. Проведенное исследование показало, что жизнеспособность пыльцы деревьев *Pinus pumila* была достаточно высокой, как у пыльцевых зерен, собранных в Билибинском районе Чукотского автономного округа на месторождении Баимка (Песчанка), так и в Иркутской области Бодайбинского района вблизи поселка Артемовского (рис. 2).

Средняя длина пыльцевых трубок варьировалась от $86,9 \pm 10,08$ мкм до $134 \pm 5,3$ мкм, что также свидетельствует о высоком качестве пыльцы. При этом значения коэффициента вариации длины пыльцевых трубок были высокими у всех опытных деревьев.

Пыльца кедрового стланика достаточно долго сохраняет жизнеспособность при длительном хранении (до 12 месяцев) в условиях холодильной камеры при температуре $0 \dots +5$ °C (табл. 4).

Таблица 1
Морфометрические показатели пыльцы кедрового стланика

Место произрастания пыльцы	Год сбора	Длина пыльцевого зерна	Высота пыльцевого зерна	Длина воздушного мешка	Высота воздушного мешка
Иркутская обл.	2021	$65 \pm 1,1$ 5,1	$43,5 \pm 0,82$ 5,3	$29,7 \pm 1,1$ 10,0	$21,6 \pm 1,00$ 9,7
Чукотский автономный округ	2021	$54,3 \pm 1,2$ 7,2	$39,5 \pm 1,15$ 9,5	$31,6 \pm 0,7$ 15,1	$23,1 \pm 0,5$ 5,7
Иркутская обл.	2022	$73 \pm 1,0$ 6,7	$52 \pm 0,59$ 5,7	$30 \pm 1,4$ 7,6	$20 \pm 0,92$ 6,9
Чукотский автономный округ	2022	$61 \pm 1,3$ 8,2	$44 \pm 0,68$ 11,7	$37 \pm 0,83$ 10,1	$25 \pm 0,77$ 13,6

Таблица 2
Частота аномалий пыльцы кедрового стланика

Место сбора пыльцы	Год сбора	Количество пыльцевых мешков больше 2-х, %	Мелкие пыльцевые зерна, %
Иркутская обл.	2021	0–0,7	1,3–15,1
Чукотский автономный округ	2021	2,3–7,1	17,6–27,9
Иркутская обл.	2022	0,5–1,0	3,8–7,2
Чукотский автономный округ	2022	1,5–5,3	12,5–23,6

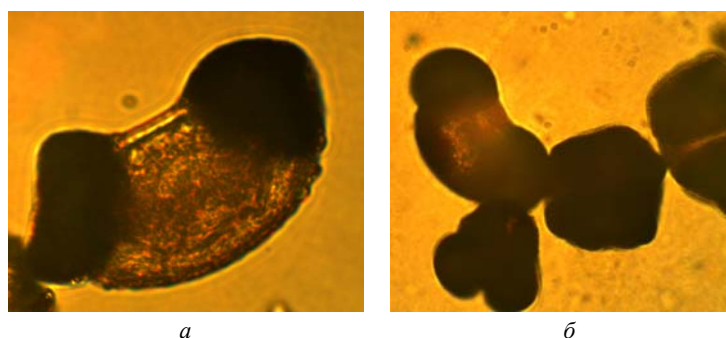


Рис. 1. Аномалии развития пыльцевых зерен кедрового стланика:
а – количество воздушных мешков более 2-х; *б* – аномальная форма и размер воздушных мешков



Рис. 2. Проросшие пыльцевые зерна кедрового стланика

Таблица 3
Жизнеспособность пыльцы кедрового стланика

Место сбора пыльцы	Год сбора	Концентрация сахарозы, %	Прорастание, %	Длина пыльцевой трубки, мкм
Иркутская обл.	2021	5	30	86,9±10,08
		10	56	95,2±6,3
		15	90	112±11,08
		20	72	98±4,1
Чукотский автономный округ	2021	5	15	85±5,0
		10	43	100±11,3
		15	87	106±8,1
		20	68	88,4±5,8
Иркутская обл.	2022	5	35	91±4,9
		10	61	115±9,4
		15	98	127±9,3
		20	80	118±7,5
Чукотский автономный округ	2022	5	10	92±11,9
		10	50	92±9,8
		15	93	134±5,3
		20	78	120±6,2

Таблица 4
Жизнеспособность пыльцы кедрового стланика спустя 3, 6, 9 и 12 месяцев хранения

Место сбора пыльцы	Год сбора	Хранение пыльцы, мес.	Прорастание, %
Иркутская обл.	2021	3	85
Чукотский автономный округ	2021	3	83
Иркутская обл.	2021	6	80
Чукотский автономный округ	2021	6	80
Иркутская обл.	2021	9	72
Чукотский автономный округ	2021	9	78
Иркутская обл.	2021	12	45
Чукотский автономный округ	2021	12	58
Иркутская обл.	2022	3	93
Чукотский автономный округ	2022	3	90
Иркутская обл.	2022	6	81
Чукотский автономный округ	2022	6	85
Иркутская обл.	2022	9	74
Чукотский автономный округ	2022	9	78
Иркутская обл.	2022	12	70
Чукотский автономный округ	2022	12	75

Таблица 5
Определение фертильности пыльцы кедрового стланика

Место сбора пыльцы	Год сбора	Фертильная пыльца, %	Стерильная пыльца, %
Иркутская обл.	2021	87	13
Чукотский автономный округ	2021	90	10
Иркутская обл.	2022	78	22
Чукотский автономный округ	2022	96	4

Дольше всего жизнеспособность пыльцы сохранялась у пыльцы собранной в 2022 г. в Билибинском районе Чукотского автономного округа – 75 % прорастания спустя 12 месяцев хранения. Худшая жизнеспособность была зафиксирована в 2021 г. у пыльцы собранной в Иркутской области Бодайбинского района – 45 % прорастания спустя 12 месяцев хранения. Очевидно, на процессы микроспорогенеза *Pinus pumila* оказали влияние метеорологические и климатические условия произрастания опытных деревьев.

Фертильность пыльцы. Пыльца большинства представителей голосеменных относится к «крахмальному типу». Гистохимический анализ пыльцевых зерен показал положительную реакцию на накопление крахмала в пыльцевом зерне (рис. 3), окрашивание было интенсивным. Однако у пыльцы собранной в Билибинском районе Чукотского автономного округа на месторождении Баимка (Песчанка) окрашивание было более интенсивным что, скорее всего, связано с суровыми климатическими условиями произрастания деревьев, так как крахмал является важным питательным веществом, что способствует быстрому росту и повышенному репродуктивному потенциалу (табл. 5).

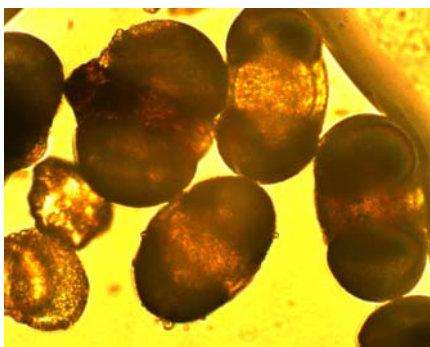


Рис. 3. Определение фертильности пыльцы кедрового стланика йодным методом

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Управление пыльцой играет важную роль в процессе селекции растений, особенно в случае контролируемого или дополнительного опыления. Этот процесс включает в себя сбор, обработку, хранение и использование пыльцы в программах скрещивания. Эффективное управление пыльцой может значительно повлиять на ее жизнеспособность и, следовательно, на успешность контролируемого опыления [Jett et al., 1993, Siregar et al., 2000]. Важно отметить, что контролируемое опыление хвойных деревьев, особенно сосен, требует высококачественной пыльцы из-за его долгого и затратного процесса. Оценка жизнеспособности и морфологии пыльцы дает селекционеру воз-

можность оценить влияние управления на качество пыльцы. Исследования показали что существует связь между морфологией пыльцы *Pinus caribaea* и ее жизнеспособностью, что может быть использовано для оценки пригодности пыльцы в процессе селекции [Doyle et al., 2002].

Первым шагом в оценке качества пыльцы необходимо изучить форму и размер пыльцы различных видов, которые используются в контролируемом опылении. Для некоторых родов это может быть полезным инструментом для определения различий между видами и понимания процесса опыления, как для чистых видов, так и межвидовых гибридов.

Весь процесс размножения зависит от способности пыльцевого зерна к прорастанию. Для этого необходимо потратить энергию и образовать клеточные и структурные материалы в пыльцевой трубке по мере ее роста. Рост пыльцевой трубки *in vivo* состоит из двух фаз – начальной автотрофной фазы и последующей гетеротрофной [Bellani et al., 1985]. Во время автотрофной фазы энергия и строительные материалы, такие как сахара и крахмалы, должны обеспечиваться за счет запасов в самом пыльцевом зерне, поскольку только некоторые дополнительные вещества могут всасываться из окружающих тканей [Willemse, 1968, Bellani et al., 1985, Delph et al., 1997]. Во время гетеротрофной фазы мобилизуются запасы полисахаридов и индуцируются ферменты для метаболизма углеводов вблизи растущей пыльцевой трубки [Roggen, 1967].

Один из ключевых факторов, влияющих на репродуктивный успех голосеменных растений – это жизнеспособность пыльцы. Пыльца очень уязвима из-за своего распространения по воздуху и медленного созревания что делает ее подверженной воздействию различных загрязнителей окружающей среды [Wright, 1976; Pardi et al. 1996]. Важное значение также имеют внутренние факторы, такие как запасы липидов и углеводов, а также условия хранения пыльцы [Van Bilsen et al., 1994; Pacini 1996]. Исследования показали, что с повышением времени хранения пыльцы наблюдается незначительное снижение ее жизнеспособности, что согласуется с ранее проведенными исследованиями [Van Bilsen et al., 1994]. Ученые связывают это с дезертификацией фосфолипидов, что может нарушить целостность мембран пыльцы. Однако полученные данные показывают, что пыльцу кедрового стланика можно хранить длительное время без значительного снижения жизнеспособности. Подобные результаты были получены Clifford E. Ahlgren et al., 1978. Приведены методы и результаты сушки для хранения пыльцы *Pinus strobus*, *Pinus koraiensis*, *Pinus sembra* и *Pinus wallichiana*. В тестах *in vitro* пыльца всех видов сохраняла жизнеспособность в течение 5

и более лет. Пыльца *Pinus strobus* сохраняла жизнеспособность в течение 8 лет, а *Pinus cembra* – 12 и более лет.

Пыльцевые зерна самых разных видов успешно прорастают в растворах сахара. Сахароза, вероятно, является лучшим и наиболее часто используемым источником углерода и энергии для получения пыльцы. Она обеспечивает и поддерживает надлежащую осмотическую среду для прорастания пыльцы и продолжения роста пыльцевых трубок. Полученные результаты показывают, что для наилучшего прорастания пыльцы кедрового стланика необходима водная среда, содержащая 15 % сахарозы. Что является оптимальным для большинства видов *Pinus*.

Аномально сформированные пыльцевые зерна наблюдались у современных хвойных деревьев в условиях многочисленных экологических стрессов, таких как резкое понижение температуры [Christiansen 1960; Chira, 1967], потепление и иссушение климата [Бажина и др., 2007], повышенное ультрафиолетовое излучение [Bensa et al., 2018], радиационное загрязнение [Sirenko, 2001], промышленного загрязнения [Renzoni et al., 1990], геохимическое загрязнение [Третьякова и др., 2004].

Аномалии развития пыльцевых зерен кедрового стланика зафиксировано в достаточно низком количестве (0–7,1 %). Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что опытные деревья кедрового стланика произрастают в достаточно чистых экологических местностях Иркутской области и Чукотский автономный округа, несмотря на многочисленные золотодобывающие компании в округе, которые влияют на экологическую обстановку.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования пыльцевых зерен кедрового стланика показали, что условия окружающей среды, в которых находилась пыльца, играют важную роль в прорастании и жизнеспособности пыльцы. Аномалии развития пыльцевых зерен кедрового стланика зафиксировано в достаточно низком количестве. Опытные деревья кедрового стланика произрастают в достаточно чистых экологических местностях Иркутской области и Чукотский автономный округа.

Полученные данные показывают, что пыльцу кедрового стланика можно хранить длительное время без значительного снижения жизнеспособности. Для наилучшего прорастания пыльцы кедрового стланика необходима водная среда, содержащая 15 % сахарозы. Для проведения контролируемого опыления пыльцу *Pinus pumila* возможно сохранять в течение года в условиях холодильной камеры при температуре не превышающей +4 °C без значительного снижения жизнеспособности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бажина Е. В., Квитко О. В., Муратова Е. Н. Мейоз при микроспорогенезе и жизнеспособность пыльцы у пихты сибирской в среднегорье Восточного Саяна // Лесоведение. 2007. № 1. С. 57–64.
2. Бажина Е. В., Седаева М. И. Жизнеспособность пыльцы некоторых видов *Picea* (Pinaceae) в условиях

Красноярска // Ботанический журн. 2017. Т. 102. № 6. С. 768–779.

3. Муниципальное образование «Билибинский муниципальный район»: офиц. сайт. Чукотский Автономный округ, г. Билибино. URL: <https://www.bilchao.ru/>.

4. Владимирова О. С., Муратова Е. Н., Седаева М. И. Пыльца ели сибирской, произрастающей в различных экологических условиях // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25. № 1–2. С. 98–102.

5. Калашник Н. А., Ясовиева С. М., Преснухина Л. П. Аномалии пыльцы хвойных видов деревьев при промышленном загрязнении на Южном Урале // Лесоведение. 2008. № 2. С. 33–40.

6. Третьякова И. Н., Новоселова Н. В., Череповский Ю. Н. (2004) Особенности эмбрионального развития у кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) с однолетним циклом развития женской шишки в горах Западного Саяна. Физиология растений. 51(1): 134–141.

7. Третьякова И. Н., Ижболдина М. В. (2009) Индукция соматического эмбриогенеза у кедра сибирского. Лесоведение, 5: 43–49 [Tret'yakova I. N., Izhboldina M. V. (2009) Induction of Siberian pine somatic embryogenesis. Russian Journal of Forest Science [Lesovedenie], 5: 43–49.

8. Arista M., Talavera S. Pollen Dispersal Capacity and Pollen Viability of *Abies pinsapo* Boiss. // Silvae Genetica. 1994. Vol. 43. P. 155–158.

9. Bazhina E. Siberian fir seed productivity in V. N. Sukachev Institute of Forest Arboretum, Russia // Proceedings of the EuroGard VII Congress European Botanic gardens in the decade on biodiversity challenges and responsibilities in the count-down towards 2020 / Eds. E. Joly, D. Larpin, V. Delmas, B. Carmine. Paris : BGCI, 2018. P. 312–32.

10. Bellani L. M., Pacini E., Franchi G. G. (1985) In vitro pollen grain germination and starch content in species with different reproductive cycle. I. *Lycopersicon peruvianum* Mill. Acta Botanica Neerlandica 34: 59–64.

11. Caron G. E., Powell G. R. (1995) Pollen sizing in Jack Pine (*Pinus banksiana* Lamb.) with a hemocytometer. Silvae Genetica 44: 96–103.

12. Christiansen H. On the effect of low temperature on meiosis and pollen fertility in *Larix decidua* Mill. // Silvae Genet. 1960. B. 9. Hf. 3. S. 72–78.

13. Christiansen H. On the development of pollen and the fertilization mechanism of *Picea abies* (L.) Karst. // Silvae Genetica. 1972. Vol. 21. P. 5.

14. Clifford E. Ahlgren, Isabel F. Ahlgren Forest Science, 1978. Vol. 24, Issue 1, March, P. 100–102,

15. Dawkins M. D., Owens J. N. In vitro and in vivo pollen hydration, germination, and pollen-tube growth in white spruce, *Picea glauca* (Moench) Voss. // International J. Plant Sciences. 1993. Vol. 154. P. 506–521.

16. Delph L. F., Johannsson M. H., Stephenson A. G. How environmental factors affect pollen performance: ecological and evolutionary perspectives // Ecology. 1997. Vol. 78. P. 1632.

17. Doyle J. H., Verhoeven R. L., Bester C., Wingfield B. D., Botha A.-M. (2002) Germ-furrow morphology and storage conditions determine the degree of viability of *Pinus caribaea* pollen. South African Journal of Botany 68: 457–463.

18. Friedman W. E., Floyd S. K. The Origin of Flowering Plants and Their Reproductive Biology // Evolution. 2001. Vol. 55. P. 217–231.

19. Hak O., Russell J. H. 2004. Environmental effects on yellow-cedar pollen quality. For. Gen. Council BC. Ext. Note 5.

20. Jett J. B., Bramlett D. L., Webber J. E., Eriksson U. (1993) Pollen collection, storage and testing. In: Bramlett D. L. (ed.) Advances in Pollen Management. Agriculture Handbook No. 698. United States Department of Agriculture, Washington DC, pp. 41–46.

21. Moody W. R., Jett J. B. (1990) Effects of pollen viability and vigor on seed production of loblolly pine. Southern Journal of Applied Forestry 14: 33–38.

22. Nikkanen T., Aronen T., Häggman H., Venäläinen M. Variation in pollen viability among *Picea abies* genotypes – potential for unequal paternal success // Theoretical and Applied Genetics. 2000. Vol. 101. P. 511–518.

23. Pardi M. L., Viegi L., Renzoni G. C., Franchi G. G., Pacini E. (1996) Effects of acidity on the insoluble polysaccharide content of *Pinus pinea* L. and *Pinus pinaster* Aiton. Grana 35: 240–247.

24. Rana P. K., Kumar P., Singhal V. K. Spindle irregularities, chromatin transfer, and chromatin stickiness during male meiosis in *Anemone tetrasepala* (*Ranunculaceae*) // Turkish J. Botany. 2013. № 37. P. 167–176.

25. Roggen H. P. J. R. (1967) Changes in enzyme activities during the progame phase in *Petunia hybrida*. Acta Botanica Neerlandica 16: 1–31.

26. Runions C. J., Owens J. N. Sexual reproduction in interior spruce (*Pinaceae*). I. Pollen germination to archegonial maturation // International J. Plant Sciences. 1999. Vol. 160. P. 631–640.

27. Singh H. Embryology of gymnosperms. Berlin : Gerbruder Borntraeger, 1978. 302 p.

28. Siregar I. Z., Sweet G. B. (2000) The impact of extraction and storage conditions on the viability of radiata pine pollen. Silvae Genetica 49: 10–14.

29. Van Bilsen D. G. J. L., Van Roekel T., Hoekstra F. A. (1994) Declining viability and lipid degeneration during pollen storage. Sexual Plant Reproduction 7: 303–310.

30. Willemse M. T. M. (1968) Development of the micro- and megagametophyte of *Pinus silvestris* L. Acta Botanica Neerlandica 17: 330–331.

31. Wright J. W. (1976) Introduction to Forest Genetics. Academic Press, Inc. New York.

REFERENCES

1. Bazhina Ye. V., Kvitko O. V., Muratova Ye. N. Meyoz pri mikrosporigeneze i zhiznesposobnost' pyl'tsy u pikhty sibirskoy v srednegor'ye Vostochnogo Sayana // Lesovedeniye. 2007. № 1. S. 57–64.

2. Bazhina Ye. V., Sedayeva M. I. Zhiznesposobnost' pyl'tsy nekotorykh vidov Picea (Pinaceae) v usloviyakh Krasnoyarska // Botanicheskiy zhurn. 2017. T. 102. № 6. S. 768–779.

3. Municipal formation “Bilibinsky municipal district” : official. website. The Chukotka Autonomous Region, Bilibino. URL: <https://www.bilichao.ru/>.

4. Vladimirova O. S., Muratova Ye. N., Sedayeva M. I. Pyl'tsa yeli sibirskoy, proizrastayushchey v razlichnykh

ekologicheskikh usloviyakh // Khvoynyye boreal'noy zony. 2008. T. 25. № 1–2. S. 98–102.

5. Kalashnik N. A., Yasoviyeva S. M., Presnukhina L. P. Anomalii pyl'tsy khvoynykh vidov derev'yev pri promyshlennom zagryaznenii na Yuzhnom Urale // Lesovedeniye. 2008. № 2. S. 33–40.

6. Tret'yakova I. N., Novoselova N. V., Cherepovskiy Yu. N. (2004) Osobennosti embrional'nogo razvitiya u kedra sibirskogo (*Pinus sibirica* Du Tour) s odnoletnim tsiklom razvitiya zhenskoy shishki v gorakh Zapadnogo Sayana. Fiziologiya rasteniy 51(1): 134–141.

7. Tret'yakova I. N., Izhboldina M. V. (2009) Induksiya somaticheskogo embriogeneza u kedra sibirskogo. Lesovedeniye, 5: 43–49 [Tret'yakova I. N., Izhboldina M. V. (2009) Induction of Siberian pine somatic embryogenesis. Russian Journal of Forest Science [Lesovedenie], 5: 43–49.

8. Arista M., Talavera S. Pollen Dispersal Capacity and Pollen Viability of *Abies pinsapo* Boiss. // Silvae Genetica. 1994. Vol. 43. P. 155–158.

9. Bazhina E. Siberian fir seed productivity in V. N. Sukachev Institute of Forest Arboretum, Russia // Proceedings of the EuroGard VII Congress European Botanic gardens in the decade on biodiversity challenges and responsibilities in the count-down towards 2020 / Eds. Joly E., Larpin D., Delmas V., Carmine B. Paris: BGCI, 2018. P. 312–32.

10. Bellani L. M., Pacini E., Franchi G. G. (1985) In vitro pollen grain germination and starch content in species with different reproductive cycle. I. *Lycopersicon peruvianum* Mill. Acta Botanica Neerlandica 34: 59–64.

11. Caron G. E., Powell G. R. (1995) Pollen sizing in Jack Pine (*Pinus banksiana* Lamb.) with a hemocytometer. Silvae Genetica 44: 96–103.

12. Christiansen H. On the effect of low temperature on meiosis and pollen fertility in *Larix decidua* Mill. // Silvae Genet. 1960. B. 9. Hf. 3. S. 72–78.

13. Christiansen H. On the development of pollen and the fertilization mechanism of *Picea abies* (L.) Karst. // Silvae Genetica. 1972. Vol. 21. P. 5.

14. Clifford E., Ahlgren, Isabel F. Ahlgren Forest Science, 1978, Vol. 24, Issue 1, March, Pages 100–102.

15. Dawkins M. D., Owens J. N. In vitro and in vivo pollen hydration, germination, and pollen-tube growth in white spruce, *Picea glauca* (Moench) Voss. // International J. Plant Sciences. 1993. Vol. 154. P. 506–521.

16. Delph L. F., Johannsson M. H., Stephenson A. G. How environmental factors affect pollen performance: ecological and evolutionary perspectives // Ecology. 1997. Vol. 78. P. 1632.

17. Doyle J. H., Verhoeven R. L., Bester C., Wingfield B. D., Botha A.-M. (2002) Germ-furrow morphology and storage conditions determine the degree of viability of *Pinus caribaea* pollen. South African Journal of Botany 68: 457–463.

18. Friedman W. E., Floyd S. K. The Origin of Flowering Plants and Their Reproductive Biology // Evolution. 2001. Vol. 55. P. 217–231.

19. Hak O., J. H. Russell. 2004. Environmental effects on yellow-cedar pollen quality. For. Gen. Council BC. Ext. Note 5.

20. Jett J. B., Bramlett D. L., Webber J. E., Eriksson U. (1993) Pollen collection, storage and testing. In: Bramlett DL (ed) *Advances in Pollen Management*. Agriculture Handbook No. 698. United States Department of Agriculture, Washington DC, pp. 41–46.
21. Moody W. R., Jett J. B. (1990) Effects of pollen viability and vigor on seed production of loblolly pine. *Southern Journal of Applied Forestry* 14: 33–38.
22. Nikkanen T., Aronen T., Häggman H., Venäläinen M. Variation in pollen viability among *Picea abies* genotypes – potential for unequal paternal success // *Theoretical and Applied Genetics*. 2000. Vol. 101. P. 511–518.
23. Pardi M. L., Viegi L., Renzoni G. C., Franchi G. G., Pacini E. (1996) Effects of acidity on the insoluble polysaccharide content of *Pinus pinea* L. and *Pinus pinaster* Aiton. *Grana* 35: 240–247.
24. Rana P. K., Kumar P., Singhal V. K. Spindle irregularities, chromatin transfer, and chromatin stickiness during male meiosis in *Anemone tetrasepala* (Ranunculaceae) // *Turkish J. Botany*. 2013. № 37. P. 167–176.
25. Roggen H. P. J. R. (1967) Changes in enzyme activities during the progame phase in *Petunia hybrida*. *Acta Botanica Neerlandica* 16: 1–31.
26. Runions C. J., Owens J. N. Sexual reproduction in interior spruce (Pinaceae). I. Pollen germination to archegonial maturation // *International J. Plant Sciences*. 1999. Vol. 160. P. 631–640.
27. Singh H. *Embryology of gymnosperms*. Berlin: Gerbruder Borntraeger, 1978. 302 p.
28. Siregar I. Z., Sweet G. B. (2000) The impact of extraction and storage conditions on the viability of radiata pine pollen. *Silvae Genetica* 49: 10–14.
29. Van Bilsen D. G. J. L., Van Roekel T., Hoekstra F. A. (1994) Declining viability and lipid degeneration during pollen storage. *Sexual Plant Reproduction* 7: 303–310.
30. Willemse M. T. M. (1968) Development of the micro- and macrogametophyte of *Pinus silvestris* L. *Acta Botanica Neerlandica* 17: 330–331.
31. Wright J. W. (1976) *Introduction to Forest Genetics*. Academic Press, Inc. New York.

© Шевелева И. С., 2025

Поступила в редакцию 20.10.2024
Принята к печати 18.02.2025

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕРЕВЬЕВ В ПРИРОДНОМ РЕКРЕАЦИОННОМ КОМПЛЕКСЕ «СОСНОВЫЙ БОР ОСТРОВА ЯГРЫ»*

**П. А. Феклистов¹, А. В. Грязькин², О. И. Гаврилова³, Ж. А. Бруева⁴,
Е. П. Верховцева⁴, И. Н. Болотов¹**

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук
Российская Федерация, 163020, г. Архангельск, пр. Никольский, 20
E-mail: ¹pfeklistov@yandex.ru

²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова
Российская Федерация, 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер, 5, литер У

³Петрозаводский государственный университет
Российская Федерация, 185096, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

⁴Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова (САФУ)
Российская Федерация, 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17

Аннотация. Исследования выполнены в сосновых насаждениях на острове Ягры в Двинском заливе Белого моря на территории ООПТ «Сосновый бор острова Ягры». Для исследования были заложены пробные площади в типичных для острова сосняках: черничных, брусничных и кустарничково-сфагновых. Установлено, что во всех типах леса преобладающими формами кроны являются конусовидная, яйцевидная и шарообразная. И в сосняке кустарничково-сфагновом и в сосняках черничных и брусничных преобладает конусовидная форма кроны, на долю таких приходится соответственно 48 и 38 % деревьев. Другой по значимости является яйцевидная форма и в том и другом случае и третьим – шарообразная. Количество деревьев уменьшается примерно на 10 %. Показано, что форма кроны зависит от возраста. По мере увеличения возраста меняется форма кроны с конусовидной до яйцевидной и затем до шарообразной. Приведены данные по относительной высоте в разных типах леса. Их средняя величина колеблется в разных типах леса от 48 до 70 см/см, а средневзвешенная величина от 47 до 64 см/см, в то время как в сосняках на материке 116 см/см. Выявлена обратная зависимость относительной высоты от диаметра деревьев, коэффициенты корреляции для разных пробных площадей колеблются в пределах от –0,76 до –0,86. Установлено, что сосняки разных типов леса характеризуются как разновозрастные. В сосняках зеленомошной группы типов леса встречаются деревья от 20 до 160 лет, а в сосняках кустарничково-сфагновых от 20 до 100 лет

Ключевые слова: сосняки, остров Ягры, форма кроны, диаметр деревьев, тип леса, возрастная структура, относительная высота.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 1, P. 35–42

MORPHOMETRIC FEATURES OF TREES IN THE NATURAL RECREATION COMPLEX “SOSNOVY BOR OF YAGRY ISLAND”**

**P. A. Feklistov¹, A. V. Gryazkin², O. I. Gavrilova³, Z. A. Brueva⁴,
E. P. Verkhovtseva⁴, I. N. Bolotov¹**

¹Laverov Federal Center of Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
20, Nikolsky ave., Arkhangelsk, 163020, Russian Federation
E-mail: ¹pfeklistov@yandex.ru

²Saint-Petersburg State Forestry University named after S. M. Kirov
5, letter U, Institutsky lane, 194021, St. Petersburg, Russian Federation

³Petrozavodsk State University
33, Lenin ave., Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185096, Russian Federation

⁴Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov
17, Severnaya Dvina Emb., Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

* Исследования выполнены в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова УрО РАН (№ гос. регистрации – 125021902596-8).

** The research was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N. P. Laverov, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (state registration number – 125021902596-8).

Abstract. The research was carried out in pine plantations on Yagry Island in the Dvinsky Bay of the White Sea on the territory of the protected area "Sosnovy Bor of Yagry Island". For the study, trial areas were laid out in typical pine forests for the island: blueberry, lingonberry and shrub-sphagnum. It has been established that in all types of forests, the predominant crown shapes are cone-shaped, ovate and spherical, and in shrubby-sphagnum pine forests and in blueberry and lingonberry pine forests, the cone-shaped crown prevails, accounting for 48 and 38 % of trees, respectively. Another important one is the ovoid shape in both cases, and the third one is spherical. The number of trees is decreasing by about 10 %. It is shown that the shape of acrons depends on age. As the age increases, the crown shape changes from cone-shaped to ovoid and then to spherical. Data on the relative height in different types of forest are presented. Their average value ranges from 48 to 70 cm/cm in different types of forests, and the weighted average value ranges from 47 to 64 cm/cm, while in pine forests on the mainland it is 116 cm/cm. The inverse dependence of the relative height on the diameter of the trees has been revealed, the correlation coefficients for different sample areas range from -0.76 to -0.86 . It has been established that pine forests of different types are characterized as diverse in age. In the pine forests of the green moss group of forest types, trees from 20 to 160 years old are found, and in the shrubby sphagnum pine forests from 20 to 100 years old.

Keywords: pine forests, Jagra Island, crown shape, tree diameter, forest type, age structure, relative height.

ВВЕДЕНИЕ

Остров Яры располагается в юго-восточной части Двинского залива Белого моря. Похожих островов вблизи довольно много. Леса острова входят в состав ООПТ «Сосновый бор острова Ягры». Территория острова представляет полосу суши площадью 422 га. Характерной чертой ландшафта является наличие четырех невысоких узких и плоских песчаных гряд (нерунгов) и заболоченных понижений между ними (маршей), протянувшихся вдоль острова примерно с юга на север. Самая крупная – западная гряда, примыкающая к Двинскому заливу, шириной 120–500 м. Эти песчаные гряды заросли лесом, в основном сосняками или смешанными насаждениями.

Остров Ягры и природный рекреационный комплекс «Сосновый бор острова Ягры» находятся на территории Северодвинского лесничества (Приморский муниципальный район Архангельской области) и относится по лесорастительному районированию к северо-таежному району РФ [1].

По рельефу территория Северодвинского лесничества представляет собой волнистую равнину с наклоном к Белому морю, она расчленена на отдельные фрагменты широкими понижениями, что характерно и для острова.

Климат района исследования характеризуется как «умеренно холодный» [2], а с учетом расположения в Двинской губе Белого моря характерна частая смена воздушных масс различного происхождения. Продолжительность периода с температурой выше $+5^{\circ}\text{C}$ составляет около 137 дней, при том, что дни со среднесуточной температурой выше $+5^{\circ}\text{C}$ начинаются с 12 мая и заканчиваются к 28 сентября. Среднемесячная температура июля составляет $+15,6^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков около 500 мм.

Таким образом, район исследования характеризуется весьма суровыми климатическими условиями, низкими температурами, большим количеством осадков.

Район обследований расположен в районе глеево-подзолистых и подзолисто-болотных суглинистых почв на морене [2]. Основными почвообразующими породами служат на острове Ягры аллювиальные и морские пески.

Островные и прибрежные леса на Севере чрезвычайно важны, так как они образуют своеобразный экотон. Экотонные насаждения всегда выполняют очень важную функцию. В них формируются особые климатические условия, которые влияют на все компоненты биогеоценозов и в том числе на древостой. В то же время подобные лесные насаждения изучены явно недостаточно. Известно лишь несколько публикаций по Соловецким островам [3–5] и по острову Ягры [6], которые далеко не исчерпывают все проблемы. Кроме этого необходимость изучения вытекает из того, что для парков и ООПТ это особенно важно [7; 8]. В связи с этим была поставлена задача изучить морфометрические показатели деревьев и древостоев на острове Ягры.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследований были заложены пробные площади в типичных для острова Ягры сосняках в различных его частях. Основной классификационной единицей при подборе пробных площадей принят тип леса, как показатель однородности условий местопроизрастания, роста и строения. Типологическое описание пробных площадей производилось согласно методическим указаниям [9].

Древостои на пробных площадях чистые по составу, низко бонитетные с низкой высотой (табл. 1). Как было отмечено в литературе высота деревьев зависит от климатических показателей [10].

На пробных площадях проводились традиционные лесоводственно-таксационные работы по выявлению всех характеристик древостоев с использованием известных рекомендаций [11–13].

Таблица 1
Таксационная древостоя характеристика пробных площадей

№ пробн. площадей	Тип леса	Состав	Диам, см	Высота, м	Средний возраст, лет	Отн полнот.	Бонитет
1	С. бр	10С	23	10	48	редина	4
2	С. бр	10С	18	11	45	0,7	4
3	С.чер-бр	10С	25	11	66	0,6	4
4	С.куст-сф	10С	11	6	52	0,7	5
5	С.чер св	10С ед. Б	24	11	86	0,5	4

На пробных площадях для определения сумм площадей сечений древесного яруса использовался полнометр Биттерлиха. Для расчета числа реласкопических площадок применялась формула (1) [12]:

$$n = a\sqrt{F}, \quad (1)$$

где n – количество реласкопических площадок; a – коэффициент (по рекомендации Анучина, $a = 5$); F – площадь (участка) выдела, га.

Для определения возраста деревьев возрастным буровом брали керны на высоте шейки корня дерева [14], у них же определялись параметры кроны, ее форма. Всего было, таким образом, замерены 117 деревьев.

Описание ботанического состава напочвенного покрова выполняли с учетом рекомендаций [15], указывая видовое название растения, ярус, проективное покрытие.

При обработке результатов широко использовались методы вариационной статистики [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Внешний облик древостоев во многом определяется формой кроны. Анализ деревьев по пробным площадям показал, что во многом в сосняках черничных и брусничных по форме кроны отличий практически нет, поэтому мы посчитали возможным их объединить. Вообще и сосняки черничные и брусничные сформировались на песчаной почве и переходы между ними весьма размытые. В одном случае несколько больше черники в напочвенном покрове, а в другом брусники. И в сосняке кустарничково-сфагновом и в сосняках черничных и брусничных преобладает конусовидная форма кроны, на долю таких приходится соответственно 48 и 38 % деревьев (рис. 1). Другой по значимости является яйцевидная форма и в том и другом случае и третьим – шарообразная. В сосняках черничных и брусничных так же встречается цилиндрическая и зонтичная формы. Флагообразной формы, которую обычно связывают с ветром, очень мало 2–4 %, хотя сосняки находятся на острове, вблизи берега Двинского залива Белого моря и ветер обычный для этих мест экологический фактор.

Интересно, что на форму кроны прежде всего влияет возраст деревьев. Расчет среднего возраста деревьев для тех форм кроны, по которым имелась значительная выборка, показало следующее. В сосняках брусничных конусовидная форма кроны наблюдается в среднем до 40 лет, затем она изменяется и к 48–49 годам становится яйцевидной или цилиндрической

и к 71 году становится шарообразной (табл. 2). Все рассчитанные показатели достоверны для уровня значимости 0,05. Точность определения среднего значения несколько «играет». Но это легко объясняется недостатком наблюдений для шарообразной и яйцевидной форм кроны. Подобная закономерность просматривается и для сосняка кустарничково-сфагнового с довольно близкими возрастными для разных форм кроны. Различия средних значений возраста для форм кроны в сосняке брусничном и кустарничково-сфагновом недостоверны. Для увеличения выборки возрастов по формам кроны объединили данные по соснякам брусничным и черничным. Результат оказался похожим, но точность определения средних значений повысилась и находилась в приемлемом варианте 5–8 %.

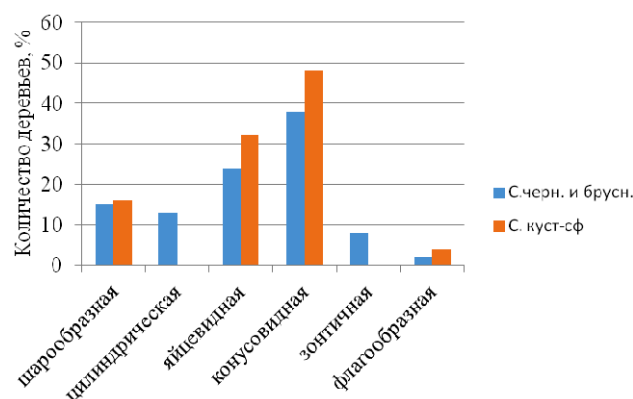


Рис. 1. Количество деревьев с разной формой кроны

Казалось бы взаимосвязь высот и диаметров в древостоях давно определена и изучена, но на практике оказалось это не совсем так и такие исследования по-прежнему актуальны [17–23]. Очень важным показателем соотношения ростовых процессов и широко используемом в научных исследованиях является относительная высота [24–29]. Пор сути это отношение высоты дерева в см к диаметру в см и показывает, на сколько увеличивается высота при увеличении диаметра на 1 см. Исследования в изученных сосняках показало, что относительная высота колеблется в пределах от 47,9 до 70,1 см/см. Самый высокий показатель в сосняке брусничном со значительной полнотой 0,7. На большинстве пробных площадей (4 из 5) показатели относительной высоты близки, а с учетом ошибки среднего равны. Средние значения не всегда характеризуют объективно, поэтому мы рассчитали и средневзвешенные величины относительной высоты

(с учетом количества деревьев с разной относительной высотой). Оказалось, что средневзвешенные величины, как правило, ниже средних или в одном случае равны среднему. В целом получается, что среднее значение относительной высоты в сосняках составляет 54,6 см/см, а по средневзвешенным величинам 50,8 см/см. Ранее отмечалось, что чем больше значение относительной высоты, тем полндревеснее ствол [30]. Правда отмечалось, что полндревесность зависит и от густоты [31]. Также обосновывалось К. К. Высоцким [32] использование отношения $H:D$ в качестве характеристики некоторых биологических особенностей насаждений.

Распределение относительной высоты по ступеням высоты близки к нормальному (рис. 2), что позволяет использовать параметрическую статистику. Из рисунка видно, что максимальное количество деревьев на всех пробных площадях приходится на показатели 31–40 и 41–50 см/см и лишь в сосняке брусничном приходится на 61–70 см/см.

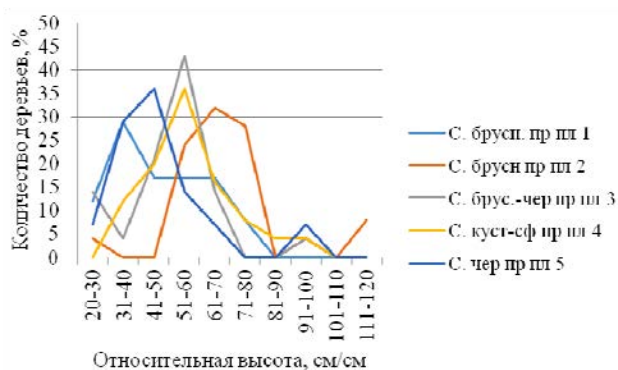


Рис. 2. Количество деревьев с разной относительной высотой в сосняках

Получив данные по относительной высоте на острове Ягры, мы сравнили с данными для притундрового и северотаежного лесотаксационных подрайонах, для чего воспользовались для расчета соответствующей таблицей ([33], табл. 5.1.2). Из табл. 4 видим, что для всех возрастов как для 4 бонитета (а у нас сосняки брусничные и черничные 4 бонитета) так и для 5 бонитета (у нас сосняк кустарничково-сфагновый 5 бонитета) для всех возрастов относительная высота существенно выше полученной нами. Если сравнивать средние значения, то в притундровых лесах и северной тайге относительная высота в 2,3 раза выше, чем на о. Ягры. Если говорить в абсолютных величинах, то на каждый см диаметра высота на острове увеличивается на 50,8 см, а в материковых лесах на 116–119 см. Это свидетельствует о сильно сбежистых стволах на острове.

Относительная высота зависит от диаметра деревьев во всех изученных типах леса. С увеличением диаметра относительная высота уменьшается, то есть наблюдается обратная зависимость (табл. 5). Коэффициенты корреляции колеблются от $-0,65$ – $0,76$ в сосняках брусничных до $0,84$ – $0,86$ в других типах леса. Это с одной стороны понятно с увеличением возраста, диаметра стволов прирост по высоте всегда снижается, соответственно снижается и относительная высота. Такая закономерность характерна и для материковых древостоев, но, по-видимому, отличается углом наклона линии регрессии.

Влияние формы кроны на относительную высоту неоднозначно. Дисперсионный анализ показал, что на 3 пробных площадях в сосняках брусничных и черничном форма кроны не влияет (табл. 6). Критерий Фишера фактический меньше табличного. На двух пробных площадях в сосняке чернично-брусничном и в сосняке кустарничково-сфагновом форма кроны влияет на относительную высоту.

Таблица 2
Средний возраст деревьев с разной формой кроны

Форма кроны	Статистические показатели					
	средн. возр, лет	станд. откл., лет	ошиб. сред., лет	коэфф. измен., %	точность, %	достоверность
С. брусничный, пр. пл. 1,2						
Шарообразная	71,0	32,1	10,1	45,1	14,3	7,0
Цилиндрическая	48,2	13,1	3,8	27,1	7,8	12,8
Яйцевидная	49,7	16,4	5,5	32,9	10,9	9,1
Конусовидная	40,4	5,9	1,2	14,6	2,9	33,6
С. кустарничково-сфагновый, пр. пл. 4						
Шарообразная	64,0	5,0	2,5	7,9	3,9	25,4
Яйцевидная	54,6	17,2	6,1	31,5	11,1	8,9
Конусовидная	51	17,8	5,1	34,9	10,1	9,9
Объединенные С. черничные и брусничные пр. пл. 1, 2, 3						
Шарообразная	57,5	14,0	4,9	24,4	8,6	11,6
Цилиндрическая	48,2	13,1	3,8	27,1	7,8	12,8
Яйцевидная	55,8	14,9	3,4	26,8	6,1	16,3
Конусовидная	45,7	12,8	2,3	28,1	5,0	19,8

Таблица 3
Значение относительной высоты в сосняках

Значение относительной высоты, см/см	№ пробной площади/тип леса				
	1/С бр	2/С. бр	3/С. чер-бр	4/С. куст-сф	5/С. чер
Средние	48,1±3,1	70,1±3,9	50,4±3,0	57,0±2,7	47,9±4,7
Средне-взвешенные	48	64	47	48	47

Таблица 4
Рассчитанные значения относительной высоты (см/см) [33]

Возраст	Класс бонитета	
	4	5
30	125	122
40	116	121
50	114	119
60	110	113
Среднее	116	119

Таблица 5
Зависимость относительной высоты от диаметра

№ пр. пл.	<i>r</i>	<i>m</i>	<i>t</i>	Уравнение
1	-0,76	0,09	8,4	$y = -1,234x + 77,162$
2	-0,65	0,12	5,3	$y = -1,4372x + 95,372$
3	-0,86	0,05	17,2	$y = -1,1757x + 79,483$
4	-0,86	0,05	16,5	$y = -3,5425x + 97,058$
5	-0,84	0,07	11,3	$y = -2,241x + 100,56$

Таблица 6
Результаты дисперсионного анализа по оценке влияния формы кроны на относительную высоту

№ пр. пл. / тип леса	Критерий Фишера		Заключение
	фактический	табличный	
1/С. бр	0,7	3,1	не влияет
2/С. бр	2,7	3,2	не влияет
3/С. чер-бр	12,8	3,0	влияет
4/С. куст-сф	4,6	3,5	влияет
5/С. чер св	2,8	3,7	не влияет

Возрастная структура древостоев чрезвычайно важна для понимания будущих процессов в этих насаждениях [34].

Изучение возрастной структуры древостоев сосны на острове Ягры показывает, что они все разновозрастные (рис. 3).

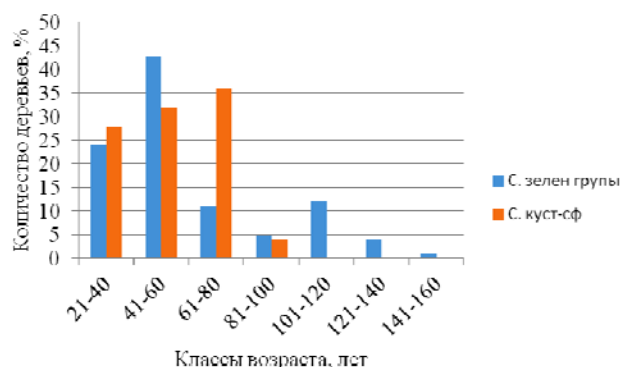


Рис. 3. Возрастная структура сосняков

Разброс возрастов наибольший в сосняках черничных и брусничных от 2 до 8 класса возраста (от 21 до 160 лет), а в сосняках кустарничково-сфагновых от 2 до 5 класса возраста. Наиболее представлены количе-

ством деревьев 2 и 3 классы возраста в сосняках черничных и брусничных, а в сосняках кустарничково-сфагновых 2, 3 и 4 классами возраста. Разновозрастность сосняков отмечалась и ранее [35]. В то же время известно, что на Севере Коми Республику встречаются в основном разновозрастные сосняки [36].

ВЫВОДЫ

– В сосняках преобладает конусовидная форма кроны, в черничных, брусничных (48 % деревьев) и кустарничково-сфагновых (38 % деревьев). Далее по количеству деревьев идет яйцевидная форма (на 10 % меньше) и шарообразная (еще на 10 % меньше).

– Форма кроны зависит от возраста деревьев для сосняков брусничных до 40 лет конусовидная, затем к 48–49 годам становится яйцевидной или цилиндрической и к 71 году шарообразной.

– Относительная высота колеблется в разных типах леса от 48 до 70 см/см, а средневзвешенная от 47 до 64 см/см при средних значениях для сосновых древостоев на материке 116 (4 класс бонитета), 119 (5 класс бонитета).

– Установлена обратная зависимость относительной высоты от диаметра деревьев.

– Все изученные сосняки разновозрастные.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Феклистов П. А., Овсянникова Н. В. Эколого-физиологические особенности деревьев ели разного жизненного состояния в северотаежных лесах. Архангельск : САФУ, 2016. 148 с.
2. Агроклиматический справочник по Архангельской области / Глав. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Арханг. гидрометеорол. обсерватория Сев. упр. гидрометеорол. службы. Ленинград : Гидрометеиздат, 1961. 220 с.
3. Леса Соловецкого архипелага / Л. Ф. Ипатов, В. П. Косарев, Л. И. Проурзин, С. В. Торхов. Архангельск : Изд-во Архан. регион. общ. фонд «Музей леса», 2009. 244 с.
4. Феклистов П. А., Соболев А. Н. Лесные насаждения Соловецкого архипелага (структура, состояние, рост). Архангельск : Арх. гос. техн. ун-т, 2010. 240 с.
5. Соболев А. Н., Феклистов П. А. Особенности строения сосновых древостоев на острове Большом Соловецком // Известия вузов. Лесной журнал. 2022. № 1. С. 77–87. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-1-77-87.
6. Особенности сосняков лесопарка «Ягры» / П. А. Феклистов, В. Н. Евдокимов, А. Л. Федяев, Д. Е. Самылов, С. И. Зубаха // Вестник Поморского университета. Серия естественные и точные науки. 2011. № 1. С. 89–96.
7. Ковязин В. Ф., Иванова Е. А. Почвенно-растительный комплекс парка «Дубки» Санкт-Петербурга // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 238. С. 6–22. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.6-22.
8. Володин В. В., Харченко Н. Н., Трегубов О. В. Древесные насаждения ООПТ «Дача Башкирцева»: состояние, ценностная значимость, возможности реинтеграции в современную культурную жизнь // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10, № 4 (40). С. 120–141. Библиогр.: с. 137–141 (32 назв.). DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/10.
9. Сукачев В. Н., Зонн С. В. Методические указания к изучению типов леса. М. : АН СССР, 1961. 144 с.
10. Sharma M., Subedi N., Ter-Mikaelian M., Parton J. Modeling climatic effects on stand height/site index of plantation-grown jack pine and black spruce trees // Forest Science. 2015. Т. 61, № 1. С. 25–34.
11. Сукачев В. Н., Дылис Н. В. Программа и методика биогеоценологических исследований. М. : Наука, 1966. 332 с.
12. Анучин Н. П. Лесная таксация. М. : Лесная промышленность, 1982. 552 с.
13. Бурова Н. В., Феклистов П. А. Антропогенная трансформация пригородных лесов. Архангельск : Изд-во Арх. гос. техн. ун-та, 2007. 264 с.
14. Корчагин А. А. Определение возраста деревьев умеренных широт // Полевая геоботаника. Т. 2. Ленинград : Изд-во АН СССР, 1960. С. 209–240.
15. Раменский Л. Г. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Ленинград : Наука, 1971. 334 с.
16. Бондаренко А. С., Жигунов, А. В. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований. Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. универ., 2016. 125 с.
17. Гурьянов М. О., Раупова Д. Э. Исследование взаимосвязи высот и диаметров на высоте груди в древостоях сосны обыкновенной Учебно-опытного лесничества Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 237. С. 6–15. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.6-15.
18. Раупова Д. Э., Данилов Д. А. Таксационная структура и плотность древесины сосны и ели в смешанных искусственных насаждениях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 240. С. 25–46. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.240.25-46.
19. Дубенок Н. Н., Кузьмичев В. В., Лебедев А. В. Модель смешанных эффектов зависимости высот от диаметров деревьев в сосновых древостоях // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 237. С. 59–74. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.59-74.
20. Таксационные показатели и товарная структура спелых смешанных древостоев сосны и ели в зеленомошных типах леса / Д. А. Данилов, Н. В. Беляева, Д. А. Зайцев, И. М. Анисимова // Лесотехнический журнал. 2022. Т. 12, № 2 (46). С. 14–29. Библиогр.: с. 25–28 (30 назв.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.2/2>.
21. Таксационная структура насаждений сосны брустийской (*Pinus brutia* Ten.) в Сирии в зависимости от орографических условий / Н. В. Беляева, А. И. Новиков, Д. А. Данилов, Самер Алкинж // Лесотехнический журнал. 2023. Т. 13, № 1 (49). С. 67–84. Библиогр.: с. 80–83 (31 назв.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.1/5>.
22. Лебедев А. В., Кузьмичев В. В. Верификация трехпараметрических моделей зависимости высоты от диаметра на высоте груди для березовых древостоев европейской части России // Сибирский лесной журнал. 2020. № 5. С. 45–54. DOI: 10.15372/SJFS 20200505.
23. Зиганшин Р. А. Лесной массив: сравнительная динамика средних диаметров хвойных древостоев различных типов леса // Сибирский лесной журнал. 2019. № 6. С. 39–52. DOI: 10.15372/SJFS20190605.
24. Мелехов И. С. Лесоведение. М. : Лесная промышленность, 1980. 408 с.
25. Верхунов П. М. Закономерности строения разновозрастных сосняков. Новосибирск : Наука, 1976. 234 с.
26. Erteld W. Groesse und Entwicklung des h/d-Wertes in Kieferbestaenden // Allg. Forst- und Jagdzeitung, 1979, 150 Jg. S. 72–75.
27. Юкнис Р. А. Некоторые закономерности роста деревьев // Моделирование и контроль производительности древостоев : сб. науч. тр. ЛитСХА. Каунас, 1983. С. 118–120.
28. Thomasius H. O., Butter D. Studiezueinigen Relationenzwischen Wuchsflaeche, Zuwachs und individueller Stabilitaet von Waldbaeumen, dargestellt an der Baumart Fichte // Beitrage f. d. Forstwirtschaft, 18, 1984, H. 1. S. 25–28.
29. Нагимов В. З., Артемьева И. Н., Нагимов З. Я. Дифференциация и отпад деревьев в сосняках лишай-

никовых заповедно-природного парка «Сибирские увалы» // Леса России и хозяйство в них : сб. науч. тр. / Федеральное агентство по образованию, Урал. гос. лесотехн. ун-т ; Академия наук РФ, Уральское отделение, Ботанический сад. 2007. Вып. 1 (29). С. 138–146.

30. Маслаков Е. Л. Формирование сосновых молодняков. М. : Лесная промышленность, 1984. 168 с.

31. Синькевич С. М. Форма стволов и динамика продуктивности плантационных культур сосны обыкновенной разной исходной густоты // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. Вып. 242. С. 143–154. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.242.143-154.

32. Высоцкий К. К. Закономерности строения смешанных древостоев. М. : Гослесбумиздат, 1962. 177 с.

33. Лесотаксационный справочник для северо-востока Европейской части СССР (нормативные материалы для Архангельской, Вологодской областей и Коми АССР). Архангельск : Гос. комит. СССР по лесному хозяйству, 1986. 358 с.

34. Размерная и возрастная структура горных кедровников Приенисейских Саян / М. Е. Коновалова, Е. Г. Коновалова, Е. Н. Цветков, Д. Д. Генов // Сибирский лесной журнал. 2020. № 3. С. 51–62. DOI: 10.15372/SJFS20200305.

35. Осипенко А. Е., Залесов С. В. Разновозрастность сосновых древостоев как фактор гармонизации системы лесохозяйственных мероприятий в ленточных борах Алтайского края // Лесотехнический журнал. 2023. Т. 13, № 1 (49). С. 129–145. Библиогр.: с. 140–145 (41 назв.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.1/9>.

36. Кутявин И. Н. Сосновые леса Северного Приуралья: строение, рост, продуктивность ; отв. ред. К. С. Бобкова. Сыктывкар : ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2018. 176 с.

REFERENCES

1. Feklistov P. A., Ovsyannikova N. V. Ekologo-fiziologicheskiye osobennosti derev'yev yeli raznogo zhiznennogo sostoyaniya v severotayezhnykh lesakh. Arkhangel'sk : SAFU, 2016. 148 s.

2. Agroklimaticheskiy spravochnik po Arkhangel'skoy oblasti / Glav. upr. gidrometeorol. sluzhby pri Sovete Ministrov SSSR. Arkhang. gidrometeorol. Observatoriya Sev. upr. gidrometeorol. sluzhby. Leningrad : Gidrometeoizdat, 1961. 220 s.

3. Ipatov L. F., Kosarev V. P., Prouzlin L. I., Torkhov S. V. Lesa Solovetskogo arhipelaga. Arkhangel'sk : izd-vo Arkhan. region. obshch. fond «Muzey lesa», 2009. 244 s.

4. Feklistov P. A., Sobolev A. N. Lesnyye nasazhdeniya Solovetskogo arhipelaga (struktura, sostoyaniye, rost). Arkhangel'sk : Arkh. gos. tekhn. un-t, 2010. 240 s.

5. Sobolev A. N., Feklistov P. A. Osobennosti stroyeniya sosnovykh drevostoyev na ostrove Bol'shom Solovetskom // Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal. 2022. No. 1. S. 77–87. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-1-77-87.

6. Osobennosti sosnyakov lesoparka «Yagry» / P. A. Feklistov, V. N. Yevdokimov, A. L. Fedyayev, D. E. Samy-

lov, S. I. Zubakha // Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya yestestvenno-ye i tochnyye nauki. 2011. № 1. S. 89–96.

7. Kovyazin V. F., Ivanova Ye. A. Pochvenno-rastitel'nyy kompleks parka «Dubki» Sankt-Peterburga // Izvestiya Sankt-Petersburgskoy lesotekhnicheskoy akademii. 2022. Vyp. 238. S. 6–22. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.6-22.

8. Volodin V. V., Kharchenko N. N., Tregubov O. V. Drevesnyye nasazhdeniya OOPT «Dacha Bashkirtseva»: sostoyaniye, tsennostnaya znachimost', vozmozhnosti reintegratsii v sovremennuyu kul'turnuyu zhizn' // Lesotekhnicheskii zhurnal. 2020. T. 10, № 4 (40). S. 120–141. Bibliogr.: s. 137–141 (32 nazv.). DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/10.

9. Sukachev V. N., Zonn S. V. Metodicheskiye ukazaniya k izucheniyu tipov lesa. M. : ANSSSR, 1961. 144 s.

10. Sharma M., Subedi N., Ter-Mikaelian M., Parton J. Modeling climatic effects on stand height/site index of plantation-grown jack pine and black spruce trees // Forest Science. 2015. T. 61, № 1. S. 25–34.

11. Sukachev V. N., Dylis N. V. Programma i metoda biogeotsenologicheskikh issledovaniy. M. : Nauka, 1966. 332 s.

12. Anuchin N. P. Lesnaya taksatsiya. M. : Lesnaya promyshlennost', 1982. 552 s.

13. Burova N. V., Feklistov P. A. Antropogennaya transformatsiya prigorodnykh lesov. Arkhangel'sk : Izd-vo Arkh. gos. tekhn. un-ta, 2007. 264 s.

14. Korchagin A. A. Opredeleniye vozrasta derev'yev umerennykh shirot // Polevaya geobotanika. T. 2. L. : Izdatel'stvo AN SSSR, 1960. S. 209–240.

15. Ramenskiy L. G. Izbrannyye raboty. Problemy i metody izucheniya rastitel'nogo pokrova. L. : Nauka, 1971. 334 s.

16. Bondarenko A. S., Zhigunov A. V. Statisticheskaya obrabotka materialov lesovodstvennykh issledovaniy. Sankt-Peterburg : Izd-vo Politekh. univer., 2016. 125 s.

17. Gur'yanov M. O., Raupova D. E. Issledovaniye vzaimosvyazi vysot i diametrov na vysote grudi v drevnostoyakh sosny obyknovennoy Uchebno-opytного lesnichestva Leningradskoy oblasti // Izvestiya Sankt-Petersburgskoy lesotekhnicheskoy akademii. 2021. Vyp. 237. S. 6–15. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.6-15.

18. Raupova D. E., Danilov D. A. Taksatsionnaya struktura i plotnost' drevesiny sosny i yeli v smeshannykh iskusstvennykh nasazhdeniyakh Leningradskoy oblasti // Izvestiya Sankt-Petersburgskoy lesotekhnicheskoy akademii. 2022. Vyp. 240. S. 25–46. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.240.25-46.

19. Dubenok N. N., Kuz'michev V. V., Lebedev A. V. Model' smeshannykh effektov zavisimosti vysot ot diametrov derev'yev v sosnovykh drevostoyakh // Izvestiya Sankt-Petersburgskoy lesotekhnicheskoy akademii. 2021. Vyp. 237. S. 59–74. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.59-74.

20. Taksatsionn-yye pokazateli i tovarnaya struktura spelykh smeshannykh drevostoyev sosny i yeli v zelenomoshnykh tipakh lesa / D. A. Danilov, N. V. Belyayeva, D. A. Zaytsev, I. M. Anisimova // Lesotekhn-

cheskiy zhurnal. 2022. T. 12. № 2 (46). S. 14–29. Bibliogr.: s. 25–28 (30 nazv.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.2/2>.

21. Taksatsionnaya struktura nasazhdeniy sosny brutiyskoy (*Pinus brutia* Ten.) v Sirii v zavisimosti ot orograficheskikh usloviy / N. V. Belyayeva, A. I. Novikov, D. A. Danilov, Samer Alkinzh // *Lesotekhnicheskiy zhurnal*. 2023. T. 13. № 1 (49). S. 67–84. Bibliogr.: s. 80–83 (31 nazv.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.1/5>.

22. Lebedev A. V., Kuz'michev V. V. Verifikatsiya trekhparametricheskikh modeley zavisimosti vysoty ot diametra na vysote grudi dlya berezovykh drevostoyev yevropeyskoy chasti Rossii // *Sibirskiy lesnoy zhurnal*. 2020. № 5. S. 45–54. DOI: 10.15372/SJFS20200505.

23. Ziganshin R. A. Lesnoy massiv: sravnitel'naya dinamika srednikh diametrov khvoynykh drevostoyev razlichnykh tipov lesa // *Sibirskiy lesnoy zhurnal*. 2019. № 6. S. 39–52. DOI: 10.15372/SJFS20190605.

24. Melekhov I. S. Lesovedeniye. M. : Lesnaya promyshlennost', 1980. 408 s.

25. Verkhunov P. M. Zakonomernosti stroyeniya raznovozrastnykh sosnyakov. Novosibirsk : Nauka, 1976. 234 s.

26. Erteld W. Groesse und Entwicklung des h/d-Wertes in Kieferbeständen // *Allg. Forst- und Jagdzeitung*, 1979, 150 Jg. S. 72–75.

27. Yuknis R. A. Nekotor'yye zakonomernosti rosta derev'yev // *Modelirovaniye i kontrol' proizvoditel'nosti drevostoyev* : sb. nauch. tr. LiTSKHA. Kaunas, 1983. S. 118–120.

28. Thomasius H. O., Butter D. Studiezueinigen Relationenzwischen Wuchsfäche, Zuwachs und individueller Stabilität von Waldbäumen, dargestellt an der Baumart Fichte // *Beitraege f. d. Forstwirtschaft*, 18, 1984, H. 1. S. 25–28.

29. Nagimov V. Z., Artem'yeva I. N., Nagimov Z. Ya. Differentsiatsiya i otpad derev'yev v sosnyakakh lishaynikovykh zapovedno-prirodnogo parka «Sibirskiy

Uvaly» // *Les Rossii i khozyaystvo v nikh* : sb. nauch. tr. / Federal'noye agentstvo po obrazovaniyu, Ural. gos. lesotekhn. un-t ; Akademiya nauk RF, Ural'skoye otdeleniye, Botanicheskiy sad. 2007. Vyp. 1 (29). S. 138–146.

30. Maslakov Ye. L. Formirovaniye osnovnykh molodnyakov. M. : Lesnaya promyshlennost', 1984. 168 s.

31. Sin'kevich S. M. Forma stvolov i dinamika produktivnosti plantatsionnykh kul'tur sosny obyknovennoy raznoy iskhodnoy gustoty // *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*. 2023. Vyp. 242. S. 143–154. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.242.143-154.

32. Vysotskiy K. K. Zakonomernosti stroyeniya smeshannykh drevostoyev. M. : Goslesbumizdat, 1962. 177 s.

33. Lesotaksatsionnyy spravochnik dlya severovostoka Yevropeyskoy chasti SSSR (normativnyye materialy dlya Arkhangel'skoy, Vologodskoy oblastey i Komi ASSR). Arkhangel'sk : Gos. komit. SSSR po lesnomu khozyaystvu, 1986. 358 s.

34. Razmernaya i vozrastnaya struktura gornykh kedrovnikov Priyeniseyskikh Sayan / M. Ye. Konovalova, Ye. G. Konovalova, Ye. N. Tsvetkov, D. D. Genov // *Sibirskiy lesnoy zhurnal*. 2020. № 3. S. 51–62. DOI: 10.15372/SJFS20200305.

35. Osipenko A. Ye., Zalesov S. V. Raznovozrastnost' osnovnykh drevostoyev kak faktor garmonizatsii sistemy lesokhozyaystvennykh meropriyatiy v lentochnykh borakh Altayskogo kraya // *Lesotekhnicheskiy zhurnal*. 2023. T. 13, № 1 (49). S. 129–145. Bibliogr.: s. 140–145 (41 nazv.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.1/9>.

36. Kutyavin I. N. Sosnov'yye lesa Severnogo Priural'ya: stroyeniye, rost, produktivnost' ; otv. red. K. S. Bobkova. Syktyvkar : IB Komi NTS URO RAN, 2018. 176 s.

© Феклистов П. А., Грязькин А. В.,
Гаврилова О. И., Бруева Ж. А.,
Верховцева Е. П., Болотов И. Н., 2025

Поступила в редакцию 15.10.2024
Принята к печати 18.02.2025

НАКОПЛЕНИЕ ЗАПАСНЫХ ЖИРОВ ТКАНЯМИ ПОБЕГОВ ЯСЕНЯ ОБЫКНОВЕННОГО В УСЛОВИЯХ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. В. Мартынова

Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л. Я. Флорентьева
Российская Федерация, 603107, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 97
E-mail: martynova-natasha94@yandex.ru

Аннотация. Оценили содержание жиров в годичных побегах ясеня обыкновенного. Объектами исследования были деревья, расположенные на территории памятника природы регионального значения Малиновая Гряда в Нижегородской области. Они выделены по принципу типичности, их общее число – 12. Опытный участок имел координаты: 56°24'07"N 43°95'44" E. В работе учитывали принцип единственного логического различия и ключевые требования: пригодность, типичность и целесообразность опыта. Исследование проводилось с использованием полевых, стационарных и лабораторных методов. С каждого учетного дерева было отобрано по 20 нормально развитых, неповрежденных однолетних побегов в периферии хорошо освещенного участка среднего яруса кроны. Первичная единица выборки представлена разовым замером каждого из тестируемых параметров всех повторностей опыта. В нашем случае для каждого из 12 тестируемых деревьев по каждой из 8 анализируемых у них тканей, учетных зон и их суммарного показателя выполнено по 20 фиксаций балльной оценки. В соответствии с этим объем базы данных, охваченных анализом, составил 1920 дата-единиц. Поперечные срезы получали из центральной части каждого побега и исследовали их с помощью микроскопа Микмед-2 методами цветной гистохимии. Для выявления жиров применялся препарат Судан-III. Их концентрацию в тканях побегов измеряли в условных баллах по шкале, которую мы разработали. Установлена изменчивость содержания жиров в тканях его побегов. Количество накопленных запасных питательных веществ в разных тканях не одинаково и имеет значительный разброс значений между учётными деревьями. Наиболее ярко различия проявляются в суммарном содержании жиров в тканях побега. Наибольшее их содержание было обнаружено у дерева № 10 – $20,00 \pm 0,68$ балла, а наименьшее – у дерева № 5 – $10,70 \pm 0,63$ балла.

Ключевые слова: ясень обыкновенный, однолетние побеги, запасные вещества, жиры, сердцевина, ксилема, камбий, луб, кора.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 1, P. 43–54

ACCUMULATION OF SPARE FATS BY THE TISSUES OF THE SHOOT OF COMMON ASH IN THE CONDITIONS OF THE NIZHNY NOVGOROD REGION

N. V. Martynova

Nizhny Novgorod State Agrotechnological University named after L.Y. Florentyev,
97 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation,
e-mail: martynova-natasha94@yandex.ru

Abstract. The fat content in annual shoots of common ash was assessed. The objects of the study were trees located on the territory of the nature monument of regional importance Raspberry Ridge in the Nizhny Novgorod region. They are allocated according to the principle of typicality, their total number is 12. The test site had coordinates: 56°24'07"N 43°95'44" E. The work took into account the principle of the only logical difference and the key requirements: suitability, typicality and expediency of the experience. The study was conducted using field, stationary and laboratory methods. From each reference tree, 20 normally developed, intact annual shoots were selected in the periphery of a well-lit area of the middle tier of the crown. The primary sampling unit is represented by a one-time measurement of each of the tested parameters of all repetitions of the experiment. In our case, for each of the 12 tested trees, for each of the 8 tissues analyzed in them, accounting zones and their total index, 20 score fixes were performed. Accordingly, the volume of the database covered by the analysis amounted to 1920 data units. Cross sections were obtained from the central part of each shoot and examined using a Micmed-2 microscope using color histochemistry methods. The drug Sudan-III was used to detect fats. Their concentration in the tissues of the shoots was measured in conditional points on a scale that we developed. The variability of the fat content in the tissues of its shoots has been established. The amount of accumulated reserve nutrients in different tissues is not the same and has a significant variation in values between the accounting trees. The differences are most pronounced in the total fat content in the shoot tissues. The highest content was found in tree No. 10 – 20.00 ± 0.68 points, and the lowest in tree No. 5 – 10.70 ± 0.63 points.

Keywords: common ash, annual shoots, spare substances, fats, core, xylem, cambium, bast, bark.

ВВЕДЕНИЕ

Зелёные насаждения играют важную роль в улучшении качества воздуха, предотвращая загрязнение пылью и газами [20; 21; 38; 39]. Они придают городским районам уникальность и неповторимость, создавая разнообразие, которое может быть утрачено из-за использования типовых проектов и промышленных методов строительства. Зелёные насаждения помогают сделать город привлекательным и комфортным для жизни, даже если он застроен многоэтажными зданиями. Чтобы они могли в полной мере выполнять свои санитарно-гигиенические, декоративно-эстетические и рекреационно-бальнеологические функции, необходимо создать ассортимент, который будет хорошо адаптирован к местным условиям и сбалансирован по составу. Весьма перспективным его компонентом выступают многочисленные представители рода Ясень (*Fraxinus L.*), которые выступают неотъемлемым компонентом дендрофлоры городов, востребованы при создании плантационных и защитных насаждений различного целевого назначения и конструкций. В Нижегородском Поволжье они формируют заметный компонент аборигенной дендрофлоры [28; 35–37].

Цель – выявить масштабы и характер проявления индивидуальной внутривидовой изменчивости деревьев ясеня обыкновенного по содержанию запасных жиров в тканях годичных побегов

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта исследования были выбраны побеги текущего года одновозрастных репродуктивно зрелых особей ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior L.*), собранные с хорошо освещенной стороны, в центральной части кроны рядовых посадок на территории памятника природы регионального (областного) значения Малиновая Гряда в Нижегородской области г. Нижнего Новгорода. Их фенологическое состояние на момент отбора биологических образцов характеризовалось как фаза активного роста побегов и достижения листьями типичной формы и размеров. Географические координаты этого места: 56°24'07" северной широты и 43°05'44" восточной долготы. Согласно современному лесорастительному районированию его территория относится к зоне хвойно-широколиственных лесов и причислена к району хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации. Он характеризуется влажным климатом с умеренно теплым и влажным летом и умеренно суровой снежной зимой. Здесь распространены серые лесные, а также дерново-подзолистые и подзолистые почвы на основании чего лесорастительные условия признаются вполне благоприятными для успешного произрастания широкого перечня древесных пород, в числе которых и ясень обыкновенный [1; 2; 10; 30]. В ходе эксперимента использовались как полевые, так и лабораторные методы, которые соответствовали принципам единственного логического различия, типичности, пригодности, целесообразности и надежности. Представленное исследование посвящено изучению распределе-

ния и количественного содержания жиров в различных тканях однолетних побегов ясеня обыкновенного. Для выявления наличия в них жиров использовали раствор Судан III, следуя общепринятой методике. После окрашивания и фиксации срезов их анализировали под микроскопом «Микмед-2». Оценка количества жиров, накопленных в клетках, проводилась в условных баллах по шкале Н. Н. Бессчетновой [5; 6; 13–15; 24–27]. Наличие запасного вещества определяли в основных зонах поперечного разреза побега: сердцевине, перимедуллярной зоне сердцевины, сердцевинных лучах ксилемы, ксилеме, заболони, камбии, лубе и коре. Количество жиров в клетках оценивали, суммируя баллы по всем учетным тканям. Теоретической платформой организационной стороны работы выступали представления о том, что физиологический статус растительных организмов во многом обуславливает их приспособленность к среде и, в конечном итоге, сохранность, выживаемость и потенциал репродуктивной и регенеративной активности [29; 31; 32; 41; 46; 47]. При этом во внимание принимали то, что экспериментальные методы гистохимии зарекомендовали себя как весьма эффективный и надежный инструмент биологических исследований [4–7; 11–13; 17–20; 22; 24–27; 33–37; 42]. Их привлечение в научный процесс как методов выявления биологической разнокачественности древесных и кустарниковых растений принято достаточно широко [3; 7; 23; 40]. С их помощью удастся достаточно точно оценить жаростойкость, солевыносливость и морозостойкость, выявить сроки выхода из состояния покоя, установить скорость роста, зафиксировать фазы онтогенеза и периоды макро- и микроспорогенеза [8; 29; 31; 32; 33–37; 41; 43; 44; 45; 46; 47; 48].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Учетные деревья ясеня отличались друг от друга не только по своему общему биологическому состоянию, но и по уровню накопленных питательных веществ, в частности, по содержанию жиров. В процессе опытов были выявлены значительные различия между ними по уровню накопленных жиров в клетках тканей их однолетних побегов и их суммарного содержания, что наглядно представлено в табл. 1–9. В частности, в сердцевине годичных побегов (табл. 1) были обнаружены существенные колебания в содержании жиров.

Максимальное содержание жиров ($2,78 \pm 0,11$ балла) зафиксировано у учетного дерева № 11, а наименьшее – у дерева № 5 ($0,60 \pm 0,09$ балла), что образовало превышение в 4,62 раз или на 2,18 балла. Обобщенное среднее содержание жиров в сердцевине составляет $1,66 \pm 0,06$ балла, что свидетельствует о значительной изменчивости этого показателя.

Концентрация жиров в живых клетках периферийной сердцевины однолетних побегов позволила провести детальный анализ соотношения между учетными деревьями, что отражено в табл. 2.

Достаточно вариабельный показатель по накоплению жиров в клетках периферийной сердцевины побега (табл. 2) показал обширный разброс баллов. Зафиксированное наибольшее количество в $2,95 \pm 0,22$ балла

показало дерево-1, а наименьшее – дерево-5 ($0,93 \pm 0,09$ балла). Максимальное значение по содержанию жиров в периферийной сердцевине превысило обобщенное среднее (Total) ($2,19 \pm 0,06$ балла) по масиву на 0,76 или 1,34 раза.

Распределение накопленного содержания жиров в сердцевинных лучах однолетних побегов ясеня обыкновенного различались с ранее оцененным признаком (табл. 3).

Таблица 1

Накопление жиров в сердцевине однолетних побегов ясеня обыкновенного^{1,2}

Варианты	N	M	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
Дерево-1	20	1,90	0,77	4,00	1,00	3,00	0,17	40,59	11,02	9,08
Дерево-2	20	2,08	0,96	4,00	1,00	3,00	0,22	46,43	9,63	10,38
Дерево-3	20	1,70	0,80	4,00	1,00	3,00	0,18	47,14	9,49	10,54
Дерево-4	20	1,18	0,59	2,00	0,50	1,50	0,13	50,30	8,89	11,25
Дерево-5	20	0,60	0,42	1,50	0,00	1,50	0,09	69,46	6,44	15,53
Дерево-6	20	0,78	0,34	1,50	0,00	1,50	0,08	44,28	10,10	9,90
Дерево-7	20	2,05	0,51	3,00	1,00	2,00	0,11	24,90	17,96	5,57
Дерево-8	20	2,10	0,82	3,50	1,00	2,50	0,18	39,08	11,44	8,74
Дерево-9	20	1,35	0,69	3,00	0,50	2,50	0,15	51,12	8,75	11,43
Дерево-10	20	1,40	0,66	3,00	0,50	2,50	0,15	47,21	9,47	10,56
Дерево-11	20	2,78	0,50	3,50	2,00	1,50	0,11	17,99	24,85	4,02
Дерево-12	20	2,01	0,73	3,00	1,00	2,00	0,16	36,34	12,31	8,13
Total	240	1,66	0,89	4,00	0,00	4,00	0,06	53,49	28,96	3,45

¹ В табл. 1–9 приняты обозначения статистик: N – число учетов; M – среднее значение; $\pm m$ – ошибка репрезентативности выборочного среднего (абсолютная ошибка); σ – среднеквадратическое отклонение; max – максимальное значение анализируемого показателя; min – минимальное значение анализируемого показателя; Δ_{lim} – размах изменчивости, или диапазон значений анализируемого показателя; Cv, % – коэффициент вариации значений анализируемого показателя; t – опытный критерий Стьюдента ($t_{05} = 2,09$; $t_{01} = 2,86$); P – точность опыта; Total – обобщенное среднее значение.

² Размерность показателей в табл. 1–9 дана в условных баллах, согласно принятой методике.

Таблица 2

Накопление жиров в клетках периферийной сердцевины однолетних побегов

Варианты	N	M	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
Дерево-1	20	2,95	1,00	5,00	1,00	4,00	0,22	33,85	13,21	7,57
Дерево-2	20	2,90	0,84	4,50	2,00	2,50	0,19	28,85	15,50	6,45
Дерево-3	20	1,90	0,72	3,00	1,00	2,00	0,16	37,80	11,83	8,45
Дерево-4	20	1,88	0,79	4,00	1,00	3,00	0,18	42,27	10,58	9,45
Дерево-5	20	0,93	0,41	1,50	0,50	1,00	0,09	43,93	10,18	9,82
Дерево-6	20	2,10	0,84	3,50	1,00	2,50	0,19	39,84	11,22	8,91
Дерево-7	20	2,25	0,79	3,00	1,00	2,00	0,18	34,95	12,80	7,82
Дерево-8	20	2,03	0,80	3,00	0,50	2,50	0,18	39,63	11,28	8,86
Дерево-9	20	2,30	0,71	3,00	1,00	2,00	0,16	31,07	14,40	6,95
Дерево-10	20	2,58	0,63	4,00	1,50	2,50	0,14	24,62	18,16	5,51
Дерево-11	20	2,20	0,50	3,00	1,50	1,50	0,11	22,61	19,78	5,06
Дерево-12	20	2,33	0,73	3,50	0,50	3,00	0,16	31,42	14,23	7,03
Total	240	2,19	0,89	5,00	0,50	4,50	0,06	40,45	38,29	2,61

Таблица 3

Накопление жиров в клетках сердцевинных лучей однолетних побегов

Варианты	N	M	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
Дерево-1	20	2,95	1,06	5,00	1,00	4,00	0,24	36,02	12,42	8,05
Дерево-2	20	2,70	0,80	4,00	1,00	3,00	0,18	29,68	15,07	6,64
Дерево-3	20	2,75	0,44	3,00	2,00	1,00	0,10	16,15	27,68	3,61
Дерево-4	20	2,75	0,64	4,00	2,00	2,00	0,14	23,22	19,26	5,19
Дерево-5	20	1,90	1,26	4,00	0,00	4,00	0,28	66,46	6,73	14,86
Дерево-6	20	2,40	1,29	4,00	0,50	3,50	0,29	53,90	8,30	12,05
Дерево-7	20	2,75	0,55	3,00	1,00	2,00	0,12	20,00	22,36	4,47
Дерево-8	20	2,88	0,39	3,50	2,00	1,50	0,09	13,68	32,70	3,06
Дерево-9	20	2,53	0,95	4,00	0,50	3,50	0,21	37,72	11,86	8,43
Дерево-10	20	3,60	0,97	5,00	1,50	3,50	0,22	26,89	16,63	6,01
Дерево-11	20	2,98	0,44	3,50	2,00	1,50	0,10	14,91	30,00	3,33
Дерево-12	20	3,13	0,28	3,50	2,50	1,00	0,06	8,80	50,81	1,97
Total	240	2,78	0,90	5,00	0,00	5,00	0,06	32,41	47,80	2,09

Сердцевинные лучи представляют из себя идущие от сердцевины ствола дерева до камбия клетки, выполняющие функцию горизонтального тока воды и питательных веществ, а также наибольшее накопление и хранение запасных веществ. В данной зоне, по сравнению с другими учетными тканями, зафиксировано наибольшее количество содержания жиров. Максимум в $3,60 \pm 0,22$ балла отмечен у дерева-10. Достаточно высокое содержание замечено у дерева-12 ($3,13 \pm 0,06$ балла), дерева-11 ($2,98 \pm 0,10$ балла) и дерева-1 ($2,95 \pm 0,24$ балла). Меньше других жиров в тканях побегов накопило дерево-5 ($1,90 \pm 0,28$ балла). Превышение по отношению к наибольшему от обобщенного среднего ($2,78 \pm 0,06$ балла) по выборке составило на 0,82 или в 1,3 раза.

Накопление жиров в клетках ксилемы однолетних побегов показали неодинаковое в количественном выражении и в плане распределения значений в группе учетных деревьев (табл. 4).

Как видно, наибольшие величины $2,80 \pm 0,22$ балла и $2,50 \pm 0,13$ балла и зафиксированы соответственно у дерева-2 и дерева-10, превосходят наименьшее значение $1,08 \pm 0,12$ балла, отмеченное у дерева-4 в 2,60 и в 2,32 раза соответственно. Также заметно, что анализируемые полученные баллы весьма близки к обобщенному среднему ($1,85 \pm 0,06$ балла). Среднеквадратическое (стандартное) отклонение изменяется от 0,52 балла (дерево-4) до 1,02 балла (дерево-6).

Более выровненное содержание жиров зафиксировано в заболонной части однолетних побегов (табл. 5).

Анализируя полученные данные установлено, что абсолютные величины учетных деревьев № 9 и № 1 ($\max = 3,33$ балла; $\min = 2,55$ балла соответственно) показали соотношение оценок в 1,31 раза и разность между ними, равную 0,78 балла. Достаточно высокое содержание замечено у дерева-7 ($3,25 \pm 0,10$ балла) и у дерева-10 ($3,25 \pm 0,20$ балла). Данные обобщенного среднего (Total), которые достигли $2,95 \pm 0,05$ балла, превосходили минимальное зафиксированное значение у учетного дерева-1 на 0,40 балла или в 1,16 раз и оказались ниже максимального (дерево-9) на 0,38 балла или 0,89 раза. Коэффициент вариации по обобщенному среднему в массиве ($C_v = 27,94\%$) соответствовал повышенному уровню изменчивости по шкале Мамаева ($C_v = 26 \dots 35\%$).

Содержание жиров в клетках камбия представлено в табл. 6. Статистический анализ учетной зоны камбия показал, что во всех образцах содержится незначительное количество жиров.

Максимум содержания жиров в этой ткани побега наблюдался также у дерева-10 – $1,88 \pm 0,10$ балла. Минимум зафиксирован у дерева-3 – $0,35 \pm 0,05$ балла. Наибольшие средние значения имело превышение над меньшими в 5,36 раза или на 1,53 балла. Обобщенное для всего массива среднее (Total) составляет $1,11 \pm 0,04$ балла, что превышает наименьшее в 3,16 раза или на 0,76 балла. Материал является надёжным и статистически достоверным, о чём свидетельствуют результаты критерия Стьюдента, превышающие табличные значения.

Таблица 4
Накопление жиров в клетках ксилемы однолетних побегов

Варианты	N	M	СКО	max.	min.	Δ_{lim}	$\pm m$	$C_v, \%$	t	P, %
Дерево-1	20	2,15	0,81	4,00	1,00	3,00	0,18	37,80	11,83	8,45
Дерево-2	20	2,80	0,97	4,00	1,00	3,00	0,22	34,47	12,97	7,71
Дерево-3	20	1,78	0,73	3,00	0,50	2,50	0,16	41,35	10,81	9,25
Дерево-4	20	1,08	0,52	2,00	0,50	1,50	0,12	48,37	9,25	10,82
Дерево-5	20	1,60	0,55	3,00	1,00	2,00	0,12	34,53	12,95	7,72
Дерево-6	20	2,13	1,02	4,00	0,50	3,50	0,23	48,21	9,28	10,78
Дерево-7	20	1,73	0,91	5,00	1,00	4,00	0,20	52,76	8,48	11,80
Дерево-8	20	1,30	0,52	2,00	0,50	1,50	0,12	40,24	11,11	9,00
Дерево-9	20	2,10	0,64	3,00	1,00	2,00	0,14	30,51	14,66	6,82
Дерево-10	20	2,50	0,58	3,50	2,00	1,50	0,13	23,40	19,12	5,23
Дерево-11	20	1,18	0,47	2,50	0,50	2,00	0,10	39,71	11,26	8,88
Дерево-12	20	1,93	0,54	3,00	0,50	2,50	0,12	28,30	15,80	6,33
Total	240	1,85	0,86	5,00	0,50	4,50	0,06	46,33	33,44	2,99

Таблица 5
Накопление жиров в клетках заболони однолетних побегов

Варианты	N	M	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	$C_v, \%$	t	P, %
Дерево-1	20	2,55	0,89	4,00	1,00	3,00	0,20	34,79	12,86	7,78
Дерево-2	20	3,15	1,00	5,00	1,50	3,50	0,22	31,79	14,07	7,11
Дерево-3	20	2,75	0,85	4,00	1,00	3,00	0,19	30,93	14,46	6,92
Дерево-4	20	3,10	0,79	4,00	2,00	2,00	0,18	25,42	17,59	5,68
Дерево-5	20	2,85	0,99	4,00	1,00	3,00	0,22	34,67	12,90	7,75
Дерево-6	20	2,65	1,14	5,00	1,00	4,00	0,25	42,89	10,43	9,59
Дерево-7	20	3,25	0,44	4,00	3,00	1,00	0,10	13,67	32,72	3,06
Дерево-8	20	2,78	0,44	3,50	2,00	1,50	0,10	15,98	27,98	3,57
Дерево-9	20	3,33	0,91	4,00	1,50	2,50	0,20	27,28	16,39	6,10
Дерево-10	20	3,25	0,90	5,00	1,50	3,50	0,20	27,57	16,22	6,16
Дерево-11	20	2,73	0,34	3,00	2,00	1,00	0,08	12,59	35,51	2,82
Дерево-12	20	3,03	0,44	3,50	2,00	1,50	0,10	14,66	30,50	3,28
Total	240	2,95	0,82	5,00	1,00	4,00	0,05	27,94	55,44	1,80

Таблица 6
Накопление жиров в клетках камбия однолетних побегов

Варианты	N	M	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
Дерево-1	20	1,43	0,59	2,50	0,50	2,00	0,13	41,48	10,78	9,27
Дерево-2	20	0,70	0,50	1,50	0,00	1,50	0,11	71,05	6,29	15,89
Дерево-3	20	0,35	0,24	0,50	0,00	0,50	0,05	67,17	6,66	15,02
Дерево-4	20	0,65	0,33	1,50	0,00	1,50	0,07	50,53	8,85	11,30
Дерево-5	20	1,25	0,38	2,00	0,50	1,50	0,09	30,44	14,69	6,81
Дерево-6	20	1,53	0,70	3,00	0,50	2,50	0,16	45,72	9,78	10,22
Дерево-7	20	1,00	0,54	2,00	0,50	1,50	0,12	53,80	8,31	12,03
Дерево-8	20	0,83	0,37	1,50	0,50	1,00	0,08	45,16	9,90	10,10
Дерево-9	20	1,75	0,77	3,00	0,50	2,50	0,17	43,97	10,17	9,83
Дерево-10	20	1,88	0,43	3,00	1,00	2,00	0,10	22,69	19,71	5,07
Дерево-11	20	0,93	0,44	1,50	0,00	1,50	0,10	47,30	9,45	10,58
Дерево-12	20	1,03	0,50	2,00	0,50	1,50	0,11	48,60	9,20	10,87
Total	240	1,11	0,66	3,00	0,00	3,00	0,04	59,84	25,89	3,86

Таблица 7
Накопление жиров в клетках луба однолетних побегов

Варианты	N	M	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
Дерево-1	20	0,30	0,57	2,00	0,00	2,00	0,13	190,41	2,35	42,58
Дерево-2	20	0,15	0,33	1,00	0,00	1,00	0,07	218,98	2,04	48,97
Дерево-3	20	0,48	0,38	1,00	0,00	1,00	0,08	79,91	5,60	17,87
Дерево-4	20	1,60	0,90	3,00	0,00	3,00	0,20	56,09	7,97	12,54
Дерево-5	20	0,68	0,29	1,50	0,50	1,00	0,07	43,49	10,28	9,73
Дерево-6	20	0,88	0,63	2,50	0,00	2,50	0,14	71,50	6,25	15,99
Дерево-7	20	1,10	0,42	2,00	0,50	1,50	0,09	37,89	11,80	8,47
Дерево-8	20	0,70	0,38	1,50	0,50	1,00	0,08	53,85	8,30	12,04
Дерево-9	20	1,33	0,57	2,00	0,50	1,50	0,13	42,89	10,43	9,59
Дерево-10	20	1,50	0,69	3,00	1,00	2,00	0,15	45,88	9,75	10,26
Дерево-11	20	0,58	0,24	1,00	0,00	1,00	0,05	42,55	10,51	9,52
Дерево-12	20	1,08	0,54	2,00	0,00	2,00	0,12	50,67	8,83	11,33
Total	240	0,86	0,68	3,00	0,00	3,00	0,04	79,00	19,61	5,10

Содержание жиров в клетках луба отражено в табл. 7.

В данной учетной зоне жир выявлен во всех исследуемых образцах. Максимум содержания жиров отмечается у дерева-4 ($1,60 \pm 0,20$ балла), что превышает обобщенное среднее по выборке в 1,85 раза или на 0,74 балла, а минимум у дерева-2 ($0,15 \pm 0,7$ балла), что в 5,75 раза или на 0,71 балл меньше варианта «Total». Величина обобщенного среднего составила $0,86 \pm 0,04$ балла.

Клетки грубой коры показывают значительный результат, в накоплении запасного жира, зафиксированный в табл. 8.

Значения накопленных жиров исследуемого признака находились в средних показателях от $0,90 \pm 1,50$ балла (дерево-5) до $3,30 \pm 0,16$ балла (дерево-10). Потенциальные закономерности данных определены диапазоном в 2,4 балла. Остальные зафиксированные величины в равной степени были приближены к обобщенному среднему по анализируемой выборке учетных деревьев, что составило $1,62 \pm 0,06$ балла. Критерий достоверности (t) показывает превышение над значением в 3, что говорит о статистически достоверных показателях.

Комплексной оценкой при сравнении между собой учетных деревьев ясеня обыкновенного выступило суммарное содержание жиров в тканях и учетных зонах однолетних побегов (табл. 9).

Исследование накопления жиров в тканях однолетних побегов ясеня обыкновенного (*Fraxinus*

excelsior L.) в условиях Нижегородской области выявило не значительную межвидовую изменчивость. Наибольшее количество накопленных жиров было обнаружено в тканях побегов учетного дерева-10 ($20,00 \pm 0,68$ баллов) и учетного дерева-9 ($17,65 \pm 0,85$ баллов). Эти значения значительно выше среднего показателя ($15,02 \pm 0,25$ баллов). Учетное дерево-1, продемонстрировало близкий, но все же меньший уровень накопления жиров ($15,98 \pm 0,87$ баллов). В то же время, у дерева-5 ($10,70 \pm 0,63$ баллов) и дерева-3 ($13,15 \pm 0,57$ баллов) наблюдались минимальные значения суммарного содержания накопленных жиров в тканях однолетнего побега. Среднее значение накопления жиров для всей исследуемой популяции составило $15,01 \pm 0,25$ баллов. Разброс данных указывает на значительную межвидовую изменчивость в способности аккумулировать данный запасной питательный элемент.

Ввиду того, что все деревья произрастали на одном участке с однородными экологическими условиями (освещенность, влажность, тип почвы, доступность питательных веществ и т. д.), можно сказать, что обнаруженные различия в накоплении жиров обусловлены генетическими признаками, то есть, внутренними физиологическими особенностями отдельных деревьев семенного происхождения. Этот фактор подтверждается результатами однофакторного дисперсионного анализа, выявившего статистически значимые различия между учетными деревьями и показан в табл. 10.

Таблица 8
Накопление жиров в клетках грубой коры однолетних побегов

Варианты	N	M	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
Дерево-1	20	1,75	0,64	3,00	1,00	2,00	0,14	36,50	12,25	8,16
Дерево-2	20	1,18	0,44	2,00	0,50	1,50	0,10	37,24	12,01	8,33
Дерево-3	20	1,45	0,67	3,00	0,50	2,50	0,15	45,99	9,72	10,28
Дерево-4	20	1,23	0,38	2,00	0,50	1,50	0,08	30,99	14,43	6,93
Дерево-5	20	0,90	0,38	2,00	0,50	1,50	0,09	42,65	10,48	9,54
Дерево-6	20	2,00	0,74	3,00	1,00	2,00	0,17	37,17	12,03	8,31
Дерево-7	20	1,18	0,34	2,00	1,00	1,00	0,08	28,55	15,67	6,38
Дерево-8	20	1,08	0,47	2,00	0,50	1,50	0,10	43,41	10,30	9,71
Дерево-9	20	2,98	0,53	4,00	2,00	2,00	0,12	17,65	25,34	3,95
Дерево-10	20	3,30	0,73	4,00	2,00	2,00	0,16	22,20	20,14	4,96
Дерево-11	20	1,03	0,47	2,00	0,50	1,50	0,11	46,07	9,71	10,30
Дерево-12	20	1,40	0,48	2,00	0,50	1,50	0,11	33,98	13,16	7,60
Total	240	1,62	0,91	4,00	0,50	3,50	0,06	56,23	27,55	3,63

Таблица 9
Суммарное содержание жиров в тканях однолетних побегов

Варианты	N	M	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
Дерево-1	20	15,98	3,88	23,00	8,50	14,50	0,87	24,30	18,41	5,43
Дерево-2	20	15,65	3,49	22,00	8,50	13,50	0,78	22,31	20,05	4,99
Дерево-3	20	13,15	2,56	18,00	9,00	9,00	0,57	19,47	22,97	4,35
Дерево-4	20	13,45	2,57	19,00	9,00	10,00	0,58	19,14	23,36	4,28
Дерево-5	20	10,70	2,84	16,50	6,00	10,50	0,63	26,54	16,85	5,93
Дерево-6	20	14,45	5,42	24,00	5,50	18,50	1,21	37,52	11,92	8,39
Дерево-7	20	15,30	1,77	18,00	11,50	6,50	0,40	11,59	38,60	2,59
Дерево-8	20	13,68	2,41	18,50	9,50	9,00	0,54	17,65	25,34	3,95
Дерево-9	20	17,65	3,80	23,00	8,50	14,50	0,85	21,52	20,78	4,81
Дерево-10	20	20,00	3,06	25,00	15,00	10,00	0,68	15,28	29,26	3,42
Дерево-11	20	14,38	1,72	17,50	12,00	5,50	0,39	11,99	37,30	2,68
Дерево-12	20	15,91	2,31	19,50	11,20	8,30	0,52	14,53	30,78	3,25
Total	240	15,02	3,82	25,00	5,50	19,50	0,25	25,40	60,98	1,64

Таблица 10
Существенность различий между учетными деревьями ясеня обыкновенного по содержанию жиров в тканях побегов¹

Ткани побега	F-критерий	Алгоритм Н. А. Плохинского		Алгоритм Дж. У. Снедекора ($h^2_{\pm sh^2}$)		Существенная разность	
		h^2	$\pm sh_2$	h^2	$\pm sh_2$	HCP ₀₅	D ₀₅
Сердцевина	17,05	0,4514	0,0265	0,4452	0,0268	0,417	0,692
Периферийная сердцевина	10,10	0,3275	0,0324	0,3126	0,0332	0,462	0,766
Сердцевинные лучи	4,94	0,1924	0,0390	0,1645	0,0403	0,513	0,851
Ксилема	5,24	0,2018	0,0385	0,1749	0,0398	0,684	1,136
Заболонь	2,17	0,0948	0,0437	0,0553	0,0456	0,498	0,826
Камбий	17,10	0,4521	0,0264	0,4460	0,0267	0,312	0,517
Луб	17,73	0,4610	0,0260	0,4555	0,0263	0,321	0,533
Грубая кора	41,49	0,6669	0,0161	0,6694	0,0160	0,334	0,554

¹Обозначения: F-критерий – опытный критерий Фишера ($F_{05/01} = 1,83/2,34$); $h^2_{\pm sh^2}$ – показатель силы влияния фактора и ошибка силы влияния фактора; HCP₀₅ – наименьшая существенная разность на 5-процентном уровне значимости; D₀₅ – критерий Тьюки на 5-процентном уровне значимости.

Результаты, полученные в ходе опыта и представленные в виде оценок F-критерия (опытного критерия Фишера), которые превысили соответствующие табличные значения во всех учётных зонах, указывают на наличие различий в этих зонах. Не во всех по всем учетным зонам на поперечном срезе побега существенность различий получила подтверждение на 5- и 1-процентном уровнях значимости. Это следует из сопоставления величин опытного критерия Фишера с его соответствующим табличным значением. В ва-

риантах с установленной существенностью различий они достигали величин от 4,94 (сердцевинные лучи) до 41,49 (грубая кора). В отношении количества накопленных жиров в заболони статистическая значимость получила подтверждение на 5-процентном уровне значимости и не имела его на 1-процентном уровне. В остальных случаях существенных различий между сравниваемыми объектами исследований установлено не было. В оценках по алгоритму Плохинского наибольшие величины получены по зоне грубой

коры однолетних побегов: эффект достаточно велик и достигал $66,69 \pm 1,16$ %.

Наименьшая оценка, подтвержденная статистической достоверностью, была получена по содержанию жиров в клетках заболони, составив $9,48 \pm 4,37$ %. Это значение значительно ниже, чем у других исследованных тканей: от $19,24 \pm 3,90$ % – сердцевинные лучи до $46,10 \pm 2,60$ % – лубяная зона однолетнего побега. По прочим критериям был получен материал, сопоставимый по своей значимости и содержанию. Остаточная дисперсия, возникновение которой обычно связывают с неконтролируемым влиянием внешних факторов, практически всегда преобладала и в целом составила от 33,31 % (грубая кора) до 90,52 % (заболонь). Такие различия в содержании жиров могут свидетельствовать о различных физиологических и экологических адаптациях исследуемых видов растений. Расчеты, выполненные по алгоритму Снедекора, подтвердили полученные результаты, что указывает на высокую степень надежности данных. Эти результаты подчеркивают, что разные учетные деревья имеют разные способности к накоплению жиров в зависимости от этапа вегетационного периода. Это, в свою очередь, может влиять на их адаптацию к условиям окружающей среды, что особенно важно для интродукции растений в новые регионы, такие как Нижегородская область. В рамках проведенного анализа дисперсионного комплекса было установлено, что влияние наследственной специфики особей составляет около 20 % от общего эффекта всех факторов, способствующих фенотипической дисперсии. Это исследование важно для понимания того, как генетические особенности влияют на адаптивные способности растений. Ясень обыкновенный, как объект озеленения и защитных насаждений, необходимо выбирать с учетом этих генетических различий, чтобы обеспечить максимальную эффективность и устойчивость к местным условиям.

Критерии существенности различий (HCP_{05} и D_{05}) определили рубеж, превысив который, различия в тестируемых признаках приобретали статус существенных (см. табл. 10). Так, в оценках по наименьшей существенной разности (HCP_{05}) среднее значение содержания жиров в ксилеме (см. табл. 4) у дерева № 2 существенно отклонялось от 8 аналогичных статистик других деревьев, у дерева № 4 – от 7, у деревьев № 10 и № 11 – от 6, а у деревьев № 5 и № 7 – только от 2. Такие же оценки по иным тканям дали свою картину. Например, по содержанию жиров в сердцевине (см. табл. 1) у дерева № 2 существенные отклонения наблюдались уже только от 6, в то время как у дерева № 5 – от 10 других деревьев. При использовании в парном сравнении более строгого критерия Тьюки (D_{05}) отмеченные тенденции сохранились в той или иной мере, при некотором уменьшении числа демонстрируемых существенных различий. В целом, можно отметить то, что по каждой из тканей побега (см. табл. 1–9) складывалась уникальная ситуация в возникновении существенных различий между учетными растениями. Учитывая вышеизложенное, можно сделать заключение о том, что при формировании ассортимента объектов озеленения и защитных посадок

с использованием ясеня обыкновенного следует принимать во внимание не только собственно содержание жиров в различных тканях его побегов, но и наследственные особенности особей, которые могут существенно влиять на выживаемость и адаптацию растений в новых условиях. Учет и правильное понимание этих факторов могут значительно повысить успех создания искусственных насаждений различного целевого назначения, породного состава и конструкций.

ВЫВОДЫ

Полученные данные могут иметь практическое значение для культивирования ясеня обыкновенного и понимания его адаптационных свойств к различным условиям окружающей среды. Определено, что деревья с высоким накоплением запасных питательных веществ могут демонстрировать лучшую устойчивость к неблагоприятным условиям и иметь повышенную продуктивность. Физиологические процессы, происходящие в растениях, влияют на накопление запасных веществ. При одномоментном анализе было выявлено, что содержание жиров в различных тканях имеет широкий диапазон значений между отдельными деревьями, участвующими в эксперименте. Неоднородность, выявленная в ходе сравнительного анализа биологических объектов, наблюдалась на общем фоне одинаковых экологических условий и сохранялась при одинаковых лесорастительных и технологических условиях. Это свидетельствует о том, что причины такой дифференциации имеют внутреннее происхождение и обусловлены наследственностью. Анализ содержания жиров в тканях испытываемых растений показал соответствие их физиологии природным условиям региона. Это можно считать надёжным показателем того, что они успешно вегетируют и произрастают на территории памятника природы регионального (областного) значения Малиновая Гряда в Нижегородской области г. Нижнего Новгорода.

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. Ахматов К. А. Методы определения зимостойкости древесных растений. Фрунзе: Илим, 1968. 40 с.
4. Бабаев Р. Н. Содержание жиров в тканях побегов разных видов и форм березы в условиях интродукции // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2021. № 60. С. 100–104.
5. Бабаев Р. Н., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Содержание и баланс запасных веществ в побегах аборигенной и интродуцированных в Нижегородскую область видов и форм березы // Труды Санкт-

Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2022а. № 1. С. 59–71.

6. Бабаев Р. Н., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Содержание и баланс запасных веществ представителей рода *Betula* L. // Лесное хозяйство: актуальные проблемы и пути их решения : сб. науч. ст. по матер. Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Владимира Петровича Бессчетнова, заведующего кафедрой лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, доктора биологических наук, профессора и 30-летию высшего лесного образования в Нижегородской области: г. Нижней Новгород, 25 ноября 2022 г. / под общ. ред. Н. Н. Бессчетновой [в ред. авторов]. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА. 2022б. С. 394–406.

7. Барская Е. И. Изменения хлоропластов и вызревание побегов в связи с морозоустойчивостью древесных растений. М. : Наука. 1967. 223 с.

8. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н. Селекционная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной методами многомерного анализа // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2012. № 2(326). С. 58–64.

9. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н. Образование и лигнификация ксилемы плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Лесной журнал. 2013. № 2 (332). С. 45–52.

10. Показатели химического и гранулометрического состава дерново-подзолистых почв под сосновыми лесами на территории заповедника «Керженский» Нижегородской области / В. П. Бессчетнов, Н. Н. Бессчетнова, О. Ю. Храмова, Л. И. Клишина, Н. Д. Печникова // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2 (26). С. 34–42.

11. Бессчетнова Н. Н. Содержание запасных веществ и ход лигнификации в тканях побегов у вегетативного потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Актуальные проблемы лесного хозяйства Нижегородского Поволжья и пути их решения : сб. науч. ст. по материалам науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию НГСХА. Нижний Новгород. 2005. С. 20–28.

12. Бессчетнова Н. Н. Скорость сезонного роста ксилемы в годичных побегах клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2008. № 2. С. 4–10.

13. Бессчетнова Н. Н. Содержание жиров в клетках побегов плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2012. № 4(328). С. 48–55.

14. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Черных В. Л. Генотипическое несходство плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по физиологическому состоянию побегов // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 4(28). С. 35–49.

15. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Влияние вододерживающей способности как фактор повышения устойчивости и биологической продуктивности сосновых лесов // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и

дистанционный мониторинг : сб. науч. ст. / отв. ред. Э. А. Курбанов. Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2016а. С. 132–141.

16. Бессчетнова Н. Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Эффективность отбора плюсовых деревьев : монография. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2016б. 382 с.

17. Содержание крахмала в тканях побегов разных видов ели (*Picea a. Dietr.*) в условиях интродукции / Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, А. В. Кулькова, И. В. Мишукова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017. № 4(358). С. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57.

18. Корреляция содержания крахмала в тканях побегов представителей рода ель (*Picea a. Dietr.*) / Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, А. В. Кулькова, А. И. Широков // Вестник Казанского государственного аграрного университета. Научный журнал. 2018. № 2(49). С. 19–22. DOI: 10.12737/article_5b34ff5f201623.29401443.

19. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Бессчетнов П. В. Содержание и баланс запасных веществ в тканях побегов тополей в Нижегородском Поволжье // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020а. № 232. С. 92–104. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.92-104.

20. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов П. В. Дифференциация пылезадерживающей способности кроны тополей // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. № 5. С. 48–64. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-48-64.

21. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Паникаров И. И. Пылезадерживающая способность хвои ели колючей в насаждениях г. Нижнего Новгорода // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. № 1(247). С. 188–208. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.188-208.

22. Содержание и баланс запасных веществ в побегах представителей рода рододендрон (*Rhododendron* L.) / А. В. Богданова, О. Ю. Храмова, М. И. Полоникова, А. Б. Захаров // Ландшафтная архитектура и природообустройство: от проекта до экономики – 2024 : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. г. Саратов – Нижний Новгород: 4–5 апреля 2024 года / под науч. ред. О. Б. Сокольской, И. Л. Воротникова, Д. А. Соловьёва. Саратов – Нижний Новгород : Вавиловский университет, НГАСУ. 2024. С. 272–280.

23. Генкель П. А., Окнина Л. Ф. Состояние покоя и морозоустойчивость плодовых растений. М. : Наука, 1964. 242 с.

24. Есичев А. О., Бессчетнова Н. Н. Индивидуальная изменчивость лиственницы сибирской по содержанию жиров в тканях побегов // Сельские территории – основа развития страны: современное состояние, проблемы и перспективы : материалы Всерос. (нац.) науч.-практ. конф. науч.-пед. работников и молодых ученых: г. Нижний Новгород, 28–29 апреля 2021 г. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА. 2021а. С. 35–40.

25. Есичев А. О., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Содержание жиров в тканях побегов лиственницы

сибирской в условиях интродукции в Нижегородскую область // Хвойные бореальной зоны. 2021б. Т. XXXIX, № 3. С. 180–190.

26. Содержание и баланс запасных веществ в побегах лиственницы сибирской в условиях реинтродукции в Нижегородскую область / А. О. Есичев, Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, А. Н. Бабич, Е. Ж. Кентбаев, Б. А. Кентбаева // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022а. Т. 26. № 1. С. 17–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27.

27. Есичев А. О., Бессчетнова Н. Н. Индивидуальная изменчивость лиственницы сибирской по содержанию жиров в тканях побегов // Сельские территории – основа развития страны: современное состояние, проблемы и перспективы : материалы Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. науч.-педагогич. работников и молодых ученых, посвященной 70-летию Почетного работника высшего профессионального образования Российской Федерации, Почетного работника агропромышленного комплекса России Безаева Ивана Ивановича. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА. 2022б. С. 35–40.

28. Колесников А. И. Декоративная дендрология. М., 1974. 703 с.

29. Крамер П. Д., Козловский Т. Т. Физиология древесных растений : пер. с англ. М. : Лесная промышленность, 1983. 464 с.

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

31. Либберт Э. Физиология растений : пер. с нем. М. : Мир, 1976. 582 с.

32. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-И. Физиология древесных растений : пер. с нем. М. : Лесная промышленность, 1974. 424 с.

33. Мартынова Н. В., Бессчетнова Н. Н. Содержание и баланс запасных питательных веществ в побегах бирючины обыкновенной (*Ligustrum vulgare* L.) при интродукции в Нижегородскую область // Актуальные проблемы устойчивого развития лесного комплекса : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию высшего лесного образования в Казахстане: г. Алматы, 16–17 ноября 2018 г. Алматы : Айтумар. 2018. С. 105–110.

34. Мартынова Н. В. Сравнительная оценка содержания крахмала в клетках тканей годичных побегов бирючины обыкновенной (*Ligustrum vulgare* L.) // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : материалы XIX Междунар. науч.-техн. конф. (Вологда, 7 декабря 2021 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Вологодский государственный университет; Правительство Вологодской области, Департамент лесного комплекса Вологодской области; [отв. ред. С. М. Хамитова]. Вологда : ВоГУ, 2021б. С. 210–214.

35. Мартынова Н. В., Мартынов Р. В. Содержание крахмала в тканях годичных побегов ясеня обыкновенного на территории памятника природы регионального (областного) значения Малиновая Гряда // Лесное хозяйство: актуальные проблемы и пути их решения : сб. науч. ст. по матер. Всерос. (нац.) науч.-

практ. конф., посвящ. 70-летию Владимира Петровича Бессчетнова, заведующего кафедрой «Лесные культуры» Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, доктора биологических наук, профессора и 30-летию высшего лесного образования в Нижегородской области, Нижний Новгород, 25 ноября 2022 года / под общ. ред. Н. Н. Бессчетновой [в ред. авторов]. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА. 2022а. С. 274–281.

36. Мартынова Н. В., Мартынов Р. В. Оценка содержания крахмала в тканях годичных побегов ясеня обыкновенного в условиях Нижнего Новгорода // Лесное хозяйство: актуальные проблемы и пути их решения : сб. науч. ст. по матер. Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Владимира Петровича Бессчетнова, заведующего кафедрой «Лесные культуры» Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, доктора биологических наук, профессора и 30-летию высшего лесного образования в Нижегородской области, Нижний Новгород, 25 ноября 2022 года / под общ. ред. Н. Н. Бессчетновой [в ред. авторов]. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА. 2022б. С. 281–289.

37. Мартынова Н. В., Мартынов Р. В. Дисперсионный анализ содержания крахмала в тканях годичных побегов ясеня обыкновенного в условиях Нижнего Новгорода // Лесное хозяйство: актуальные проблемы и пути их решения : сб. науч. ст. по матер. Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Владимира Петровича Бессчетнова, заведующего кафедрой «Лесные культуры» Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, доктора биологических наук, профессора и 30-летию высшего лесного образования в Нижегородской области, Нижний Новгород, 25 ноября 2022 года / под общ. ред. Н. Н. Бессчетновой [в ред. авторов]. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА. 2022в. С. 290–298.

38. Паникаров И. И., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Взаимозависимость параметров хвои ели колючей в определении её пылезадерживающей способности // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 6. С. 495–503. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-6-495-503.

39. Паникаров И. И., Бессчетнова Н. Н., Воробьев Р. А. Изменчивость параметров хвои ели колючей в объектах озеленения Нижнего Новгорода // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XX Всерос. (национальной) науч.-техн. конф. студентов и аспирантов / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург : УГЛТУ. 2024. С. 303–308.

40. Сабинин Д. А. Физиология развития растений. М. : Изд-во АН СССР, 1963. 196 с.

41. Сергеев А. И. Выносливость растений. М., 1953. 284 с.

42. Ханявин А. И. Содержание и баланс запасных веществ в тканях побегов туи западной при интродукции в Нижегородскую область // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4(36). С. 72–84.

43. Diego N. de., Sampedro M. C., Barrio R. J., Saiz-Fernández I., Moncaleán P., Lacuesta M. Solute

accumulation and elastic modulus changes in six radiata pine breeds exposed to drought // *Tree Physiology*. 2013. Vol. 33, no. 1. Pp. 69–80.

44. Kramer P. J. The role of physiology in forestry // *The Forestry Chronicle*. 1956. Vol. 32, no. 3. Pp. 297–308. DOI: 10.5558/tfc32297-3.

45. Peguero-Pina J. J., Morales F., Gil-Pelegrín E. Frost damage in *Pinus sylvestris* L. stems assessed by chlorophyll fluorescence in cortical bark chlorenchyma // *Annals of Forest Science*. 2008. Vol. 65, no. 8(813). Pp. 813p1–813p6.

46. Mencuccini M., Hölttä T. The significance of phloem transport for the speed with which canopy photosynthesis and respiration are linked // *New phytologist*. 2010. Vol. 185, no. 1. Pp. 189–203.

47. Mencuccini M., Hölttä T., Sevanto S., Nikinmaa E. Concurrent measurements of change in the bark and xylem diameters of trees reveal a phloem-generated turgor signal // *New phytologist*. 2013. Vol. 198, no. 4. Pp. 1143–1154. DOI: 10.1111/nph.12224/epdf.

48. Zweifel R., Steppe K., Sterck F. J. Stomatal regulation by microclimate and tree water relations: interpreting ecophysiological field data with a hydraulic plant model // *Journal of Experimental Botany*. 2007. Vol. 58, no. 8. Pp. 2113–2131.

REFERENCES

1. Averkiyev D. S. Istoriya razvitiya rastitel'nogo pokrova Gor'kovskoy oblasti i yeye botaniko-geograficheskoye deleniye // *Uchen'yye zapiski Gor'kovskogo universiteta. Gor'kiy*. 1954. Vyp. XXXV. S. 119–136.

2. Alekhin V. V. Ob'yasnitel'naya zapiska k geobotanicheskim kartam (sovremennoy i vosstanovlennoy) byvshey Nizhegorodskoy gubernii (v masshtabe 1:500.000). Leningrad – Gor'kiy : Gor'kovskiy gosudarstvennyy universitet – 1 kartograficheskaya fabrika VKT (tip. 1 kartogr. fabriki VKT), 1935. 67 s.

3. Akhmatov K. A. Metody opredeleniya zimostoykosti drevesnykh rasteniy. Frunze : Ilim, 1968. 40 s.

4. Babayev R. N. Soderzhaniye zhirov v tkanyakh pobegov raznykh vidov i form berezy v usloviyakh introduktsii // *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa*. 2021. № 60. S. 100–104.

5. Babayev R. N., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Soderzhaniye i balans zapasnykh veshchestv v pobegakh aborigennoy i introdutsirovannykh v Nizhegorodskuyu oblast' vidov i form berezy // *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva*. 2022a. № 1. S. 59–71.

6. Babayev R. N., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Soderzhaniye i balans zapasnykh veshchestv predstaviteley roda *Betula* L. // *Lesnoye khozyaystvo: aktual'nyye problemy i putiikh resheniya. Sb. nauch. st. po mater. vseros. (nats.) nauch.-prakt. konf., posvyashch. 70-letiyu Vladimira Petrovicha Besschetnova, zaveduyushchego kafedroy lesnykh kul'tur Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii, doktora biologicheskikh nauk, professora i 30-letiyu vysshego lesnogo obrazovaniya v Nizhegorodskoy oblasti: g. Nizhny Novgorod, 25 noyabrya 2022 g. / pod obshch. red. N. N. Besschetnovoy [v red.avtorov]. Nizhny Novgorod : Nizhegorodskaya GSKHA. 2022b. S. 394–406.*

7. Barskaya Ye. I. Izmeneniya khloroplastov i vyzrevaniye pobegov v svyazi s morozoustoychivost'yu drevesnykh rasteniy. M. : Nauka. 1967. 223 s.

8. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N. Seleksionnaya otsenka plyusovykh derev'yev sosny obyknovennoy metodami mnogomernogo analiza // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2012. № 2(326). S. 58–64.

9. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N. Obrazovaniye i lignifikatsiya ksilemy plyusovykh derev'yev sosny obyknovennoy // *Lesnoy zhurnal*. 2013. № 2 (332). S. 45–52.

10. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N., Khramova O. Yu., Klishina L. I., Pechnikova N. D. Pokazateli khimicheskogo i granulometricheskogo sostava derno-podzolistykh pochv pod osnovnymi lesami na territorii zapovednika «Kerzhenskiy» Nizhegorodskoy oblasti // *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2020. № 2 (26). S. 34–42.

11. Besschetnova N. N. Soderzhaniye zapasnykh veshchestv i khod lignifikatsii v tkanyakh pobegov u vegetativnogo potomstva plyusovykh derev'yev sosny obyknovennoy // *Aktual'nyye problemy lesnogo khozyaystva Nizhegorodskogo Povolzh'ya i puti ikh resheniya. Sbornik nauchnykh statey po materialam nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu NGSKHA. Nizhny Novgorod, 2005. S. 20–28.*

12. Besschetnova N. N. Skorost' sezonnogo rosta ksilemy v godichnykh pobegakh klonov plyusovykh derev'yev sosny obyknovennoy // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoy vestnik*. 2008. № 2. S. 4–10.

13. Besschetnova N. N. Soderzhaniye zhirov v kletkakh pobegov plyusovykh derev'yev sosny obyknovennoy // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2012. № 4(328). S. 48–55.

14. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Chernykh V. L. Genotipicheskoye neskhodstvo plyusovykh derev'yev sosny obyknovennoy (*Pinus sylvestris* L.) po fiziologicheskomu sostoyaniyu pobegov // *Vestnik PGU. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye*. 2015. № 4(28). S. 35–49.

15. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Vliyaniye vodoudержivayushchey sposobnosti kak faktor povysheniya ustoychivosti i biologicheskoy produktivnosti osnovnykh lesov // *Lesnyye ekosistemy v usloviyakh izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distantsionnyy monitoring. Sbornik nauchnykh statey / Otvet. red. E. A. Kurbanov. Yoshkar-Ola: Povolzhskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet, 2016a. S. 132–141.*

16. Besschetnova N. N. Sosna obyknovennaya (*Pinus sylvestris* L.). Effektivnost' otbora plyusovykh derev'yev. Monografiya. Nizhny Novgorod : Nizhegorodskaya gosudarstvennaya sel'sko-khozyaystvennaya akademiya, 2016b. 382 s.

17. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Kul'kova A. V., Mishukova I. V. Soderzhaniye krakhmala v tkanyakh pobegov raznykh vidov yeli (*Picea a. Dietr.*) v usloviyakh introduktsii // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2017. № 4(358). S. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57.

18. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Kul'kova A. V., Shirokov A. I. Korrelyatsiya soderzhaniya krakhmala v tkanyakh pobegov predstaviteley roda yel' (picea a. Dietr.) // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Nauchnyy zhurnal. 2018. № 2(49). S. 19–22. DOI: 10.12737/article_5b34ff5f201623.29401443.
19. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Besschetnov P. V. Soderzhaniye i balans zapasnykh veshchestv v tkanyakh pobegov topoley v Nizhegorodskom Povolzh'ye // Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii. 2020a. № 232. S. 92–104. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.92-104.
20. Besschetnova N. N., Besschetnov P. V. Differentsiatsiya pylezaderzhivayushchey sposobnosti krony topoley // Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal. 2021. № 5. S. 48–64. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-5-48-64.
21. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Panikarov I. I. Pylezaderzhivayushchaya sposobnost' khvoi yeli kolyuchey v nasazhdeniyakh g. Nizhnego Novgoroda // Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii. 2024. № 1(247). S. 188–208. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.188-208.
22. Bogdanova A. V., Khranova O. Yu., Poloynikova M. I., Zakharov A. B. Soderzhaniye i balans zapasnykh veshchestv v pobegakh predstaviteley roda rododendron (Rhododendron L.) // Landshaftnaya arkhitektura i prirodoobustroystvo: ot proyekta do ekonomiki – 2024. Materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: g. Saratov – Nizhniy Novgorod: 4–5 aprelya 2024 goda / Pod nauch. red. O. B. Sokol'skoy, I. L. Vorotnikova, D. A. Solov'yeva. Saratov – Nizhniy Novgorod: Vavilovskiy universitet, NGATU. 2024. S. 272–280.
23. Genkel' P. A., Oknina L. F. Sostoyaniye pokoya i morozoustoychivost' plodovykh rasteniy. M. : Nauka, 1964. 242 s.
24. Yesichev A. O., Besschetnova N. N. Individual'naya izmenchivost' listvennitsy sibirskoy po soderzhaniyu zhirov v tkanyakh pobegov // Sel'skiye territorii – osnova razvitiya strany: sovremennoye sostoyaniye, problemy i perspektivy. Mater. Vseross. (nats.) nauch.-prakt. konf. nauchn.-ped. rabotnikov i molodykh uchenykh: g. Nizhniy Novgorod, 28–29 aprelya 2021 g. Nizhniy Novgorod : Nizhegorodskaya GSKHA. 2021a. S. 35–40.
25. Yesichev A. O., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Soderzhaniye zhirov v tkanyakh pobegov listvennitsy sibirskoy v usloviyakh introduktsii v Nizhegorodskuyu oblast' // Khvoynyye boreal'noy zony. 2021b. T. XXXIX, № 3. S. 180–190.
26. Yesichev A. O., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Babich A. N., Kentbayev Ye. Zh., Kentbayeva B. A. Soderzhaniye i balans zapasnykh veshchestv v pobegakh listvennitsy sibirskoy v usloviyakh reintroduktsii v Nizhegorodskuyu oblast' // Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2022a. T. 26. № 1. S. 17–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27.
27. Yesichev A. O., Besschetnova N. N. Individual'naya izmenchivost' listvennitsy sibirskoy po soderzhaniyu zhirov v tkanyakh pobegov // Sel'skiye territorii – osnova razvitiya strany: sovremennoye sostoyaniye, problemy i perspektivy : Materialy Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii nauchno-pedagogicheskikh rabotnikov i molodykh uchenykh, posvyashchennoy 70-letiyu Pochetnogo rabotnika vysshego professional'nogo obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii, Pochetnogo rabotnika agropromyshlennogo kompleksa Rossii Bezayeva Ivana Ivanovicha. Nizhniy Novgorod : Nizhegorodskaya GSKHA. 2022b. S. 35–40.
28. Kolesnikov A. I. Dekorativnaya dendrologiya. M., 1974. 703 s.
29. Kramer P. D., Kozlovskiy T. T. Fiziologiya drevnykh rasteniy : Per. s angl. M. : Lesnaya promyshlennost', 1983. 464 s.
30. Kupriyanov N. V., Veretennikov S. S., Shishov V. V. Lesa i lesnoye khozyaystvo Nizhegorodskoy oblasti. Nizhniy Novgorod : Volgo-Vyatskoye knizhnoye izdatel'stvo, 1995. 349 s.
31. Libbert E. Fiziologiya rasteniy: Per. s nem. M. : Mir, 1976. 582 s.
32. Lir Kh., Pol'ster G., Fidler G.-I. Fiziologiya drevnykh rasteniy: Per. s nem. M. : Lesnaya prom-st', 1974. 424 s.
33. Martynova N. V., Besschetnova N. N. Soderzhaniye i balans zapasnykh pitatel'nykh veshchestv v pobegakh biryuchiny obyknovennoy (Ligustrum vulgare L.) pri introduktsii v Nizhegorodskuyu oblast' // Aktual'nyye problemy ustoychivogo razvitiya lesnogo kompleksa. Mezhdunarodnaya nauchnoprakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 70-letiyu vysshego lesnogo obrazovaniya v Kazakhstane: g. Almaty, 16–17 noyabrya 2018 g. Almaty : Aytumar. 2018. S. 105–110.
34. Martynova N. V. Sravnitel'naya otsenka soderzhaniya krakhmala v kletkakh tkaney godichnykh pobegov biryuchiny obyknovennoy (Ligustrum vulgare L.) // Aktual'nyye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: materialy XIX Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Vologda, 7 dekabrya 2021 g.) / Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii, Vologodskiy gosudarstvennyy universitet; Pravitel'stvo Vologodskoy oblasti, Departament lesnogo kompleksa Vologodskoy oblasti; [otvetstvennyy redaktor S. M. Khamitova]. Vologda : VOGU, 2021b. S. 210–214.
35. Martynova N. V., Martynov R. V. Soderzhaniye krakhmala v tkanyakh godichnykh pobegov yaseny obyknovennogo na territorii pamyatnika prirody regional'nogo (oblastnogo) znacheniya Malinovaya Gryada // Lesnoye khozyaystvo: aktual'nyye problemy i puti ikh resheniya: Sb. nauch. st. po mater. vseros. (nats.) nauch.-prakt. konf., posvyashch. 70-letiyu Vladimira Petrovicha Besschetnova, zaveduyushchego kafedroy «Lesnyye kul'tury» Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii, doktora biologicheskikh nauk, professora i 30-letiyu vysshego lesnogo obrazovaniya v Nizhegorodskoy oblasti, Nizhniy Novgorod, 25 noyabrya 2022 goda / pod obshch. red. N. N. Besschetnovoy [v red.avtorov]. Nizhniy Novgorod : Nizhegorodskaya GSKHA. 2022a. S. 274–281.
36. Martynova N. V., Martynov R. V. Otsenka soderzhaniya krakhmala v tkanyakh godichnykh pobegov yaseny obyknovennogo v usloviyakh Nizhnego Novgoroda // Lesnoye khozyaystvo: aktual'nyye problemy i puti ikh resheniya : Sb. nauch. st. po mater. vseros. (nats.) nauch.-prakt. konf., posvyashch. 70-letiyu Vladimira

Petrovicha Besschetnova, zaveduyushchego kafedroy «Lesnyye kul'tury» Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii, doktora biologicheskikh nauk, professora i 30-letiyu vysshego lesnogo obrazovaniya v Nizhegorodskoy oblasti, Nizhniy Novgorod, 25 noyabrya 2022 goda / pod obshch. red. N. N. Besschetnovoy [v red. avtorov]. Nizhniy Novgorod : Nizhegorodskaya GSKHA. 2022b. S. 281–289.

37. Martynova N. V., Martynov R. V. Dispersionnyy analiz soderzhaniya krakhmala v tkanyakh godichnykh pobegov yasenya obyknovennogo v usloviyakh Nizhnego Novgoroda // Lesnoye khozyaystvo: aktual'nyye problemy i puti ikh resheniya : Sb. nauch. st. po mater. vseros. (nats.) nauch.-prakt. konf., posvyashch. 70-letiyu Vladimira Petrovicha Besschetnova, zaveduyushchego kafedroy «Lesnyye kul'tury» Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii, doktora biologicheskikh nauk, professora i 30-letiyu vysshego lesnogo obrazovaniya v Nizhegorodskoy oblasti, Nizhniy Novgorod, 25 noyabrya 2022 goda / pod obshch. red. N. N. Besschetnovoy [v red. avtorov]. Nizhniy Novgorod : Nizhegorodskaya GSKHA. 2022v. S. 290–298.

38. Panikarov I. I., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Vzaimozavisimost' parametrov khvoi yeli kolyuchey v opredelenii yeyë pylezaderzhivayushchey sposobnosti // Khvoynyye boreal'noy zony. 2023. T. XLI, № 6. S. 495–503. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-6-495-503.

39. Panikarov I. I., Besschetnova N. N., Vorob'yev R. A. Izmenchivost' parametrov khvoi yeli kolyuchey v ob'yektakh ozeleneniya Nizhnego Novgoroda // Nauchnoye tvorчество molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii. Materialy XX Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov / Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii, Ural'skiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskii universitet. Yekaterinburg : UGLTU. 2024. S. 303–308.

40. Sabinin D. A. Fiziologiya razvitiya rasteniy. M. : Izd-vo AN SSSR, 1963. 196 s.

41. Sergeyev A. I. Vynoslivost' rasteniy. M., 1953. 284 s.

42. Khanyavin A.I. Soderzhaniye i balans zapasnykh veshchestv v tkanyakh pobegov tui zapadnoy pri introduksii v Nizhegorodskuyu oblast' // Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2022. № 4(36). S. 72–84.

43. Diego N. de., Sampedro M. C., Barrio R. J., Saiz-Fernández I., Moncaleán P., Lacuesta M. Solute accumulation and elastic modulus changes in six radiata pine breeds exposed to drought // Tree Physiology. 2013. Vol. 33, no. 1. Pp. 69–80.

44. Kramer P.J. The role of physiology in forestry // The Forestry Chronicle. 1956. Vol. 32, no. 3. Pp. 297–308. DOI: 10.5558/tfc32297-3

45. Peguero-Pina J. J., Morales F., Gil-Pelegrín E. Frost damage in Pinus sylvestris L. stems assessed by chlorophyll fluorescence in cortical bark chlorenchyma // Annals of Forest Science. 2008. Vol. 65, no. 8(813). Pp. 813p1–813p6.

46. Mencuccini M., Hölttä T. The significance of phloem transport for the speed with which canopy photosynthesis and respiration are linked // New phytologist. 2010. Vol. 185, no. 1. Pr. 189–203.

47. Mencuccini M., Hölttä T., Sevanto S., Nikinmaa E. Concurrent measurements of change in the bark and xylem diameters of trees reveal a phloem-generated turgor signal // New phytologist. 2013. Vol. 198, no. 4. Pp. 1143–1154. DOI: 10.1111/nph. 12224/epdf.

48. Zweifel R., Steppe K., Sterck F. J. Stomatal regulation by microclimate and tree water relations: interpreting ecophysiological field data with a hydraulic plant model // Journal of Experimental Botany. 2007. Vol. 58, no. 8. Pp. 2113–2131.

© Мартынова Н. В., 2025

Поступила в редакцию 15.09.2024
Принята к печати 18.02.2025

ИЗМЕНЕНИЕ С ВОЗРАСТОМ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ КОНКУРЕНЦИИ ПОСЛЕПОЖАРНОГО БЕРЕЗОВОГО ДРЕВОСТОЯ В ОТНОШЕНИИ ПОДРОСТА КЕДРА СИБИРСКОГО*

Н. В. Танцырев, Г. В. Андреев

Ботанический сад УрО РАН
Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а

Аннотация. На основе микроэкосистемного подхода рассмотрена конкуренция березовых древостоев в низкогорных лесах восточного макросклона Среднего Урала в отношении подроста сосны (кедра) сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour). Работа выполнена с использованием индексов световой (Искд), корневой (Иккд) и интегральной конкуренции древостоя (Иксд) в послепожарных ягодниково-зеленомошных березняках 13-ти, 32-х и 70-летнего возраста, представляющих собой элементы одного генетического ряда развития потенциального кедровника. В 13-летнем молодняке при почти полной солнечной инсоляции и слабой связи ($R^2 = 0,23$) со световой конкуренцией, основным фактором, определяющим рост и развитие подроста кедра, является конкуренция древостоя за почвенное питание, выраженная относительно тесной ($R^2 = 0,66$) отрицательной связью среднего вертикального прироста подроста с Иккд. В 32-летнем средневозрастном березняке наблюдается совместное, практически одинаковое, влияние факторов световой ($R^2 = 0,62$) и корневой ($R^2 = 0,52$) конкуренции на рост подроста кедра сибирского. В спелом 70-летнем березняке основным фактором, влияющим на рост подроста кедра, является световая конкуренция, выраженная тесной ($R^2 = 0,77$) связью с Искд, а связь с корневой конкуренцией не выявлена. Предположительно, такие изменения связаны с адаптивными возможностями и особенностями почвенного питания подроста кедра сибирского и изменением в процессе развития послепожарного березняка степени насыщенности верхнего горизонта почвы органическими соединениями, образующимися при разложении лесной подстилки.

Ключевые слова: *Pinus sibirica*, подрост, потенциальный кедровник; конкуренция древостоя; индексы корневой, световой, интегральной конкуренции.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 1, P. 55–61

CHANGES WITH AGE IN THE MAIN FACTORS OF THE POST-FIRE BIRCH TREE STAND COMPETITION IN RELATION TO THE SIBERIAN STONE PINE UNDERGROWTH

N. V. Tantsyrev, G. V. Andreev

Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
202a, 8 Marta Str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

Abstract. The competition of birch stands in low-mountain forests of the eastern macroslope of the Middle Urals in relation to the undergrowth of Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) is considered based on the microecosystem approach. The work was carried out using indices of light (Ilsc), root (Ipsc) and integral competition of the stand (Irlsc) in post-fire berry-green moss birch forests of 13, 32 and 70 years of age, which are elements of one genetic series of development of a potential Siberian stone pine forest. In a 13-year-old young birch forest with almost complete solar radiation and a weak relationship ($R^2 = 0.23$) with Ilsc, the main factor determining the growth and development of the Siberian stone pine undergrowth is the competition of the stand for soil nutrition, expressed by a relatively close ($R^2 = 0.66$) negative relationship of the average vertical growth of the undergrowth with Ipsc. In a 32-year-old middle-aged birch forest, a joint, almost identical, influence of the factors of light ($R^2 = 0.62$) and root ($R^2 = 0.52$) competition on the growth of the Siberian stone pine undergrowth is observed. In a mature 70-year-old birch forest, the main factor influencing the growth of Siberian stone pine undergrowth is light competition, expressed by a close ($R^2 = 0.77$) relationship with Ilsc, and no relationship was found with root competition. Such changes are probably related to the adaptive capacity and soil nutrition of the Siberian stone pine undergrowth characteristics and to changes in the degree of saturation of the upper soil horizon with organic compounds formed during the decomposition of forest litter during the development of a post-fire birch forest.

Keywords: *Pinus sibirica*, undergrowth, potential Siberian stone pine forest, stand competition; indices of root, light, integral competition.

* Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ботанический сад УрО РАН.

ВВЕДЕНИЕ

Предположительно подавляющее большинство зеленомошных кедровников Западной Сибири и низкогорно-предгорного Урала и Зауралья, имея послепожарное происхождение, прошли в своем развитии светлохвойно-мягколиственную стадию [3; 4; 6; 11; 17; 18 и др.]. Первоначальное возобновление сосны (кедра) сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) на гарях в зеленомошных типах леса протекает в кратчайшие сроки одновременно с другими лесообразующими древесными видами, но эдификатором в этом случае выступают мягколиственные [6; 11; 18; 20]. Дальнейшее возобновление кедра под пологом мягколиственных древостоев многими авторами рассматривалось, как вполне естественное закономерное явление. Во многих случаях численность и состояние подроста кедра сибирского под их пологом значительно превышает таковую в материнских кедровниках. Сами такие производные мягколиственные древостои с обильным подростом кедра рассматриваются как «потенциальные кедровники» [3].

В настоящее время формирование производных мягколиственных древостоев на месте гибели коренных темнохвойных лесов с участием кедра сибирского рассматривается, как объективный промежуточный и наиболее перспективный этап восстановления последних, имеющий положительное значение с точки зрения улучшения лесорастительных условий [2; 18; 25]. Процессам формирования кедровых лесов через мягколиственную формацию посвящено значительное количество работ. Доказана возможность переформирования их при распаде верхнего яруса в коренные кедровники [2; 8; 10]. Основное внимание при изучении развития кедровых лесов уделялось количеству и жизненности подроста кедра, параметрам древостоя и других составляющих компонентов, а также среднестатистическим параметрам условий среды, в первую очередь уровню проникающей под полог древостоев фотосинтетически активной радиации (ФАР). Именно недостаток света, вызванный световой конкуренцией древостоя (СКД), считается главным, определяющим фактором ограничения роста и развития всех растений нижних ярусов во всех лесных экосистемах [7; 9; 27 и др.]. Проводимые детальные исследования влияния общей конкуренции древостоев с обоснованием индекса его корневой конкуренции в отношении подроста позволило установить в ряде случаев относительно равное влияние фактора корневой конкуренции древостоя (ККД) за почвенное питание с конкуренцией за ФАР, либо его приоритетность [13; 16; 21; 22].

Цель данной работы – анализ изменения влияния факторов световой и корневой конкуренции послепожарного древостоя березняка ягодниково-зеленомошного с изменением его возраста в отношении подроста кедра сибирского.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение структурно-функциональных связей подроста кедра сибирского с древостоем-эдификатором с преобладанием в составе березы повислой (*Betula pendula* Roth) на основе микроэкосистемного подхода [14] проводилось в подзоне средней тайги северной предгорно-низкогорной части (250 м н.у.м.) восточного макросклона Среднего Урала (Новолялинское лесничество Свердловская обл. 59° с.ш., 59° в.д.). С этой целью пробные площади были заложены в послепожарных березняках 13-ти, 32-х и 70-летнего возраста ягодниково-зеленомошного типа леса, представляющих собой возрастные элементы одного генетического ряда развития потенциального кедровника. В работе частично приведены ранее опубликованные результаты исследования конкуренции древостоя в 70-летнем березняке [23].

Сопреженный учет условий среды, параметров древостоя и подроста *P. sibirica* выполнен на сериях круговых учетных площадок (табл. 1), систематически размещенных на соответствующих пробных площадях. Радиус учетных площадок определен по длине латеральных корней модельных деревьев березы в древостое соответствующего возраста [14; 15; 23]. В центре каждой площадки находится отдельно произрастающий на почве с моховым покровом модельный экземпляр подроста кедра без следов от механических повреждений.

На каждой учетной круговой площадке определены диаметр всех деревьев на высоте 1,3 м, а в 13-летнем березняке – у основания ствола. Измерена их высота и расстояние до модельного экземпляра подроста кедра в центре площадки. На учетных площадках в 13-летнем березняке все древесные растения (кроме модельного экземпляра кедра) были срезаны у основания ствола, у которых взяты поперечные срезы. На других пробных площадях у всех деревьев на учетных площадках с помощью возрастного бурава на высоте 0,5 м взяты керны. В центре площадки и на открытом месте с помощью люксметра в период наиболее интенсивного роста в середине июня в пасмурные дни синхронно определена фотосинтетически активная радиация (ФАР).

Таблица 1
Характеристика пробных площадей

древостой				R, м	N, уп	K, лет	Z, лет
Возраст, лет	Видовой состав	H, м	S, м ²				
13	6Б2С2Ос	2	–	1,5	50	10-11	3
32	7Б2С1Л	10	11,4	3	52	25-30	5
70	9Б1Ос + С	23	21,6	7	80	23-35	5

Примечания: H – средняя высота верхнего яруса древостоя, м; S – сумма площадей сечений стволов на высоте 1,3 м, м²; R – радиус круговых учетных площадок, м; N уп – количество круговых учетных площадок в древостое; K – возраст модельных экземпляров подроста *Pinus sibirica*, лет; Z – период среднего вертикального прироста терминального побега подроста *P. sibirica* и соответствующего среднего прироста деревьев по объему за последние годы, лет.

Возраст модельных экземпляров подроста кедра на всех пробных площадях определен с точностью до одного года по числу вертикальных приростов терминального побега. У модельных экземпляров послепожарного подроста 10–11-летнего возраста на пробной площади в 13-летнем березняке определен средний вертикальный прирост терминального побега за последние 3 года. Подрост кедра к 7-летнему возрасту достигает здесь высоты $37 \pm 1,5$ см и начинает выходить из-под влияния травянистой растительности. У подроста первых послепожарных генераций 25–30-летнего возраста в 32-летнем березняке и 23–35-летнего подроста подпологового возобновления в 70-летнем березняке средний прирост определен за последние 5 лет.

С использованием аппаратуры LinTab–6 определен средний радиальный прирост за последние 3 года по ширине годовичных колец на поперечных срезах древесных растений, взятых на пробной площади в 13-летнем березняке, и за последние 5 лет – на чернах деревьев взятых с других пробных площадей. На основании радиальных приростов был рассчитан прирост деревьев по объему.

Оценка конкуренции древостоя в центрах круговых учетных площадок проведена по разработанной Н. С. Санниковой методике с применением системы индексов световой ($I_{скд}$), корневой ($I_{ккд}$) и интегральной ($I_{скдк}$) конкуренции древостоя [13; 16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В видовом составе послепожарного 13-летнего молодняка средней высотой $1,9 \pm 0,19$ м преобладает береза (*Betula pendula* Roth) – $18,6 \pm 3,6$ тыс. экз./га и в меньшей степени осина (*Populus tremula* L.) – $6,6 \pm 1,2$ тыс. экз./га. Кроме того отмечено значительное количество сосны (*Pinus sylvestris* L.) – $3,7 \pm 0,5$ тыс. экз./га и ивы козьей (*Salix caprea* L.) – $3,5 \pm 0,8$ тыс. экз./га. Количество полроста кедра 5–11-летнего возраста $2,2 \pm 0,4$ тыс. экз./га в $0,9 \pm 0,3$ тыс. «гнезд»/га средней высотой $58 \pm 3,3$ см. Преобладают «гнезда» 9–11-летнего возраста. В среднем в «гнезде» $2,7 \pm 0,4$ экз. Максимальное количество – 12 в 9- и 10-летних «гнездах». Древесные растения других видов единичны.

Послепожарный 32-летний древостой высотой 8–12 м средней сомкнутостью полога 60% сформирован березой ($10,8 \pm 0,6$ тыс. экз./га) с диаметром ствола на высоте 1,3 м 6–12 см с небольшим участием сосны ($1,8 \pm 0,3$ тыс. экз./га) и единичным – лиственницы (*Larix Sukaczewii* N. Dyl.) ($0,2 \pm 0,1$ тыс. экз./га). Численность подроста кедра под его пологом составляет $1,3 \pm 0,1$ тыс. экз./га в $1,2 \pm 0,1$ тыс. «гнезд»/га. Высота подроста кедра первых послепожарных генераций 23–30-летнего возраста ($0,9$ тыс. экз./га преимущественно по одному в «гнезде») колеблется от 1,5 до 4,5 м. Тем самым он остается во втором ярусе под пологом основного древостоя.

Под пологом 70-летнего послепожарного березняка (состав 9Б1Ос ед. С) высотой 23 м, относительной полнотой 0,65 (сумма площадей сечений $21,6$ м²/га) численность крупного подроста (высотой более 1,2 м) хвойных видов составляет около 0,8 тыс. экз./га, из

них 0,65 тыс. экз./га – кедр, остальное – незначительное количество сосны, ели (*Picea obovata* Ledeb) и единично встречается пихта (*Abies sibirica* Ledeb). Подрост кедра в подавляющем большинстве «гнезд» представлен одним экземпляром, единично – двумя. Мелкий подрост древесных растений здесь не встречается. Вероятно, попаданию семян на почву и прорастанию всходов препятствует высокостебельная травянистая растительность (преимущественно *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth.), степень проективного покрытия которой составляет $80,3 \pm 1,7$ %, заросли ($12,0 \pm 1,6$ %) малины (*Rubus ideaus* L.) и шиповника (*Rosa acicularis* Lindl.) и плотный лиственный и травяной опад (ветошь) толщиной до 2 см (степень проективного покрытия $96,9 \pm 5,85$ %).

В 13-летнем молодняке в центральной части большинства круговых учетных площадок (до 70 %) значение индекса световой конкуренции ($I_{скд}$), отражающего уровень перехвата фотосинтетически активной радиации (ФАР) пологом древостоя, не превышает 5 % (рис. 1, а). Это соответствует почти полной проникающей ФАР к модельному экземпляру подроста кедра. Лишь несколько модельных экземпляров находятся под относительно сомкнутым мелколиственным пологом с проникающей ФАР не более 50 %. Поэтому, можно сказать, что влияние световой конкуренции мелколиственного полога на рост подроста кедра здесь не выражено ($R^2 = 0,23$). В этих условиях практически полной освещенности высота модельных экземпляров подроста кедра 10–11-летнего возраста варьирует от 29 см до 134 см (средняя высота $76 \pm 4,1$ см). Значение среднего за последние три года вертикального прироста его терминального побега колеблется в широком диапазоне от 3 см до 26 см. При этом наблюдается относительно тесная отрицательная связь ($R^2 = 0,66$) средних значений прироста терминальных побегов с индексом корневой конкуренции ($I_{ккд}$) березового молодняка за почвенное питание (рис. 1, б). С увеличением значений $I_{ккд}$ от 0 до 2 происходит плавное снижение среднего вертикального прироста с 19,7 см до 4,8 см (почти в 4 раза). Теснота связи ($R^2 = 0,35$) величин приростов терминального побега с эмпирическим комплексным индексом интегральной конкуренции ($I_{скдк}$) древостоя (рис. 1, в), отражающего совместное влияние факторов световой и корневой конкуренции древостоя (ККД), почти в 2 раза ниже связи с $I_{ккд}$, что вероятно вызвано почти полным отсутствием световой конкуренции древостоя (СКД).

В 32-летнем березняке проявляется совместное относительно равное влияние факторов СКД и ККД на рост и развитие подроста кедра. С увеличением значения индекса СКД ($I_{скд}$) в диапазоне 3–80 (рис. 1, г) и индекса ККД ($I_{ккд}$) в диапазоне 0,6–5,8 (рис 1, д) величины средних приростов терминальных побегов подроста кедра 25–30-летнего возраста относительно плавно уменьшаются в десять раз (с 30 см до 3 см). При этом средний текущий вертикальный прирост терминальных побегов несколько более тесно связан (почти в 1,2 раза) с $I_{скд}$ ($R^2 = 0,62$), чем с $I_{ккд}$ ($R^2 = 0,52$). Теснота отрицательной связи ($R^2 = 0,64$) текущих годовичных приростов подроста с индексом

интегральной конкуренции ($I_{\text{скд}}$) несколько превышает (в 1,1–1,3 раза) связи с их частными индексами (рис. 1, *е*). Линия тренда при возрастании значения $I_{\text{скд}}$ от 2 до 29, когда средние величины приростов резко сокращаются с 36 см до 18 см (в 2 раза), имеет более крутую форму. Это может наглядно иллюстрировать определенное совместное влияние этих факторов. В дальнейшем в диапазоне его значений 30–338 средний прирост плавно сокращается до 5 см (в три раза).

Под пологом 70-летнего березняка, по мере увеличения с сомкнутостью древесного полога значения $I_{\text{скд}}$ с 2–10 до 69, происходит также относительно

плавное снижение величины средних приростов терминальных побегов подроста кедр 23–35-летнего возраста высотой 1,5–6 м почти в 8 раз (с 24,6 см до 3,1 см). При этом наблюдается очень тесная отрицательная связь ($R^2 = 0,77$) с $I_{\text{скд}}$ за ФАР (рис. 1, *ж*) их средних за последние пять лет значений. В отличие от 13-ти и 32-летних березняков связь с $I_{\text{ккд}}$ за почвенное питание ($R^2 = 0,001$) здесь не выражена (рис. 1, *и*). Теснота связи ($R^2 = 0,65$) величин приростов терминального побега с эмпирическим индексом интегральной конкуренции ($I_{\text{скд}}$) древостоя (рис. 1, *к*) почти на 25 % ниже связи с $I_{\text{лсд}}$, что вероятно вызвано отсутствием связи с ККД [26].

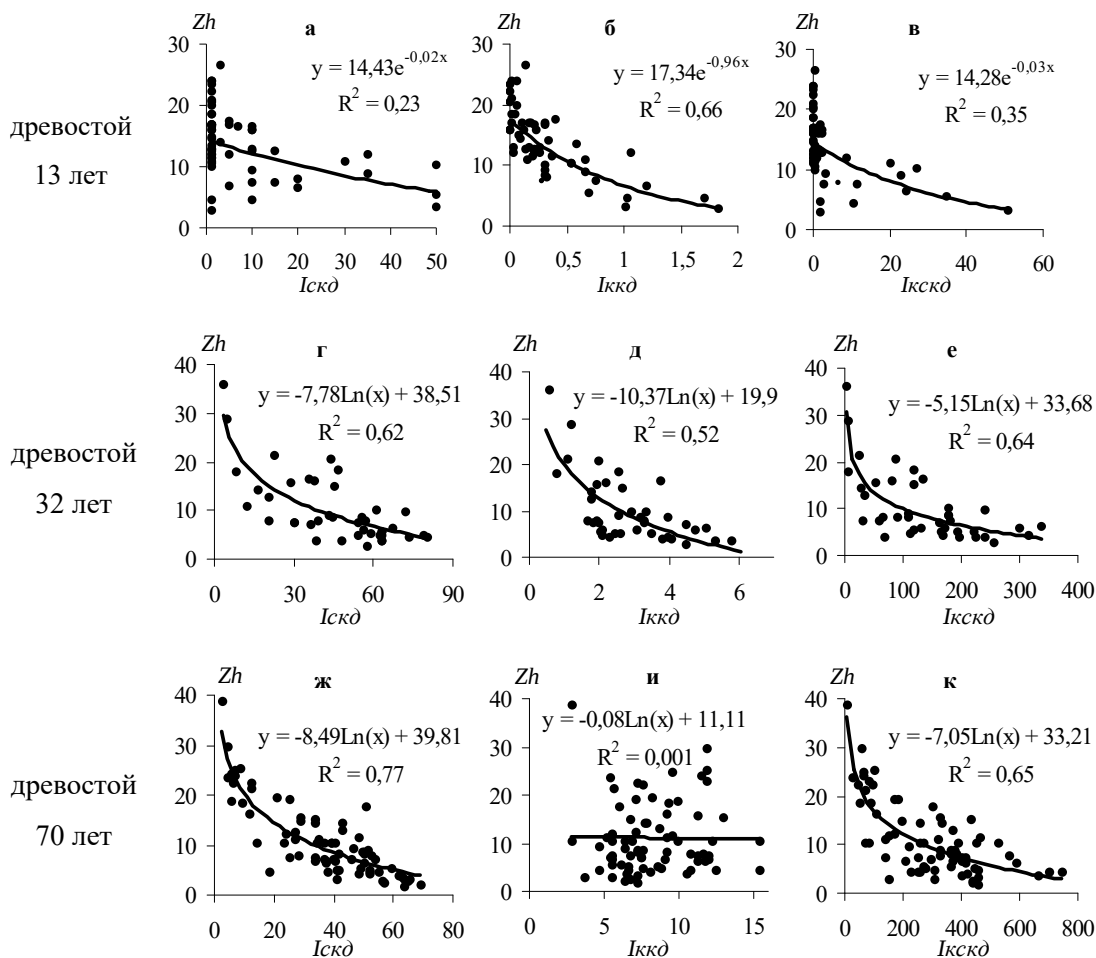


Рис. 1. Связь параметров среднего годовичного вертикального прироста терминальных побегов (Zh , см) подроста *Pinus sibirica* с индексами световой ($I_{\text{скд}}$) (а, г, ж), корневой ($I_{\text{ккд}}$) (б, д, и) и интегральной ($I_{\text{скд}}$) (в, е, к) конкуренции в древостоях 13-, 32-, 70-летнего березняка ягодниково-зеленомошного

Таким образом, по мере развития послепожарного березняка с возрастом происходит увеличение влияния СКД на рост и развитие подроста кедр, произрастающего под его пологом и снижение ККД.

Мы предполагаем [23], что отсутствие связи с конкуренцией древостоя в 70-летнем березняке за почвенное питание может быть связано с разной жизненной стратегией древесных видов, разными зонами и режимом питания [26]. Корни березы приурочены в основном к минеральным горизонтам почвы [28], а корневая система подроста кедр более поверхностная [19].

Корневые системы подроста кедр, произрастающего на полуразложившемся древесном валеже, не достигают почвенного минерального горизонта, а его параметры при одинаковом уровне освещенности (проникающей ФАР) превышают в 1,5 раза параметры подроста, произрастающего на почве [21]. Тем самым подрост кедр успешно растет и развивается без почвенного минерального питания, довольствуясь органическими соединениями, образующимися в процессе разложения древесины. Возможно, под пологом 70-летнего березняка почвенное питание подрост кедр, также как на валеже, осуществляется лишь

за счет органических веществ с высоким содержанием азота, поступающих из лесной подстилки при относительно быстром разложении травяного и листового опада [5; 19; 29; 30].

В процессе пожаров, вызывающих полную гибель древостоев происходит почти полное выгорание лесной подстилки и ее минерализация. В первые 2–4 года после пожара в верхнем слое почвы увеличивается содержание подвижных легкодоступных зольных элементов и минеральных форм азота, которые быстро вымываются в нижние горизонты почвы. В дальнейшем агрохимические показатели почв в их верхних слоях восстанавливаются до исходных значений. В то же время, содержание гумуса в минеральных слоях после пожаров практически не меняется [1; 12; 24]. За счет пожарного опада происходит относительно быстрое накопление органического вещества, но, вероятно, под пологом 32-летнего послепожарного березняка и, тем более, 13-летнего березняка лесная подстилка не достаточно развита и количество поступающих из нее продуктов разложения не хватает для полного почвенного питания подроста кедра. При этом корневые системы кедра и березы, по всей вероятности, располагаются в одном верхнем гумусированном обогащенном зольными элементами минеральном горизонте почвы, чем может быть обусловлена выраженная здесь корневая конкуренция древостоя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По мере развития послепожарного березового древостоя с возрастом наблюдается изменение его конкуренции в отношении подроста кедра сибирского. В молодняке при полной солнечной инсоляции основным фактором, определяющим рост и развитие одно-возрастного с березой подроста кедра, является корневая конкуренция древостоя за почвенное питание. Под пологом средневозрастного березняка наблюдается совместное влияние корневой конкуренции и световой конкуренции древостоя. В спелом 70-летнем послепожарном березняке основным фактором, определяющим рост и развитие подроста кедра, является световая конкуренция древостоя (перехват его пологом ФАР), а корневая конкуренция за почвенное питание не выражена. Предположительно, различное влияние корневой конкуренции в разном возрасте послепожарного березового древостоя на рост подроста кедра сибирского может быть связано с разной определенной насыщенностью верхнего горизонта почвы органическими соединениями, поступающими непосредственно из разлагающейся лесной подстилки, возможно, также разными зонами и режимами почвенного питания древесных растений и адаптивными возможностями подроста кедра сибирского.

Вопросы почвенного питания (потребления влаги и питательных веществ) подроста кедра в условиях березняков и причины выявленных здесь изменений влияния корневой конкуренции древостоя требуют дополнительных исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Арефьева З. Н. Влияние огня на некоторые биохимические процессы в лесных почвах // Труды Ин-та

биологии УФ АН СССР. Уфа : Ин-т биологии УФ АН СССР. 1963. Вып. 36. С. 39–55.

2. Опыт переформирования производных мягколиственных насаждений в коренные кедровники / Л. А. Белов, Е. С. Залесова, С. В. Залесов, Т. Ю. Карташова, Ф. Т. Тимербулатов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2019. Т. 56. № 3. С. 87–91. DOI: 10.34655/bgsha.2019.56.3.013.

3. Бех И. А., Воробьев В. Н. Потенциальные кедровники. Проблемы кедра // Томск, СО РАН, Ин-т экологии природных комплексов – филиал ин-та леса им. В. Н. Сукачёва. 1998, Вып. 6. 123 с.

4. Дебков Н. М., Паневин В. С. Оценка естественного возобновления кедра сибирского под пологом леса и на вырубках в средней тайге Западной Сибири // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 4(40). С. 5–20. DOI:10.15350/2306–2827.2018.4.5.1.

5. Особенности почвенных условий произрастания кедра сибирского / В. В. Заварзин, А. В. Гемонов, А. В. Лебедев, В. М. Градусов // Природообустройство. 2019. № 5. С. 124–130 DOI: 10.34677/1997-6011/2019-5-124-130.

6. Кирсанов В. А. Формирование и развитие кедровника зеленомошно-ягодникового на Северном Урале // Восстановительная и возрастная динамика лесов на Урале и в Зауралье. Свердловск : АН СССР УНЦ, 1976. С. 104–112.

7. Кирсанов В. А., Петров М. Ф. Об отношении кедра сибирского к интенсивности освещения // Лесоведение. 1972. № 5. С. 89–91.

8. Особенности рубок ухода в хвойно-широколиственных лесах Дальнего Востока / А. П. Ковалев, А. Ю. Алексеенко, Е. В. Лашина, Т. Г. Качанова // Аграрный вестник Приморья. 2020. № 4(20). С. 47–52.

9. Колобов А. Н. Моделирование пространственно-временной динамики древесных сообществ: индивидуально-ориентированный подход // Лесоведение. 2014. № 5. С. 72–82.

10. Коновалова М. Е., Данилина Д. М., Назимова Д. И. Формирование кедровников рубками ухода в черномом поясе Западного Саяна // Лесоведение. 2017. № 5. С. 16–27. DOI: 10.7868/S0024114817050023.

11. Николаева С. А., Бех И. А., Савчук Д. А. Оценка этапов восстановительно-возрастной динамики темнохвойно-кедровых лесов по дендрохронологическим данным (на примере Кеть-Чулымского Междуречья) // Вестник Томского гос. ун-та. Биология. 2008. № 3(4). С. 180–185.

12. Санников С. Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. М. : Наука, 1992. 257 с.

13. Санников С. Н., Санникова Н. С. Лес как подземно-сомкнутая дендроценозосистема // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 25–34.

14. Санникова Н. С. Микроэкосистемный анализ ценопопуляций древесных растений. Екатеринбург: Наука, 1992. 65 с.

15. Санникова Н. С., Локосова Е. И. Микроэкосистемный анализ структурно-функциональных связей

в лесных биогеоценозах // Генетические и экологические исследования в лесных экосистемах. Екатеринбург : УРО РАН, 2001. С. 73–94.

16. Факторы древостоя-эдификатора: количественный анализ и синтез / Н. С. Санникова, С. Н. Санников, И. В. Петрова, Ю. Д. Мишихина, О. Е. Черепанова // Экология. 2012. № 6. С. 1–7.

17. Седых В. Н. Динамика равнинных кедровых лесов Сибири. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с.

18. Смолоногов Е. П., Залесов С. В. Эколого-лесоводственные основы организации и ведения хозяйства в кедровых лесах Урала и Западно-Сибирской равнины. Екатеринбург : УЛТИ, 2002. 186 с.

19. Судачкова Н. Е., Расторгуева Е. Я., Коловский Р. А. Физиология подроста кедра. М. : Наука, 1967. 123 с.

20. Танцырев Н. В. Начальная фаза формирования послепожарных горных кедровников на Северном Урале // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XL, № 5. С. 395–403. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-6-395-403.

21. Танцырев Н. В., Андреев Г. В. Влияние конкуренции материнского древостоя на рост подроста кедра сибирского на основных типах субстрата // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2020. № 2(59). С. 145–153. DOI: 10.34655/bgsha.2020.59.2.020.

22. Танцырев Н. В., Андреев Г. В. Основные факторы развития подроста кедра сибирского под пологом производного сосняка // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Лес. Экология. Природопользование. 2020. № 4(48). С. 22–30. DOI: 10.25686/2306–2827.2020.4.22.

23. Танцырев Н. В., Андреев Г. В. Влияние конкуренции древостоя на возобновление и рост подроста кедра сибирского в березняке // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. Вып. 2(50). 2021. С. 13–22. DOI: 10.25686/2306-2827.2021.2.13.

24. Постпирогенная динамика агрохимических показателей песчаных подзолов в сосняках южной тайги / П. А. Тарасов, В. А. Иванов, Г. А. Иванова, И. Н. Безкоровайная // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 2. С. 162–175. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-2-162-175.

25. Восстановление еловых лесов: теория, отечественный опыт и методы решения / Н. Н. Теринов, Е. М. Андреева, С. В. Залесов, Н. А. Луганский, А. Г. Магасумова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 3(375). С. 9–23. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-9-23.

26. Особенности пространственного распределения биомассы корней некоторых древесных видов (*Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Betula* sp.) / В. Н. Шанин, Л. К. Рочева, М. П. Шашков, Н. В. Иванова, С. В. Москаленко, Э. Р. Бурнашева // Известия РАН. Серия биологическая. 2015, № 3. С. 316–325.

27. Tree growth and competition in an old-growth *Picea abies* forest of boreal Sweden: influence of tree spatial patterning / S. Fraver, A. D'Amato, J. B. Bradford, B. G. Jonsson, M. Jonsson, P. A. Esseen // Journal of Vegetation Science. 2014. Vol. 25. P. 374–385.

28. Kallioikoski T. Root system traits of Norway spruce, Scots pine, and silver birch in mixed boreal forests: an analysis of root architecture, morphology, and anatomy: Diss. Diss. Forestales. V. 121. Vantaa: Finnish For. Res. Inst., 2011. 65 p.

29. Laganiure J., Paru D., Bradley R. L. How does a tree species influence litter decomposition? Separating the relative contribution of litter quality, litter mixing and forest floor conditions // Can. J. For. Res. 2010. Vol. 40. P. 465–475.

30. Vesterdal L., Elberling B., Christiansen J.R. et al. Soil respiration and rates of soil carbon turnover differ among six common European tree species // For. Ecol. Manage. 2012. Vol. 264. P. 185–196.

REFERENCES

1. Arefyeva Z. N. Vliyaniye ognya na nekotoryye biokhimicheskiye protsessy v lesnykh pochvakh // Trudy In-ta biologii UF AN SSSR. Ufa: In-t biologii UF AN SSSR. 1963. Vyp. 36. s. 39–55.

2. Belov L. A., Zalesova Ye. S., Zalesov S. V., Kartashova T. Yu., Timerbulatov F. T. Opyt pereformirovaniya proizvodnykh myagkolistvennykh nasazhdenij v korennyye kedrovniki // Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyaystvennoj akademii. 2019. Vol. 56, No 3. S. 87–91. DOI: 10.34655/bgsha.2019. 56.3.013.

3. Bekh I. A., Vorob'yev V. N. Potentsial'nyye kedrovniki. Problemy kedra. Tomsk, SO RAN, In-t ekologii prirodnnykh kompleksov – filial in-ta lesa im. V. N. Sukachyova. 1998. Vyp. 6. 123 s.

4. Debkov N. M., Panyovin V. S. Otsenka estestvennogo vozobnovleniya kedra sibirskogo pod pologom lesa i na vyrubkakh v srednej tajge Zapadnoj Sibiri // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. 2018. No. 4(40). S. 5–20. DOI: 15350/2306-2827.2018.4.5.

5. Zavarzin V. V., Gemonov A. V., Lebedev A. V., Gradusov V. M. Osobennosti potchvennykh uslovij proizrastaniya kedra sibirskogo // Prirodoobustroystvo. 2019. No. 5. S. 124–130. DOI: 10.34677/1997-6011/2019-5-124-130.

6. Kirsanov V. A. Formirovaniye i razvitiye kedrovnika zelenomoshno-yagodnikovogo na Severnom Urale // Vosstanovitel'naya i vozrastnaya dinamika lesov na Urale i v Zaural'ye. Sverdlovsk : AN SSSR UNTs, 1976. S. 104–112.

7. Kirsanov V. A., Petrov M. F. Ob otnoshenii kedra sibirskogo k intensivnosti osveshcheniya // Lesovedeniye. 1972, No. 5. S. 89–91.

8. Kovalyov A. P., Alekseenko A. Yu., Lashina E. V., Kachanova T. G. Osobennosti rubok ukhoda v khvojno-shirokolistvennykh lesakh Dal'nego Vostoka // Agrarnyy vestnik Primor'ya. 2020. No. 4(20). S. 47–52.

9. Kolobov A. N. Modelirovaniye prostranstvenno-vremennoy dinamiki drevesnykh soobshchestv: individual'no-orientirovannyj podkhod // Lesovedeniye. 2014. No. 5. S. 72–82.

10. Konovalova M. E., Danilina D. M., Nazimova D. I. Formirovaniye kedrovnikov rubkami ukhoda v chernom poyase Zapadnogo Sayana // Lesovedeniye. 2017. No. 5. S. 16–27. DOI: 10.7868/S0024114817050023.

11. Nikolayeva S. A., Bekh I. A., Savchuk D. A. Otsenka etapov vosstanovitel'no-vozrastnoj dinamiki temnokhvojno-kedrovyykh lesov po dendrokronologicheskim dannym (na primere Ket'-Chulym'skogo Mezhdurech'ya) // Vestnik Tom'skogo gos. un-ta. Biologiya. 2008. № 3(4). S. 180–185.
12. Sannikov S. N. Ekologiya i geografiya estestvennogo vozobnovleniya sosny obyknovЕННОj. Moscow : Nauka, 1992. 257 s.
13. Sannikov S. N., Sannikova N. S. Les kak podzemno-somknutaya dendrosenoekosistema // Sibirskij Lesnoj Zhurnal. 2014. No 1. S. 25–34.
14. Sannikova N. S. Mikroekosistemnyj analiz tsenopulyatsij drevesnykh rastenij Ekaterinburg : Nauka, UrO RAN, 1992. 65 p.
15. Sannikova N. S., Lokosova E. I. Mikroekosistemnyj analiz strukturno-funktsional'nykh svyazei v lesnykh biogeotsenozakh // Geneticheskie i ekologicheskie issledovaniya v lesnykh ekosistemakh. Ekaterinburg : UrO RAN, 2001. S. 73–94.
16. Sannikova N. S., Sannikov S. N., Petrova I. V., Mishchikhina Y. D., Cherepanova O. E. Faktory drevostoya-ehdifikatora: kolichestvennyj analiz i sintez // Ecologia. No. 6, 2012. S. 1–7.
17. Sedykh V. N. Dinamika ravninnykh kedrovyykh lesov Sibiri. Novosibirsk : Nauka, 2014. 232 s.
18. Smolonogov E. P., Zalesov S. V. Ekologo-lesovodstvennyye osnovy organizatsii i vedeniya khozyajstva v kedrovyykh lesakh Urala i Zapadno-Sibirskoj ravniny. Ekaterinburg : ULTI, 2002. 186 s.
19. Sudachkova N. E., Rastorgueva E. Ya., Kolovskiy R. A. Fiziologiya podrosta kedra. Moscow : Nauka, 1967. 123 s.
20. Tantsyrev N. V. Nachal'naya faza formirovaniya poslepozharnykh gornykh kedrovnikov na Severnom Urale // Khvojnye borealnoj zony. 2022. T. XL, № 5. S. 395–403. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-6-395-403.
21. Tantsyrev N. V., Andreev G. V. Vliyanie konkurentsii materinskogo drevostoya na rost podrosta kedra sibirskogo na osnovnykh tipakh substrata // Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyaystvennoj akademii im. V. R. Filippova. 2020. No. 2(59). S. 145–153. DOI: 10.34655/bgsha.2020.59.2.020.
22. Tantsyrev N. V., Andreev G. V. Osnovnye faktory razvitiya podrosta kedra sibirskogo pod pologom proizvodnogo sosnyaka // Vestnik Povolzh'skogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. 2020. No. 4(48). S. 22–30. DOI:10.25686/2306-2827.2020.4.22.
23. Tantsyrev N. V., Andreev G. V. Vliyanie konkurentsii drevostoya na vozobnovlenie i rost podrosta kedra sibirskogo v bereznyake // Vestnik Povolzh'skogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. 2021. No. 2(50). S. 13–22. DOI: 10.25686/2306-2827.2021.2.13.
24. Tarasov P. A., Ivanov V. A., Ivanova G. A., Bezkorovajnyaya I. N. Postpirogennaya dinamika agrokhimicheskikh pokazatelej peschanykh podzolov v sosnyakakh yuzhnoj tajgi // Khvojnye borealnoj zony. 2023. T. XLI, No. 2. S. 162–175. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-2-162-175.
25. Terinov N. N., Andreeva E. M., Zalesov S. V., Luganskij N. A., Magasumova A. G. Vosstanovleniye elovykh lesov: teoriya, otechestvennyj opyt i metody resheniya // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Lesnoj Zhurnal. 2020. No. 3(375). S. 9–23. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-9-23.
26. Shanin V. N., Rocheva L. K., Shashkov M. P., Ivanova N. V., Moskalenko S. V., Burnasheva E. R. Osobennosti prostranstvennogo raspredeleniya biomassy kornej nekotorykh drevesnykh vidov (*Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Betula* sp.) // Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya. 2015. No. 3. S. 316–325.
27. Fraver S., D'Amato A., Bradford J. B., Jonsson B. G., Jonsson M., Esseen P. A. Tree growth and competition in an old-growth *Picea abies* forest of boreal Sweden: influence of tree spatial patterning // Journal of Vegetation Science. 2014. Vol. 25. P. 374–385.
28. Kalliokoski T. Root system traits of Norway spruce, Scots pine, and silver birch in mixed boreal forests: an analysis of root architecture, morphology, and anatomy: Diss. Diss. Forestales. Vol. 121. Vantaa : Finnish For. Res. Inst., 2011. 65 p.
29. Laganire J., Parf D., Bradley R. L. How does a tree species influence litter decomposition? Separating the relative contribution of litter quality, litter mixing and forest floor conditions // Can. J. For. Res. 2010. Vol. 40. P. 465–475.
30. Vesterdal L., Elberling B., Christiansen J. R. et al. Soil respiration and rates of soil carbon turnover differ among six common European tree species // For. Ecol. Manage. 2012. Vol. 264. P. 185–196.

© Танцырев Н. В., Андреев Г. В., 2025

ДИНАМИКА УРОЖАЙНОСТИ ИНТРОДУКЦИОННЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ В ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Р. С. Хамитов, С. М. Хамитова

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева
Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: r.hamitov@rgau-msha.ru

Аннотация. Выявление динамики урожайности сосны кедровой сибирской в условиях интродукции полезно для оценки перспективности ее введения в местные условия и выявления высокоурожайных особей. В работе приведены результаты исследования динамики семеношения сосны кедровой сибирской по годам, а также выявлена индивидуальная изменчивость этого показателя и коррелятивные признаки, позволяющие осуществлять отбор высокоурожайных особей. Исследования проведены в Чагринской кедровой роще Вологодской области. В этом насаждении осуществлен учет урожая шишек и семян образовавшегося за период 11 лет. При отсутствии отдельных лет без образования урожая, что свидетельствует о благоприятных климатических условиях района интродукции, выявлена неравномерность образования шишек и семян по годам генерации урожая. Отбор модельных деревьев позволил выявить экземпляры семеносящих деревьев, выделяющихся достаточно высоким урожаем шишек и семян. На среднее количество шишек образуемых материнскими продуцентами в наибольшей степени воздействует фактор индивидуальной изменчивости. Год генерации урожая также оказывает влияние на образование в кронах деревьев шишек, но заметно более низкое. Влияние индивидуальной изменчивости на массу образующихся семян выражено несколько меньше. Отдельные параметры габитуса кроны сопряжены с репродуктивной способностью. Ширина кроны в отличие от ее протяженности не связана с урожайностью. Наиболее ценным коррелятивным признаком семенной продуктивности является коэффициент формы кроны. Количество образуемых на деревьях шишек и масса семян достоверно зависят от коэффициента кроны, т. е. от отношения ее ширины к протяженности. При выборе семенных деревьев для сбора семян, необходимых для создания высокоурожайных интродукционных культур и для отбора плюсовых деревьев необходимо использовать такие особи коэффициент формы крон, которых меньше единицы.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, интродукция, урожайность, семена, шишки, селекция.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 1, P. 62–67

YIELD DYNAMICS OF INTRODUCED SIBERIAN CEDAR PINE CROPS IN THE VOLOGDA OBLAST

R. S. Khamitov, S. M. Khamitova

Timiryazev Russian State Agrarian University
49, Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation
E-mail: r.hamitov@rgau-msha.ru

Abstract. The identification of yield dynamics of Siberian cedar pine in the conditions of introduction is useful for assessing the prospects of its introduction into local conditions and identifying high-yielding individuals. The paper presents the results of a study of the dynamics of seed bearing of Siberian cedar pine by year, as well as the individual variability of this indicator and correlative signs that allow the selection of high-yielding individuals. The research was carried out in the Chagrin cedar grove of the Vologda Oblast. In this plantation, the harvest of cones and seeds formed over a period of 11 years was recorded. In the absence of individual years without crop formation, which indicates the favorable climatic conditions of the area of introduction, the uneven formation of cones and seeds by the years of crop generation was revealed. The selection of model trees made it possible to identify instances of seed-bearing trees distinguished by a sufficiently high yield of cones and seeds. The average number of cones formed by maternal producers is most affected by the factor of individual variability. The year of crop generation also has an impact on the formation of cones in the crowns of trees, but noticeably lower. The effect of individual variability on the mass of the resulting seeds is somewhat less pronounced. Individual parameters of crown habitus are associated with reproductive ability. The width of the crown, unlike its length, is not related to yield. The most valuable correlative feature of seed productivity is the crown shape coefficient. The number of cones formed on trees and the weight of seeds depend significantly on the crown coefficient, i. e. on the ratio of its width to its length. When choosing seed trees for the collection of seeds necessary for the creation of high-yielding introduced crops and for the selection of plus trees, it is necessary to use such individuals of the crown shape coefficient, which is less than one.

Keywords: Siberian cedar pine, introduction, yield, seeds, cones, breeding.

ВВЕДЕНИЕ

Сосна кедровая сибирская ценная интродукционная порода в лесах Европейского севера России. Экологические особенности этой древесной породы в целом не препятствуют ее росту и генеративному развитию в лесах региона. Декоративные качества интродукта позволили найти ему применение в озеленении городов и населенных пунктов, а также создании насаждений вокруг них [1–4].

Одним из основных ценных свойств сосны кедровой сибирской, предопределяющих целесообразность ее интродукции является то, что она является орехоносной породой. Семена этого древесного растения имеют пищевое значение, используются в фармакологии и химической промышленности. Создаваемые вблизи городов и населенных пунктов за пределами ареала насаждения сосны кедровой сибирской привлекают рекреантов повышая ценность пригородных лесов [5].

Биологической особенностью сосны кедровой сибирской является отсутствие выраженной периодичности семеношения. Это явление характерно в целом для вида и проявляется как в ареале, так и в районах интродукции. Лишь в пессимальных экологических условиях, иногда так называемые рядом исследователей «семенные года» наступают с определенной периодичностью. Вместе с тем, многими авторами чаще отмечается чередование урожайных лет с неурожайными. Если первые характеризуются обильным образованием шишек, то вторые, напротив – незначительным. Обилие урожая во многом предопределяется погодными условиями в период закладки и формирования репродуктивных органов [6–8]. При этом, рядом авторов показано, что урожайность сосны кедровой сибирской обусловлена наследственными свойствами выраженными на географическом и индивидуальном уровнях [9–12].

В этой связи выявление особенностей семеношения сосны кедровой сибирской и высокоурожайных особей является актуальным вопросом интродукции этой древесной породы на север Европейской части России.

Целью исследований является выявление динамики семеношения сосны кедровой сибирской по годам, а также выявление индивидуальной изменчивости этого показателя и коррелятивных признаков, позволяющих осуществлять отбор высокоурожайных особей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования были осуществлены в Чагринской кедровой роще, созданной в 1900–1904 годах в Грязовецком муниципальном округе Вологодской области в качестве приусадебного парка. Посадка осуществлялась таким образом, чтобы обеспечить достаточную освещенность – на расстоянии 10 м, как в ряду, так и между ними. Сохранившееся к настоящему времени насаждение, являющееся памятником природы регионального значения, регулярно семеносит.

В рассматриваемом насаждении, где к настоящему времени сохранилось 133 кедра были отобраны мо-

дельные деревья (14 экземпляров), характеризующие собой все многообразие представленных особей по классам Крафта. У данных моделей при отборе были определены высота ствола, его диаметр на высоте 1,3 м, протяженность и ширина кроны. Наблюдение за семеношением осуществлялось с 2013 по 2024 годы (за исключением 2015 года). Учет урожая шишек осуществлялся путем подсчета количества созревших шишек до начала их опадания и расхищения птицами в кронах деревьев. Количество шишек определяли на одной стороне кроны, умножая затем полученный результат на два. Для определения массы семян, продуцируемых модельными деревьями, выявляли выход семян из шишек по отобраным образцам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За период наблюдений не выявлено отдельных лет с отсутствием семеношения. Вместе с этим наблюдается неравномерность образования шишек по годам генерации урожая (рис. 1).

Средняя ежегодная урожайность шишек в роще с 2013 по 2024 год составляет 131 ± 13 шт. с одного семеносящего дерева. Наиболее урожайным оказался 2014 год, в котором на каждом дереве в среднем формировалось 207 ± 30 шт. шишек. В наименее урожайный 2019 год их образовалось на 47 % меньше (66 ± 30 шт.), чем пятью годами ранее. Изменчивость урожая шишек по годам в соответствии со шкалой С. А. Мамаева высокая ($C_v = 31,9\%$).

Аналогичным образом варьировала и средняя урожайность семян (рис. 2).

Ежегодно каждое дерево в кедровой роще продуцирует $1,8 \pm 0,2$ кг семян. Уровень флуктуации средней урожайности семян с одного дерева по годам также высокий ($C_v = 39,5\%$). Максимальные различия также выражены между урожаями 2014 и 2019 гг. Наибольший средний урожай семян с одного дерева ($3,2 \pm 0,5$ кг) был зафиксирован в 2014 году, а наименьшие ($0,9 \pm 0,1$ кг) в 2019 и 2020 гг. Различие между урожайными и неурожайными годами по массе образующихся семян составила 72 %.

Средняя многолетняя урожайность модельных деревьев также различна. При этом выделяются экземпляры семеносящих деревьев, ежегодно продуцирующих достаточно высокий урожай шишек (рис. 3).

Максимальное количество шишек образуется в кроне модельного дерева № 77 (252 ± 41 шт.), а минимальное – № 118 (24 ± 2 шт.). Индивидуальная изменчивость среднего многолетнего урожая шишек очень высокая ($C_v = 47,6\%$) и близка к средней эндогенной ($C_v = 48,5\%$), что указывает на отсутствие снижения уровня внутривидового разнообразия при интродукции по данному показателю.

Наибольшую среднюю урожайность семян имеет модельное дерево № 77 ($2,9 \pm 0,5$ кг), а наименьшую – № 118 ($0,4 \pm 0,1$ кг). Индивидуальная изменчивость среднего многолетнего урожая шишек очень высокая ($C_v = 44,7\%$), но ниже средней эндогенной ($C_v = 56,7\%$), что указывает на наличие выраженного снижения разнообразия по способности к продуцированию полноценных семян внутри популяции.

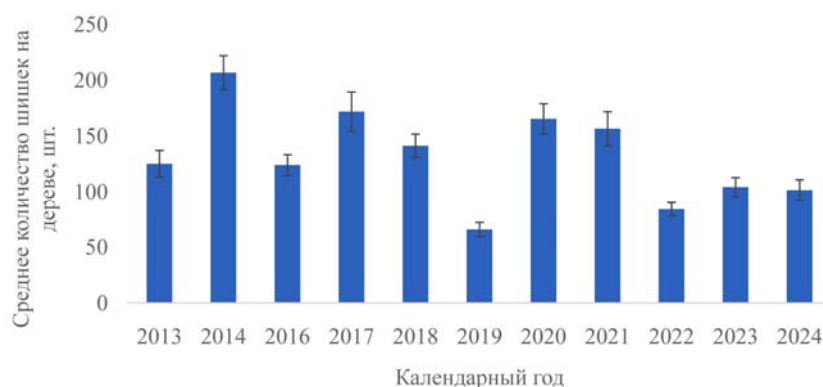


Рис. 1. Средняя урожайность шишек семеносящих деревьев по годам наблюдений

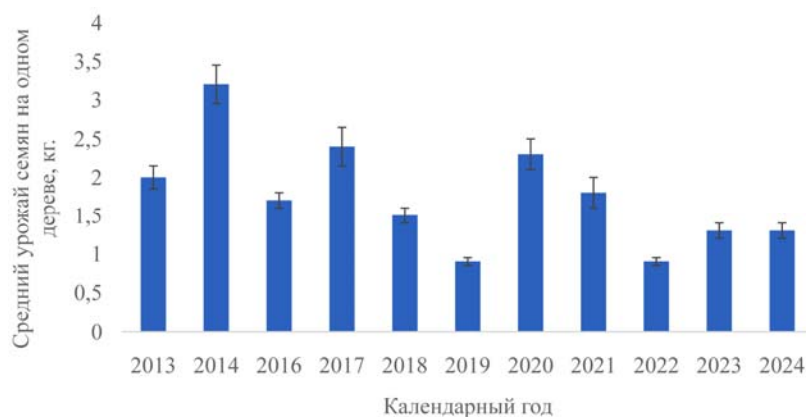


Рис. 2. Средняя урожайность семян по годам наблюдений

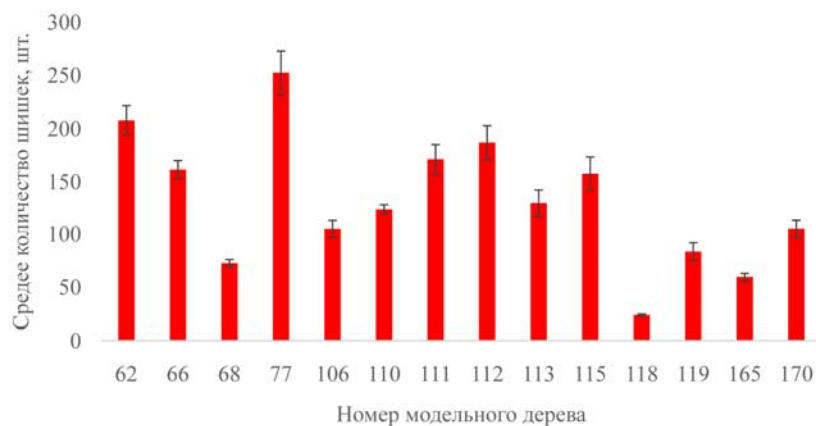


Рис. 3. Средняя урожайность шишек модельных деревьев

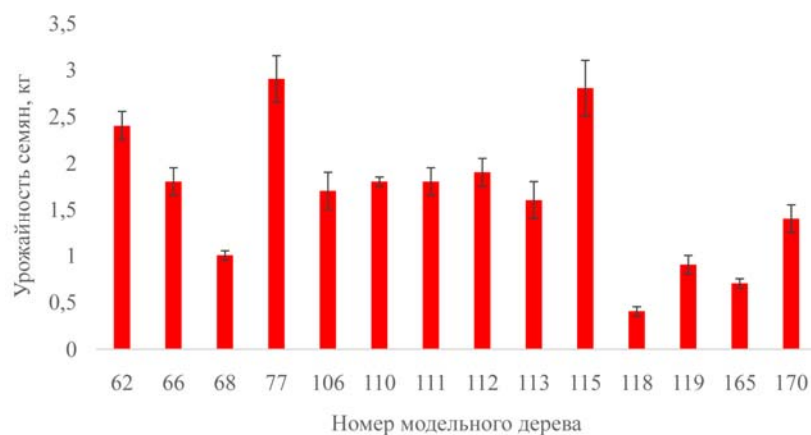


Рис. 4. Средняя урожайность семян модельных деревьев

Двухфакторный дисперсионный анализ позволил выявить влияние индивидуальной изменчивости и года генерации на количество образуемых шишек (табл. 1).

На количество образуемых в среднем за год на одном дереве шишек наиболее выражено воздействие фактора индивидуальной изменчивости. Его сила влияния (η^2) достигает 41 % от общей дисперсии признака и статистически значимо ($F_{05} > F_{\text{крит.}}$). Корреляционное отношение (η) при этом составляет 0,64, что указывает на значительную зависимость урожая шишек от данного фактора. Год генерации урожая оказывает влияние на образование в кронах деревьев шишек ($F_{05} > F_{\text{крит.}}$), но заметно более низкое. От общей флуктуации урожая шишек по годам наблюдений данным фактором предопределено лишь 18 % ($\eta^2 = 0,18$). Зависимость рассматриваемого признака от года генерации умеренная ($\eta = 0,43$).

Несколько меньше выражено влияние индивидуальной изменчивости на количество на массу образующихся семян (табл. 2).

Влияние индивидуальной изменчивости значимо ($F_{05} > F_{\text{крит.}}$), однако сила влияния (η^2) данного фактора на урожайность семян составляет лишь 0,31. Corre-

ляционное отношение (η) равное 0,56 указывает на значительную зависимость признака. Фактором года генерации урожая обусловлено 25 % вариации урожайности семян ($\eta^2 = 0,25$). Это влияние также значимо на 5 % уровне ($F_{05} > F_{\text{крит.}}$). Зависимость урожайности семян от года их продуцирования умеренная ($\eta = 0,50$).

Урожайность шишек и семян для сосны кедровой сибирской является прямым селекционным признаком. С учетом достаточно его высокой предопределенности индивидуальной изменчивостью представляется весьма перспективным отбор особей, отличающихся обильным семеношением в качестве материнских продуцентов для создания новых интродукционных культур. Вместе с этим данный отбор затруднен длительностью наблюдений. В этой связи наиболее целесообразным в таком случае является отбор высокоурожайных особей по коррелятивным признакам.

Для выявления наиболее адекватных маркерных коррелятивных признаков нами выявлена зависимость между признаками урожайности и биометрическими показателями семеносящих деревьев (табл. 3).

Таблица 1

Влияние индивидуальной изменчивости и года генерации на количество образуемых шишек

Источник вариации	Сумма квадратов SS	Степень свободы df	Варианса MS	Критерий Фишера	
				F_{05}	$F_{\text{крит.}}$
Индивидуальная изменчивость	558339,4	13	42949,2	10,11	1,80
Год генерации урожая	245116,6	10	24511,7	5,77	1,90
Погрешность	552391,7	130	4249,2	–	–
Итого	1355848	153	–	–	–

Таблица 2

Влияние индивидуальной изменчивости и года генерации на урожай семян

Источник вариации	Сумма квадратов SS	Степень свободы df	Варианса MS	Критерий Фишера	
				F_{05}	$F_{\text{крит.}}$
Индивидуальная изменчивость	77,7	13	6,0	7,14	1,80
Год генерации урожая	62,6	10	6,3	7,48	1,90
Погрешность	108,8	130	0,8	–	–
Итого	249,1	153	–	–	–

Таблица 3

Связь биометрических показателей модельных деревьев при отборе со средней урожайностью

Биометрические показатели модельных деревьев	Коэффициент корреляции с показателями семенной продуктивности	
	Количество шишек	Масса семян
Высота (H)	$-0,11 \pm 0,26$	$-0,11 \pm 0,26$
Ширина ($D_{\text{кр}}$)	$0,23 \pm 0,25$	$0,24 \pm 0,25$
Протяженность кроны ($H_{\text{кр}}$)	$0,54 \pm 0,19$	$0,60 \pm 0,17^*$
Коэффициент кроны ($D_{\text{кр}}/H_{\text{кр}}$)	$-0,66 \pm 0,15^*$	$-0,73 \pm 0,12^*$

Примечание: * – коэффициент корреляции достоверен ($t_r > 3,0$).

Количество образуемых на деревьях шишек достоверно зависит от коэффициента кроны, т. е. от отношения ее ширины к протяженности. Величина показателя корреляции (r) составляет $-0,66 \pm 0,15$, и указывает на значительную обратную связь. Пять из шести модельных деревьев с урожайностью шишек

выше средней имеют коэффициент кроны менее единицы.

Масса семян, продуцируемая модельными деревьями, достоверно зависит от протяженности кроны и ее коэффициента. При этом связь (r) между с коэффициентом кроны обратная ($-0,73 \pm 0,12$), теснее и находит-

ся на высоком уровне сопряженности, а с протяженностью кроны ($0,60 \pm 0,17$) – прямая, слабее и характеризуется значительным уровнем.

Полученные данные свидетельствуют, что габитус кроны сопряжен с репродуктивной способностью деревьев. При этом ширина кроны не связана с урожайностью. Большее значение имеет протяженность кроны, а наиболее ценным коррелятивным признаком семенной продуктивности является коэффициент формы кроны. Отбор плюсовых деревьев следует осуществлять среди особей с величиной этого показателя менее единицы.

ВЫВОДЫ

Сосна кедровая сибирская в условиях интродукции семеносит регулярно, сохраняя биологическую особенность чередования высокоурожайных и низкоурожайных лет. Внутри интродукционных популяций выделяются особи, отличающиеся стабильной высокой урожайностью. Высокая обусловленность урожайности деревьев сосны кедровой сибирской их индивидуальной изменчивостью позволяет осуществлять отбор особей по данному признаку. При осуществлении селекции следует использовать маркерные коррелятивные признаки габитуса кроны. Наиболее важным признаком является коэффициент формы кроны, представляющий собой отношение ее диаметра к протяженности. В качестве материнских продуцентов для создания новых интродукционных культур отличающихся высокой урожайностью, а также при отборе плюсовых деревьев следует использовать особи с коэффициентом формы кроны менее единицы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Особенности роста интродуцированных пятихвойных сосен в условиях урбосреды / К. В. Путенихина, М. А. Мкртчян, З. Х. Шигапов, В. П. Путенихин // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 4-1. С. 117–119.
2. Путенихина К. В. Кедр сибирский в г. Уфа: габитуальные характеристики и возможности более широкого использования в озеленении // Охрана и рациональное использование лесных ресурсов : материалы VIII Международ. форума. В 2 ч. Благовещенск, 08–10 июня 2015 года. Ч. 2. Благовещенск : Дальневосточ. гос. аграр. ун-т, 2015. С. 114–118.
3. Андропова М. М., Бабич Н. А., Хамитов Р. С. Ступенчатая интродукция древесных растений на севере Русской равнины. Архангельск : Северный (Арктический) федер. ун-т им. М. В. Ломоносова, 2021. 412 с.
4. Хвойные виды в урбанофлоре Архангельска / Н. Р. Сунгурова, С. Р. Страздаускене, Г. Н. Стругова // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. 41, № 6. С. 466–473. DOI 10.53374/1993-0135-2023-6-466-473.
5. Ковалев Д. Р., Хамитов Р. С. Оценка рекреационного потенциала в зеленой зоне города Грязовца Вологодской области // Современные тенденции технологического развития АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Десятилетию науки и технологий и 300-летию Российской академии наук. В 2 т. Ижевск, 26 февраля 2024 года. Ижевск : Удмурт. гос. аграр. ун-т, 2024. С. 100–103.

6. Велисевич С. Н. Экологическая изменчивость качества урожая сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour, *Pinaceae*) по широтному градиенту на Западно-Сибирской равнине // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2022. № 21-1. С. 25–29. DOI 10.14258/pbssm.2022005.

7. Николаева С. А., Савчук Д. А. Особенности плодоношения деревьев кедров сибирского Кеть-Чулымского междуречья // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. Т. 4. С. 83–88.

8. Паркина О. В., Третьякова Р. А., Галецкая Г. А. Динамика семенения сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica*) в условиях Новосибирской области // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2020. Т. 24, № 6. С. 44–50. DOI 10.18698/2542-1468-2020-6-44-50.

9. Братилова Н. П., Колпакова В. Рост и семенение 35-летней сосны кедровой сибирской разных форм // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2014. Т. 17, № 17. С. 12–15.

10. Особенности роста и семенения клонов плюсовых деревьев кедров сибирского, отселектированных по семенной и стволовой продуктивности / Р. Н. Матвеева, О. Ф. Буторова, А. В. Ревин, А. Г. Кичильдеев // Вестник КрасГАУ. 2010. № 11(50). С. 110–112.

11. Матвеева Р. Н., Братилова Н. П., Буторова О. Ф. Изменчивость показателей роста и генеративного развития кедровых сосен на плантации зеленой зоны города Красноярск // Сибирский лесной журнал. 2014. № 2. С. 81–86.

12. Матвеева Р. Н., Колосовская Ю. Е., Соколова Е. Ю. Изменчивость репродуктивного развития кедровых сосен разного географического происхождения на плантации юга Средней Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. 31, № 3-4. С. 63–66.

REFERENCES

1. Osobennosti rosta introdutsirovannykh pyatikhvoinnykh sosen v usloviyakh urbosredy / K. V. Putenikhina, M. A. Mkrtchyan, Z. Kh. Shigapov, V. P. Putenikhin // Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN. 2015. № 4-1. S. 117–119.
2. Putenikhina K. V. Kedr sibirskiy v g. Ufa: gabitual'nyye kharakteristikii vozmozhnosti boleye shirokogo ispol'zovaniya v ozelenenii // Okhrana i ratsional'noye ispol'zovaniye lesnykh resursov : materialy VIII Mezhdunar. foruma. V 2 ch. Blagoveshchensk, 08–10 iyunya 2015 goda. Ch. 2. Blagoveshchensk : Dal'nevostoch. gos. agrar. un-t, 2015. S. 114–118.
3. Andronova M. M., Babich N. A., Khamitov R. S. Stupenchataya introduktsiya drevesnykh rasteniy na severe Russkoy ravniny. Arkhangel'sk : Severnyy (Arkticheskiy) feder. un-t im. M. V. Lomonosova, 2021. 412 s.
4. Khvoynnye vidy v urbanoflore Arkhangel'ska / N. R. Sungurova, S. R. Strazdauskene, G. N. Strugova // Khvoynnye boreal'noy zony. 2023. T. 41, № 6. S. 466–473. DOI 10.53374/1993-0135-2023-6-466-473.
5. Kovalev D. R., Khamitov R. S. Otsenka rekreatsionnogo potentsiala v zelenoy zone goroda Gryazovtza Vologodskoy oblasti // Sovremennyye tendentsii tekhnologicheskogo razvitiya APK : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. Desyatilетию nauki i tekhnologiy i 300-letiyu Rossiyskoy akademii nauk.

V 2 t. Izhevsk, 26 fevralya 2024 goda. Izhevsk : Udmurt. gos. agrar. un-t, 2024. S. 100–103.

6. Velisevich S. N. Ekologicheskaya izmenchivost' kachestva urozhaya sosny kedrovoy sibirskoy (*Pinus sibirica* Du Tour, Pinaceae) po shirotnomu gradiyentu na Zapadno-Sibirskoy ravnine // Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii. 2022. № 21-1. S. 25–29. DOI 10.14258/pbssm.2022005.

7. Nikolayeva S. A., Savchuk D. A. Osobennosti ploidnosheniya derev'yev kedra sibirskogo Ket'-Chulym-skogo mezhdurech'ya // Inter-ekspo Geo-Sibir'. 2012. T. 4. S. 83–88.

8. Parkina O. V., Tret'yakova R. A., Galetskaya G. A. Dinamika semenosheniya sosny kedrovoy sibirskoy (*Pinus sibirica*) v usloviyakh Novosibirskoy oblasti // Lesnoy vestnik. Forestry Bulletin. 2020. T. 24, № 6. S. 44–50. DOI 10.18698/2542-1468-2020-6-44-50.

9. Bratilova N. P., Kolpakova V. Rost i semenosheniye 35-letney sosny kedrovoy sibirskoy raznykh form

// Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy. 2014. T. 17, № 17. S. 12–15.

10. Osobennosti rosta i semenosheniya klonov plyusovykh derev'yev kedra sibirskogo, otselektirovannykh po semennoy i stvolovoy produktivnosti / R. N. Matveyeva, O. F. Butorova, A. V. Revin, A. G. Kichkil'deyev // Vestnik KraSGAU. 2010. № 11(50). S. 110–112.

11. Matveyeva R. N., Bratilova N. P., Butorova O. F. Izmenchivost' pokazateley rosta i generativnogo razvitiya kedrovyykh sosen na plantatsii zelenoy zony goroda Krasnoyarska // Sibirskiy lesnoy zhurnal. 2014. № 2. S. 81–86.

12. Matveyeva R. N., Kolosovskaya Yu. Ye., Sokolova Ye. Yu. Izmenchivost' reproduktivnogo razvitiya kedrovyykh sosen raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya na plantatsii yuga Sredney Sibiri // Khvoynyye boreal'noy zony. 2013. T. 31, № 3-4. S. 63–66.

© Хамитов Р. С., Хамитова С. М., 2025

Поступила в редакцию 28.10.2024

Принята к печати 18.02.2025

ПРОЕКТ ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕСНОГО ПИТОМНИКА С ЦЕЛЮ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ ХВОЙНЫХ И ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ

А. В. Меньшиков¹, Н. В. Бессонова¹, Н. В. Выводцев^{1,2}

¹Тихоокеанский государственный университет

Российская Федерация, 680035, г. Хабаровск, Тихоокеанская улица, 136

²Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства

Российская Федерация, 680030, г. Хабаровск, Волочаевская, 71

Аннотация. В статье рассмотрен проект организации лесного питомника с целью выращивания сеянцев хвойных пород с закрытой корневой системой. Постановка такой задачи применительно к условиям лесовосстановления в Хабаровском крае важна для вовлечения местных сообществ и организаций в процесс охраны и восстановления лесов. Проект организации рассмотрен на примере лесного питомника ИП Меньшикова Д. В., расположенного по адресу: Российская Федерация, Хабаровский край, Хабаровский муниципальный район, с. Некрасовка, участок 2. Представлен план деятельности лесного питомника по годам, породам, видам и объемам выращенного посадочного материала. Определены потребности в различных материалах для эффективной эксплуатации лесного питомника. Особое внимание уделено технологии выращивания посадочного материала культивируемых видов хвойных пород – лиственницы даурской, сосны корейской, ели аянской.

Ключевые слова: питомник, лесовосстановление лесные ресурсы, хвойные породы, сеянцы, закрытая корневая система, технология выращивания сеянцев.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 1, P. 68–72

THE PROJECT OF ORGANIZING A FOREST NURSERY FOR THE PURPOSE OF GROWING SEEDLINGS OF CONIFEROUS AND DECIDUOUS SPECIES WITH A CLOSED ROOT SYSTEM

A. V. Menshikov¹, N. V. Bessonova¹, N. V. Vyvadtsev^{1,2}

¹Pacific State University

136, Pacific str., Khabarovsk, 680035, Russian Federation

²Far Eastern Research Institute of Forestry

71, Volochaevskaya str., Khabarovsk, 680030, Russian Federation

Abstract. The article discusses the project of organizing a forest nursery for the purpose of growing coniferous seedlings with a closed root system. Setting such a task in relation to the conditions of forest cultivation in the Khabarovsk Territory is important for involving local communities and organizations in the process of forest protection and restoration. The project of the organization is considered on the example of the forest nursery of IP Menshikov D. V., located at the address: Russian Federation, Khabarovsk Territory, Khabarovsk municipal district, Nekrasovka village, site 2. The plan of activity of the forest nursery by years, breeds, types and volumes of grown planting material is presented. The needs for various materials for the effective operation of the forest nursery have been determined. Special attention is paid to the technology of growing planting material of cultivated coniferous species – Daurian larch, Korean pine, Ayan spruce.

Keywords: nursery, forest resources, coniferous species, seedlings, closed root system, reforestation, seedling growing technology.

ВВЕДЕНИЕ

Лесные ресурсы являются важной составляющей эколого-экономического потенциала Российской Федерации. На долю России приходится около 20 % мировых лесных запасов. Изобилие видового разнообразия древесных пород, дает основу для разных сфер применения древесины, начиная от строительства и заканчивая производством мебели и бумаги. Развивая эти направления, в лесных регионах создаются условия для увеличения рабочих мест. Это влечет за собой

развитие местной инфраструктуры, стимулирование смежных отраслей, таких как транспорт и машиностроение.

На сегодняшний день в области лесовосстановления в рамках национального проекта «Экология» реализуется ряд крупных региональных проектов, среди которых в Хабаровском крае успешно функционируют проект «Сохранение лесов» и программа «Развитие теплично-питомнического хозяйства Хабаровского края». Эти инициативы направлены на восстанов-

ление лесных массивов и улучшение экологического состояния региона. В рамках проекта «Сохранение лесов» осуществляется ряд мероприятий, таких как лесовосстановительные работы, мониторинг состояния лесных массивов, а также внедрение современных методов охраны лесов от пожаров и незаконных вырубок. Важное внимание уделяется обучению специалистов лесного хозяйства, что позволяет обеспечить высокое качество выполнения работ и способствует долгосрочному сохранению природных ресурсов.

Программа «Развитие теплично-питомнического хозяйства Хабаровского края» имеет ключевое значение для повышения эффективности лесовосстановительных работ в регионе. Современные тепличные комплексы оснащены новейшим оборудованием, которое обеспечивают оптимальное развитие сеянцев. Реализация этих проектов направлена не только на улучшение экологической ситуации, но и на развитие социально-экономического потенциала региона. В 2023 г. лесовосстановительные мероприятия в Хабаровском крае проведены на площади более 72,5 тыс. га. Сюда включено содействие естественному возобновлению (93 %) леса и посадка лесных культур (7 %). Несмотря на широкий спектр мер, направленных на лесовосстановление в Хабаровском крае, в настоящее время требуется увеличение объемов выращивания посадочного материала и в первую очередь сеянцев с закрытой корневой системой. Цель настоящей работы – проект организации лесного питомника для выращивания миллиона стандартных сеянцев хвойных пород (кедр, лиственница, ель), используя технологию с закрытой корневой системой. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обеспечить непрерывную семенную базу питомника;
- совершенствовать технологическую линию выращивания саженцев с закрытой корневой системой.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В соответствии с целью и задачами исследования программа работ включала:

- подбор места для организации питомника применительно к подобранному ассортименту древесных пород;
- разработку технологии выращивания саженцев с закрытой корневой системой, наращивая производственные мощности лесного питомника для выхода на миллион саженцев в год.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Организация лесного питомника для выращивания сеянцев хвойных пород с закрытой корневой системой требует учета множества факторов, начиная с выбора подходящего участка и заканчивая обеспечением правильного микроклимата для роста растений. При выборе участка необходимо учитывать такие параметры, как освещенность, защищенность от сильных ветров и наличие качественного источника воды [4]. Также важным фактором является состав почвы, который должен обеспечивать хорошую аэра-

цию и дренаж, так как переувлажнение может негативно сказаться на развитии корневой системы.

Технологический процесс выращивания сеянцев с закрытой корневой системой начинается с подготовки субстрата. Для этого используются смеси торфа, песка и различных добавок, обеспечивающих необходимые питательные вещества и оптимальную структуру. Субстрат помещается в специальные контейнеры, которые позволяют обеспечить каждому сеянцу индивидуальное пространство для роста и развития. Это не только способствует поддержанию здоровой корневой системы, но и облегчает транспортировку растений при их последующей посадке в открытый грунт [1, с. 250].

Важным аспектом технологии является контроль микроклимата в лесном питомнике. Для хвойных пород особое значение имеет температурный режим и уровень влажности воздуха. В питомнике применяются автоматизированные системы полива и обогрева, которые позволяют поддерживать оптимальные условия на протяжении всего периода вегетации. Кроме того, необходим регулярный мониторинг состояния сеянцев и своевременное внесение удобрений. Этот аспект играют ключевую роль в их успешном развитии.

Технология выращивания сеянцев с закрытой корневой системой включает подготовку контейнеров (кассет), промывку обеззараживающими средствами, забивку контейнеров торфом, высев семян, мульчирование, прореживание (пикирование), в каждой ячейке должен быть один сеянец, сбор и упаковка сеянцев [3]. Схема лесного питомника «ИП Меньшиков Д. В.» представлена на рис. 1.

На территории питомника располагаются 2-х этажное офисное помещение (номер 12), 11 тепличных комплексов (номера 1-11), общей площадью 6598 м², склад для хранения вермикулита, кассет (номер 15), хим. склад для хранения удобрений (номер 13). Имеется пять холодильных 40-ка футовые рефрижераторных контейнеров, для хранения сеянцев (номер 12 и 16).

Ежегодный выпуск лесным питомником посадочного материала посевного отделения, после приведения полей к нормальному севообороту составляет 770,0 тыс. шт. сеянцев и 24,5 тыс. шт. саженцев [2, с. 43].

Указанное количество посадочного материала распределяется по периодам и назначению (табл. 1).

При выращивании саженцев в школьном отделе-нии важную роль играет правильный подбор грунта. Перед посадкой саженцев должна проводиться предварительная обработка земли [3, с. 92]. Растения, находящиеся в почве в условиях высокой влажности, нуждаются в ее умеренной аэрации. Даже кратковременная засуха отрицательно влияет на успех выращивания сеянцев. Именно поэтому необходимо систематически, не менее одного раза в месяц, производить рыхление почвы. Также необходимо проводить работу по борьбе с насекомыми, чтобы уменьшить воздействие вредителей. Размер площадок доращивания при одной ротации должен быть не менее 1,5 площади теплиц, с учетом, что часть сеянцев весной может остаться в питомнике [5].



Рис. 1. Схема питомника «ИП Меньшиков Д. В.»

Таблица 1
Периоды и назначение посадочного материала

Наименование пород	Продолжительность выращивания, лет	Ежегодный выпуск, тыс. шт.		
		Всего	В том числе:	
			Для закладки школ	Для реализации
Посевное отделение хвойных пород				
Сосна кедровая корейская	3	400	1	399,0
Лиственница даурская	2	180		180
Ель аянская	2	180	1	179
Всего:		760	2,0	758,0
Посевное отделение лиственных пород				
Липа амурская	4	1,0	1,0	
Клен приречный	3	3,0		3,0
Рябина амурская	2	1,0	0,5	0,5
Калина сержента	2	1,0	0,5	0,5
Пузыреплодник	4	4		4
Барбарис	2	2		2
Всего:		10	2,0	8,0
Итого:		770	4,0	766,0
Саженьцы, школьное отделение				
Сосна кедровая корейская	3	1,5	0,5	1,0
Ель аянская	7	10		10
Липа амурская	5	8,0		8,0
Калина сержента	3	2,0		2,0
Рябина амурская	4	3,0		3,0
Всего:		24,5	0,5	24

Таблица 2
План деятельности лесного питомника по годам

Год	Количество теплиц, с нарастающим итогом, шт.	Объем выращивания семян, тыс. шт. ЗКС	Выращиваемая порода	Лесосеменной район	Потребность в кассетах, шт.	Потребность в субстрате торфа Сахалин (тюки), шт.	Потребность в семенном материале, кг.	Потребность в вермикулите (мульча) в тюках, шт.	Потребность в удобрении, кг.		
									Акварин № 13, кг.	Акварин № 8, кг.	Акварин № 16, кг.
2021	9	1857,2	Лц, Е	15,16	25200	783	67,5	63	225	1278	225
2022	11	2598,0	Лц, Е	15,16	30800	957	82,5	77	275	1562	275
2023	13	2845,0	Лц, Е	15,16	36400	1131	97,5	91	325	1846	325
2024	14	3105,0	Лц, Е	15,16	39200	1218	105	98	350	1988	350
2025	15	3312,0	Лц, Е	15,16	42000	1305	112,5	105	375	2130	375
2026	16	3519,0	Лц, Е	15,16	44800	1392	120	112	400	2272	400
2027	17	3726,0	Лц, Е	15,16	47600	1479	127,5	119	425	2414	425
2028	18	3933,0	Лц, Е	15,16	50400	1566	135	126	450	2556	450
2029	19	4140,0	Лц, Е	15,16	53200	1653	142,5	133	475	2698	475
2030	20	4347,0	Лц, Е	15,16	56000	1740	150	140	500	2840	500

Для производства одного миллиона контейнеризированных семян требуется примерно 2 000–2 500 м² тепличных площадей и приблизительно 3 300 м² открытых площадей.

Теплицы, площадки доращивания, помещения для хранения и упаковки семян должны быть расположены рационально, чтобы снизить затраты и время на транспортировку. Хранение семян лесных растений должно осуществляться в отдельных холодильных камерах площадью объемом 27 м³, с системой контроля температуры и влажности. При этом в процессе выращивания саженцев необходимо осуществлять контроль температуры и влажности почвы.

Например, при выращивании лиственницы, до появления всходов семена поливают чистой водой, без удобрений приблизительно 10–15 дней.

После того, как прорастут около 80 % семян, начинают вводить подкормки. Необходимо также учесть, что для лучшего развития семян лиственницы формула удобрений (NPK плюс микроэлементы) примерно должна быть для: первоначального (7-40-17), ростового (21-5-20), заключительного (4-25-35).

План деятельности лесного питомника по годам представлен в табл. 2.

По базовому сценарию развития питомника количество теплиц к 2030 г. планируется увеличить до 20. Это позволит вдвое увеличить выпуск посадочного материала. Кроме технологических аспектов лесокультурному производству важна господдержка отрасли, включая оказание государственных услуг по вопросам кредитования и страхования, ценообразования. Кроме того, важна социальная защита занятых в отрасли работников. Технологические инновации занимают центральное место в рамках сегодняшних усилий по выращиванию лесов. Важное место они занимают при выращивании семян.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, организация лесного питомника для выращивания семян хвойных пород с закрытой корневой системой является сложным, но крайне

важным процессом, который требует как внимательного планирования, так и постоянного контроля на всех этапах.

Правильно организованный агротехнический уход за сеянцами в теплицах является важным инструментом при выращивании качественного посадочного материала. Проект питомника «ИП Меньшиков» в перспективе планируется тиражировать на территории других Дальневосточных регионов. Оптимизация процессов выращивания семян в питомниках позволит обеспечить регион качественным посадочным материалом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Российский и мировой опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой / Е. В. Авдеева, Н. Л. Ровных, Д. В. Иванов, Н. В. Сухенко, И. В. Кухар, М. Д. Калинин // Хвойные бореальной зоны. 2022. № 4. С. 250–258.
2. Вэнь Цидун Анализ ключевых моментов технологии выращивания и управления рассадой лесного хозяйства // Наука и технология семеноводства. 2020. № 38. С. 43–49.
3. Корчагов С. А., Грибов С. Е., Обрядина О. Ю. Экономическая оценка создания лесных культур различным видом посадочного материала // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 5. С. 92–102.
4. Анализ воздействия ветровой нагрузки на каркас теплицы для выращивания семян с закрытой корневой системой / Д. В. Черник, Е. В. Авдеева, К. Н. Черник, Н. Л. Ровных // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 2. С. 195–201.
5. Чжоу Хайся. Дискуссия о современных технологиях выращивания рассады лесного хозяйства и мерах управления // Сельскохозяйственная наука и технология (позднее издание). 2019. № 2. С. 39.

REFERENCES

1. Rossiyskiy i mirovoy opyt vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy / Ye. V. Avdeyeva, N. L. Rovnykh, D. V. Ivanov,

N. V. Sukhenko, I. V. Kukhar, M. D. Kalinin // Khvoy-nyye boreal'noy zony. 2022. № 4. S. 250–258.

2. Ven' Tsidun. Analiz klyuchevykh momentov tekhnologii vyrashchivaniya i upravleniya rassadoy lesnogo khozyaystva // Nauka i tekhnologiya semenovodstva. 2020. № 38. S. 43–49.

3. Korchagov S. A., Gribov S. E., Obryadina O. Yu. Ekonomicheskaya otsenka sozdaniya lesnykh kul'tur razlichnym vidom posadochnogo materiala // Izv. vuzov. Lesn. zhurn. 2017. № 5. S. 92–102.

4. Analiz vozdeystviya vetrovoy nagruzki na karkas teplitsy dlya vyrashchivaniya seyantsev s zakrytoy korne-

voy sistemoy / D. V. Chernik, Ye. V. Avdeyeva, K. N. Chernik, N. L. Rovnykh // Izv. vuzov. Lesn. zhurn. 2023. № 2. S. 195–201.

5. Chzhou Khaysya. Diskussiya o sovremennykh tekhnologiyakh vyrashchivaniya rassady lesnogo khozyaystva i merakh upravleniya // Sel'skokhozyaystvennaya nauka i tekhnologiya (pozdneye izdaniye). 2019. № 2. S. 39.

© Меньшиков А. В., Бессонова Н. В.,
Выводцев Н. В., 2025

Поступила в редакцию 10.10.2024
Принята к печати 18.02.2025

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ

Г. А. Демиденко¹, О. П. Ковылина²

¹Красноярский государственный аграрный университет
Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, просп. Мира, 90

²Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: ¹demidenkoekos@mail.ru; ²ak_747@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты эколого-географической внутривидовой изменчивости признаков и свойств сосны обыкновенной, носящей наследственный характер. Рассмотрена изменчивость селекционных признаков популяций сосны обыкновенной, произрастающих в эколого-географических условиях лесостепной зоны Красноярского края на территории опытно-экспериментальной базы «Погорельский бор».

Район исследования находится на территории Красноярской лесостепи и представляет собой «остров» сосняков бруснично-зеленомошной и разнотравной групп типов леса II–III классов бонитета.

Окраска шишек показала невысокое разнообразие по цвету с слабо различающимися оттенками: серо-зеленым (35,5 %), серым (55 %), бежевым (8,3 %), серо-зеленоватым с подпалиной (1,7 %). По цвету семян преимущественно представлена категория темноокрашенных семян (72,5 %): темно-коричневые (3,4 %), темно-серыми (24,2 %), темно-бурыми (3,4 %), черными (41,5 %) оттенками. Категория светлоокрашенных семян составляет всего 27,5 %. Показатели качества семян зависят от морфологического и фенологического полиморфизма. Анализ таксационных показателей указывает на хороший линейный рост сосны обыкновенной (среднее значение высоты составило 28,6 м, а среднего диаметра – 32,4 см. Высокие показатели линейного и радиального роста говорят о лучшей продуктивности и, соответственно, хороших условиях произрастания насаждений сосны обыкновенной в Погорельском бору.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, внутривидовая изменчивость, сосняк бруснично-зеленомошный и разнотравно-зеленомошный, генеративные органы, структурные признаки, Красноярская лесостепь, Приенисейская Сибирь.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 1, P. 73–77

VARIABILITY OF SCOTS PINE IN THE SOUTHERN PART OF THE BOREAL ZONE OF YENISEI SIBERIA

G. A. Demidenko¹, O. P. Kovylinina²

¹Krasnoyarsk State Agrarian University
90, Mira av., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation
²Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: ¹demidenkoekos@mail.ru; ²ak_747@mail.ru

Abstract. The article presents the results of the ecological and geographical intraspecific variability of the characteristics and properties of the Scots pine, which is hereditary. The variability of breeding characteristics of populations of Scots pine growing in the ecological and geographical conditions of the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Territory on the territory of the experimental base “Pogorelsky Bor” is considered.

The research area is located on the territory of the Krasnoyarsk forest-steppe and is an “island” of pine forests of cranberry-green and mixed-grass groups of forest types of II–III classes of bonit.

The color of the cones showed a low diversity in color with slightly different shades: gray – green (35.5 %), gray (55 %), beige (8.3 %), gray-greenish with tan (1.7 %). According to the color of the seeds, the category of dark-colored seeds is mainly represented (72.5 %): dark brown (3.4 %), dark gray (24.2 %), dark brown (3.4 %), black (41.5 %) shades. The category of light-colored seeds is only 27.5 %. Seed quality indicators depend on morphological and phenological polymorphism. The analysis of the taxation indicators indicates a good linear growth of the Scots pine (the average height was 28.6 m, and the average diameter was 32.4 cm. High rates of linear and radial growth indicate better productivity and, accordingly, good growing conditions for stands of Scots pine in the Pogorelsky forest.

Keywords: Scots pine, intraspecific variability, cranberry-green-power and mixed-grass-green-power pine, generative organs, structural features, Krasnoyarsk forest-steppe, Yenisei Siberia.

ВВЕДЕНИЕ

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) типичная лесобразующая порода в Сибири. Создает внешний облик леса, совместно с другими растениями образует группу сосновых типов леса – характерное лесное сообщество. Произрастая на разных почвах, сосна имеет много морфологических форм и экологических типов. Ч. Дарвин (1896) считал наследственную изменчивость особенно важной для эволюции, потому что она является материалом для естественного и искусственного отборов при образовании новых популяций, видов, сортов.

Актуальным является изучение изменчивости селекционных признаков, свойств, а также биологических особенностей популяций сосны обыкновенной, произрастающих в эколого-географических условиях лесостепной зоны Красноярского края.

Широкая географическая изменчивость сосны обыкновенной и сосны кедровой сибирской, как полиморфные виды, обладают способностью произрастать в разнообразных местообитаниях, в том числе в рекреационных лесах пригородной зоны города Красноярска [1–5; 7; 9].

Цель нашего исследования является изучение и анализ изменчивости сосны обыкновенной в насаждениях на территории опытно-экспериментальной базы ИЛ СО РАН «Погорельский бор», расположенной на территории Красноярской лесостепи в 38 км к северо-западу от города Красноярска.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследования находится на территории Красноярской лесостепи и представляет собой «остров» сосняков бруснично-зеленомошной и разнотравной групп типов леса II–III классов бонитета.

Объект исследования: природные насаждения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающие на территории опытно-экспериментальной базы ИЛ СО РАН «Погорельский бор» (56. 3081° с. ш., 92.9782° в. д.). Расположен в южной части бореальной зоны Приенисейской Сибири.

Изучение фенотипической структуры природных популяций проводилось на временных пробных площадках в насаждениях одного класса, средний возраст которых 95–105 лет. Каждое дерево на пробной площадке пронумеровано и описано по морфологическим признакам генеративных органов и лесоводственным признакам, габитус деревьев по указаниям и общепринятой в лесной таксации методике [6; 8; 9; 12]. Селекционным признакам уделялось особое внимание.

Математическая обработка данных проводилась проведена методами вариационной статистики [10, 13] с вычислением: среднеарифметического значения ($\bar{X}$), квадратичного отклонения (δ), ошибки среднего показателя (m), показателя точности (P). Для определения существенности различия использовался критерий Стьюдента-Фишера (t).

Природные условия. Климат резко-континентальный, среднегодовая температура воздуха – 1,3 °С; сумма активных температур более 5 °С – 1968; среднегодовое количество осадков – 410 мм; средняя про-

должительность вегетационного периода – 149 дней; континентальность климата – 69 %. Рельеф представлен плоским водоразделом двух притоков реки Бузим. Почвы – серые лесные, опесчаненные.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сосна обыкновенная, произрастая в различных лесорастительных зонах и поднимаясь в горы, характеризуется изменчивостью биологических и лесоводственных особенностей.

Изменчивость генеративных органов сосны обыкновенной в популяции сосны обыкновенной в Погорельском бору

Анализ изменчивости отдельных морфологических признаков шишек и семян в популяции сосны обыкновенной в Погорельском бору (табл. 1–6).

Размеры шишек и число семенных чешуй (табл. 1, 2).

Анализируя данные средних размеров шишек, можно отнести их крупно-шишечным формам деревьев.

Формы сосны с различной величиной шишек (мелко-, средне-, крупно-шишечные) отмечаются во всех возрастных группах деревьев. Наблюдается определенная закономерность: у сосен молодого возраста больше деревьев крупно-шишечной формы, чем у сосен, более старшего возраста.

По общему числу семенных чешуй (среднее значение) шишки в насаждениях слабо различаются. Слабое различие отмечается по числу недоразвитых чешуй в верхней части шишек. Однако наблюдаются различия по числу: развитых чешуй в средней части шишек и по числу недоразвитых чешуй в нижней части шишек, что отражает особенности генофонда сосны обыкновенной.

Окраска шишек (табл.3). Как известно, цвет шишек у сосны имеет наследственный характер, в связи с тем, что он является диагностическим признаком при изучении формового разнообразия природных популяций.

Исследования показали, что окраска шишек в насаждениях сосны обыкновенной в Погорельском бору в популяции Красноярской лесостепи наблюдается невысокое разнообразие по цвету слабо различающимися оттенками; серо-зеленым (35,5 %), серым (55 %), бежевым (8,3 %), серо-зеленоватым с подпалиной (1,7 %).

Морфометрические показатели женских шишек. Относятся показатели длины и ширины женских шишек сосны обыкновенной (табл. 4).

Близкие показатели наследственных признаков, имеющих таксономическое значение, указывают на общность генофонда, формирующегося в процессе эволюции. То есть, пространственно изолированные популяции имели общий ареал.

Окраска семян (табл. 5). Разнообразие семян сосны обыкновенной по цвету выделено в девять групп.

Популяция сосны обыкновенной, произрастающая в Погорельском бору преимущественно представлена деревьями категории темноокрашенных семян (72,5 %): темно-коричневые (3,4 %), темно-серыми (24,2 %), темно-бурыми (3,4 %), черными (41,5 %) оттенками. Категория светлоокрашенных семян составляет 27,5 %.

Качество и масса 1000 штук семян (табл. 6). Является наследственным признаком и характеризуется средним и низким коэффициентом вариации, что отражает оптимальные условия произрастания популяции сосны обыкновенной в Погорельском бору.

Признаки – число полнозернистых семян в одной шишке и число пустых семян в одной шишке – зависят от условий опыления и наследственных особенностей популяции сосны обыкновенной, то есть от морфологического и фенологического полиморфизма.

Изменчивость структурных признаков сосны обыкновенной в южной части бореальной зоны Приенисейской Сибири. Полиморфизм сосны обыкновенной проявляется в изменчивости признаков, характеризующих габитус дерева (прямизна ствола, форма кроны, диаметр проекции, толщина и угол ветвления сучков, размеры грубой коры и другое). Признаки, имеющие селекционное значение, учитываются при характеристике нормальных и плюсовых деревьев. Популяционный отбор производится с учетом преобладания таких деревьев в насаждениях.

Форма и строение кроны (табл. 7–9).

По конфигурации кроны дерева в Погорельском бору варьируют незначительно и выделяется пять

типов кроны: узко-конусовидная (66,6 %), средне-конусовидная (20,0 %), неправильно-конусовидная (6,7 %), овальная (6,7 %). Преобладание узко-конусовидной кроны у деревьев свидетельствует о лучшей производительности деревьев, то есть о возможности выращивания большего числа деревьев на единицу площади.

Из признаков, определяющих габитус дерева (в частности степень развития и строения кроны), обращаем внимание на угол ветвления. По толщине сучьев в популяции сосны обыкновенной в Погорельском бору представлены только две категории (тонкие и средние) из которых преобладают тонкие сучья (76,7 %).

В популяции сосны обыкновенной в Погорельском бору протяженность грубой коры по стволу составило 22 % от протяженности ствола. Преимущество данного признака проявляется для деревьев лесостепной зоны, где чаще возникают низовые пожары. Средний размер пластин грубой коры в популяции Погорельского бора характерен для экологических условий произрастания в лесостепи.

Показатели роста (табл. 10).

Таблица 1

Размеры шишек и их среднее значение в популяции сосны обыкновенной в Погорельском бору (среднее значение)

Длина шишек, мм	Среднее значение, мм	Ширина шишек, мм	Среднее значение, мм
35,7–53,2	44,2	16,6–27,3	21,5
Индекс 0,49 – характеризует коническую форму шишек			

Таблица 2

Число семенных чешуй в разных частях женской шишки в популяции сосны обыкновенной в Погорельском бору (среднее значение)

Число развитых чешуй, шт.	Число недоразвитых чешуй, шт.		Общее число чешуй, шт.
В середине шишки	Вверху шишки	Внизу шишки	
49,6	3,9	15,3	68,8

Таблица 3

Окраска шишек в популяции сосны обыкновенной в Погорельском бору (среднее значение)

Цветовая гамма окраски шишек в насаждениях, %							
Серые	Бежевые	Серо-бежевые	Бежевые с светло-коричневой подпалиной	Серо-зеленоватые	Серо-зеленоватые с подпалиной	Бурые	Светло-коричневые
55,0	8,3	–	–	35,0	1,7	–	–

Таблица 4

Морфометрические показатели женских шишек в популяции сосны обыкновенной в Погорельском бору (среднее значение)

Длина шишек, мм			Ширина шишек, мм			Индекс формы
X±m	V, %	P, %	X±m	V, %	P, %	
44,2±0,84	9,3	1,9	21,5±0,57	13,0	2,6	0,49

Таблица 5

Распределение деревьев по цвету семян в популяции сосны обыкновенной в Погорельском бору (среднее значение)

Цветовая гамма окраски семян в популяции, %								
Категория темноокрашенных семян					Категория светлоокрашенных семян			
Темно-коричневые	Черные	Темно-серые	Темно-бурые	Коричневые	Светло-коричневые	Серо-коричневые	Светло-серые	Светло-бурые
3,4	41,5	24,2	3,4	–	13,8	6,9	3,4	3,4

Таблица 6
Качество семян в популяции сосны обыкновенной в Погорельском бору (среднее значение)

Масса 1000 шт. семян, г			Число полнозер- нистых семян в 1 шишке, шт.	Полнозернистость, %	Число пустых семян в 1 шишке, шт.
X±m	V, %	P, %			
7,1±0,15	11,3	2,0	10,8	76,3	1,8

Таблица 7
Распределение деревьев по форме кроны и ее протяженности по стволу в популяции сосны обыкновенной в Погорельском бору (среднее значение)

Форма кроны, %					Протяженность живой кроны по стволу, %
Узко-конусовид- ная	Средне- конусовидная	Широко- конусовидная	Неправильно- конусовидная	Овальная	
66,0	20,0	–	6,7	6,7	20

Таблица 8
Признаки, характеризующие развитие кроны в популяции сосны обыкновенной в Погорельском бору (среднее значение)

Угол ветвления, град	Диаметр проекции кроны, м	Число деревьев с разной толщиной сучьев, %		
		Тонкие	Средние	Толстые
48,5	5,5	76,7	23,3	–

Таблица 9
Размер пластин грубой коры и протяженность грубой коры по стволу в популяции сосны обыкновенной в Погорельском бору (среднее значения)

Протяженность грубой ко- ры по стволу, %	Размеры пластин грубой коры, см		
	Длина	Ширина	Глубина
22,0	20,0	4,3	1,4

Таблица 10
Показатели роста в популяции сосны обыкновенной в Погорельском бору (среднее значение)

Средняя высота, м				Средний диаметр, см			
X±m	δ	V, %	P, %	X±m	δ	V, %	P, %
28,5±0,20	0,9	4,2	0,8	32,4±1,0	5,5	17,0	3,1

Анализ таксационных показателей показали хороший линейный рост сосны обыкновенной в Погорельском бору (среднее значение высоты составило 28,6 м, а среднего диаметра – 32,4 см. Высокие показатели линейного и радиального роста говорят о лучшей продуктивности и, соответственно, хороших условий произрастания насаждений сосны обыкновенной в Погорельском бору.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) типичная лесобразующая порода в Сибири. Изучение и анализ изменчивости сосны обыкновенной в популяции сосны обыкновенной в Погорельском бору показало изменчивость как генеративных ее органов, так и структурных признаков в экологических условиях Красноярской лесостепи. Данные средних размеров шишек, можно отнести к крупно-шишечным формам деревьев. Наблюдается определенная закономерность: у сосен молодого возраста больше деревьев крупно-шишечной формы, чем у сосен, более старшего возраста. Окраска шишек показала невысокое разнообразие по цвету слабо различающимися оттенками; серо-зеленым (35,5 %), серым (55 %), бежевым (8,3 %), серо-зеленоватым с подпалиной (1,7 %). По цвету семян преимущественно представлена деревьями с ка-

тегорией темноокрашенных семян (72,5 %): темно-коричневыми (3,4 %), темно-серыми (24,2 %), темно-бурыми (3,4 %), черными (41,5 %) оттенками. Категория светлоокрашенных семян составляет 27,5 %. Показатели качества семян зависят от условий опыления и наследственных особенностей популяции сосны обыкновенной, то есть от морфологического и фенологического полиморфизма. Анализ таксационных показателей указывают на хороший линейный рост сосны обыкновенной (среднее значение высоты составило 28,6 м, а среднего диаметра – 32,4 см. Высокие показатели линейного и радиального роста говорят о лучшей продуктивности и, соответственно, хороших условий произрастания насаждений сосны обыкновенной в Погорельском бору.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Авдеева Е. В. Рост и индикаторная роль древесных растений в урбанизированной среде. Красноярск : СибТГУ, 2007. 361 с.
2. Авдеева Е. В. Зеленые насаждения городов Сибири. Красноярск : СибТГУ, 2000. 150 с.
3. Братилова Н. П., Коротков А. А., Коновалова Д. А. Влияние субстрата на рост и развитие сеянцев сосны сибирской с закрытой корневой системой // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XL, № 5. С. 347–352.

4. Брати́лова Н. П., Кала́гин В. Н., Манту́лина А. В., Кала́шников Р. В., Мокси́на Н. В., Моты́рев Н. О. Эндеогенная изменчивость показателей роста и надземной фитомассы сосны кедровой корейской в искусственных насаждениях пригородной зоны Красноярска // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 6. С. 459–465.
5. Вайс А. А., Брати́лова Н. П., Барле́кова П. Д. Горизонтальная форма крон и деревьев в кедровых плантациях пригородной зоны города Красноярска // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XL, № 5. С. 353–360.
6. Вересин М. М. Лесное семеноводство. М. : Гослесбумиздат, 1963. 158 с.
7. Демиденко Г. А. Оценка состояния лесных экосистем окрестностей Красноярска (по данным зоотестирования) // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В. Р. Филиппова. 2022. № 1 (66). С. 76–82.
8. Ирошников А. И., Мамаев С. А., Правдин Л. Ф., Щербаклова М. А. Методика изучения внутривидовой изменчивости древесных пород. М., 1973. 31 с.
9. Коропачинский И. Ю. Древесные растения Сибири. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1983. 384 с.
10. Лакин Г. Ф. Биометрия : учеб. пособие. М. : Высш. шк., 1973. 343 с.
11. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости. М. : Наука, 1972. 283 с.
12. Правдин Л. Ф. Сосна обыкновенная (изменчивость, внутривидовая систематика и селекция). М. : Наука, 1964. 189 с.
13. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Минск : Высш. шк., 1973. 320 с.
3. Bratilova N. P., Korotkov A. A., Konovalova D. A. Vliyanie substrata na rost i razvitie seyancev sosny sibirskoj s zakrytoj kornevoj sistemoj // Xvojny'e boreal'noj zony'. 2022. T. XL, № 5. S. 347–352.
4. Bratilova N. P., Kalagin V. N., Mantulina A. V., Kalashnikov R. V., Moksina N. V., Moty'rev N. O. Endogennaya izmenchivost' pokazatelej rosta i nadzemnoj fitomassy sosny kedrovoj korejskoj v iskusstvennyx nasazhdeniyax prigorodnoj zony Krasnoyarska // Xvojny'e boreal'noj zony'. 2023. T. XLI, № 6. S. 459–465.
5. Vajs A. A., Bratilova N. P., Barlekova P. D. Gorizontalnaya forma kron i dere'vev v kedrovyyx plantacijax prigorodnoj zony goroda Krasnoyarska // Xvojny'e boreal'noj zony'. 2022. T. XL, № 5. S. 353–360.
6. Veresin M. M. Lesnoe semenovodstvo. M. : Goslesbumizdat, 1963. 158 s.
7. Demidenko G. A. Ocenka sostoyaniya lesnyx ekosistem okrestnostej Krasnoyarska (po dannym zootestirovaniya) // Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii imeni V. R. Filippova. 2022. № 1 (66). S. 76–82.
8. Iroshnikov A. I., Mamaev S. A., Pravdin L. F., Shherbakova M. A. Metodika izucheniya vnutrividovoj izmenchivosti drevesnyx porod. M. 1973. 31 s.
9. Koropachinskij I. Yu. Drevesny'e rasteniya Sibiri. Novosibirsk : Nauka. Sib. otd-nie, 1983. 384 s.
10. Lakin G. F. Biometriya: uchebnoe posobie. M. : Vysshaya shkola, 1973. 343 s.
11. Mamaev S. A. Formy vnutrividovoj izmenchivosti. M. : Nauka, 1972. 283 s.
12. Pravdin L. F. Sosna obyknovennaya (izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selekciya). M. : Nauka, 1964. 189 s.
13. Rokiczkiy P. F. Biologicheskaya statistika. Minsk : Vysshaya shkola, 1973. 320 s.

REFERENCES

1. Avdeeva E. V. Rost i indikatornaya rol' drevesnyx rastenij v urbanizirovannoj srede. Krasnoyarsk : SibTGU, 2007. 361 s.
2. Avdeeva E. V. Zeleny'e nasazhdeniya gorodov Sibiri. Krasnoyarsk : SibTGU, 2000. 150 s.

© Демиденко Г. А., Ковылина О. П., 2025

Поступила в редакцию 05.06.2024
Принята к печати 18.02.2025

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.817

DOI: 10.53374/1993-0135-2025-1-78-84

Хвойные бореальной зоны. 2025. Т. XLIII, № 1. С. 78–84

ВЛИЯНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ФРАКЦИИ НА ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПРЕСС-МАССЫ И ПЛИТНОГО МАТЕРИАЛА БЕЗ СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ КОРЫ *PINUS SYLVESTRIS**

В. Д. Эскин, А. И. Криворотова, В. Н. Ермолин

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

Аннотация. В работе представлены результаты исследований, посвященных изучению влияния мелкодисперсной фракции измельченной корьевой пресс-массы на физико-механические свойства плит без применения связующих веществ. Измельчение древесной коры *Pinus sylvestris* производится путем ее механоактивации в гидродинамическом диспергаторе, обеспечивающей получение тонкоизмельченной пресс-массы. Анализ научных источников свидетельствует, что мелкая фракция имеет высокую удельную поверхность, обладает способностью встраиваться между более крупными частицами массы и выступать в качестве связующего компонента в составе плит, получаемых без применения связующих веществ. Оценку влияния мелкодисперсной фракции на свойства плит проводили с использованием показателя водоудерживающей способности WRV. Согласно проведенным исследованиям водоудерживающая способность корьевой пресс-массы и прочностные свойства плит в значительной степени зависят от наличия мелкодисперсных частиц в ее составе. Степень влияния мелкой фракции оценивалась путем многократной промывки корьевой пресс-массы водой при соотношении массы и добавляемой воды 1:15; 1:30; 1:45. При определении свойств изготовленных плит установлено, что с увеличением доли воды при промывании свойства плит ухудшаются: прочность при растяжении перпендикулярно пласти уменьшается на 0,59 МПа, прочность при статическом изгибе – на 13,2 МПа, разбухание по толщине увеличивается на 18 %. Таким образом, уменьшение количества мелкодисперсных частиц оказывает отрицательное влияние на основные физико-механические свойства плит. Экспериментально подтверждено, что мелкая фракция обеспечивает высокую степень контактирования измельченных частиц между собой, способствуя образованию целостного каркаса плиты.

Ключевые слова: кора, свойства, плитный материал, пресс-масса, мелкодисперсная фракция, гидродинамическая обработка, водоудерживающая способность, размер частиц, удельная поверхность.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 1, P. 78–84

THE EFFECT OF THE FINE FRACTION ON THE BASIC PROPERTIES OF THE PRESS MASS AND SLAB MATERIAL WITHOUT BINDERS FROM THE BARK OF *PINUS SYLVESTRIS*

V. D. Eskin, A. I. Krivorotova, V. N. Ermolin

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

Abstract. The paper presents the results of studies devoted to the study of the effect of the fine fraction of the crushed measles press mass on the physical and mechanical properties of plates without the use of binders. The crushing of *Pinus sylvestris* tree bark is carried out by its mechanical activation in a hydrodynamic dispersant, which ensures the production of a finely ground press mass. The analysis of scientific sources indicates that the fine fraction has a high specific surface area, has the ability to embed itself between larger particles of mass and act as a binding component in the composition of plates obtained without the use of binders. The influence of the fine fraction on the properties

* **Финансирование:** Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Биорефайнинг лесных ресурсов» проекта «Исследование закономерностей процессов биодеструкции древесины погибших древостоев для разработки научно-обоснованных подходов получения новых функциональных материалов» (Номер темы: FEFE-2024-0032).

of the plates was assessed using the WRV water retention index. According to the conducted studies, the water-holding capacity of the measles press mass and the strength properties of the plates largely depend on the presence of fine particles in its composition. The degree of influence of the fine fraction was assessed by repeatedly rinsing the measles press mass with water at a ratio of weight and added water 1:15; 1:30; 1:45. When determining the properties of manufactured plates, it was found that with an increase in the proportion of water during washing, the properties of the plates deteriorate: the tensile strength perpendicular to the formation decreases by 0.59 MPa, the strength under static bending – by 13.2 MPa, the swelling in thickness increases by 18%. Thus, a decrease in the number of fine particles has a negative effect on the basic physical and mechanical properties of the plates. It has been experimentally confirmed that the fine fraction provides a high degree of contact of the crushed particles with each other, contributing to the formation of an integral plate frame.

Keywords: bark, properties, slab material, press mass, fine fraction, hydrodynamic treatment, water retention capacity, particle size, specific surface area.

ВВЕДЕНИЕ

Число новых технологий по переработке отходов лесопромышленного комплекса на территории нашей страны с каждым годом увеличивается, однако подавляющее большинство из них не находят промышленного распространения ввиду различных факторов, среди которых можно выделить: разнородный фракционный и породный состав отходов, повышенную влажность и различную степень повреждения дереворазрушающими грибами и гнилью [1]. Среди всего разнообразия древесных отходов традиционно выделяется древесная кора, как наиболее сложный вид отхода для переработки в полезную продукцию. За историю развития лесоперерабатывающей отрасли разработано и апробировано значительное количество технологий по переработке и утилизации коры, но ни одна из них не нашла широкого применения по настоящий момент. Это связано в первую очередь с имеющимися трудностями при переработке коры, среди которых: плохая сыпучесть и нестабильность размеров, повышенное количество минеральных и иных включений, высокая разнородность и низкие механические свойства отходов окорки [2–4].

Общемировой практикой переработки древесных отходов является получение плитных материалов пригодных для строительства и отделки. Однако известно, что на свойства древесных плит значительное влияние оказывают фракционный состав и качество древесных частиц, используемых в качестве наполнителя [5]. Анализ ряда работ [6–8], посвященных получению плит с применением древесной коры указывает на то, что кора в значительной степени снижает прочностные показатели готовых материалов. В работе [9] приведены исследования возможности получения изоляционных древесноволокнистых плит с добавлением коры хвойных пород древесины. Авторами установлено, что при введении в состав плиты частиц коры, имеющих размер 0,6 мм в количестве 15 % к абсолютно сухому веществу, предел прочности не снижается ниже требуемого по ГОСТ 4598–86, полученные свойства соответствуют плите марки М-3. Как отмечают авторы, для повышения прочностных показателей плит и с целью их соответствия марки М-1, необходимо измельчать кору до фракции 0,05 мм, а её количество в составе плиты не должно превышать 5 % к а.с.в. Также в работе указывается, что частицы коры с размерами 0,6 мм при содержании в плите в количестве 13,5 % к а.с.в. значительно ухудшают

показатели водопоглощения. Для снижения этого показателя авторами предложено использование коры с размерами от 0,05 до 0,315 мм в количестве 15 % и частиц, имеющих размер 0,6 мм в количестве 10 % к а.с.в. Анализируя работу авторов можно отметить, что показатели прочности и водопоглощения древесных плит улучшаются в том случае, когда размерные характеристики частиц коры уменьшаются.

Аналогичное влияние размера частиц коры на свойства получаемых плит отмечено в работе [10]. Авторами были получены плиты, наполнителем которых являлась измельченная в молотковой мельнице еловая кора. Луб и корка измельчались отдельно. В качестве связующего использовали мочевиноформальдегидную смолу (расход смолы 10 %). Прессование плит осуществлялось по стандартным режимам прессования древесностружечных плит. По результатам исследований, авторами установлено, что наибольшее значение на прочность плит оказывает толщина частиц коры. С уменьшением показателя толщины до 0,32 мм прочность плит возрастает и снижается показатель их разбухания. Также в работе рекомендован фракционный состав частиц коры, обеспечивающий получение плит с наибольшими прочностными показателями, равными 11,7 МПа, при плотности 750 кг/м³. Разбухание плит за 24 часа составляет 24,5 %.

В работах [11; 12] также отмечается, что с уменьшением фракционного состава коры, как сырья при производстве пластика без связующих веществ значительно возрастают физико-механические показатели готовых материалов. По мнению авторов, это можно объяснить увеличением удельной поверхности частиц прессуемого материала. Также в работе указывается, что при увеличении количества сосновой коры в составе пластика, возрастают показатели водостойкости материала. Авторы предполагают, что это может быть связано с наличием в коре веществ, которые могут придавать гидрофобные свойства готовым материалам.

Основное влияние на размерные характеристики коры, как сырья для получения плитных материалов оказывает способ измельчения. Измельчение частиц коры до мелкодисперсного состояния и активация большего количества реакционно-способных соединений возможны благодаря обработке коры в гидродинамическом диспергаторе [13]. Как отмечают авторы работы [14], в рабочей зоне установки на обраба-

тываемые частицы воздействуют такие факторы как: истирание частиц при взаимодействии ротора и статора между собой, воздействие ультразвука и деструкция, возникающая в результате воздействия высоких температур и давления образующихся при схлопывании каверн. Известен опыт использования оборудования такого типа для переработки древесных отходов в плитные материалы без связующих веществ с высокими физико-механическими показателями [15; 16].

В работе [17] отмечается, что на свойства плит без связующих, полученных на основе гидродинамически активированных сосновых опилок значительное влияние оказывает мелкодисперсная фракция, размеры которой менее 1 мкм. Авторы отмечают, что доля такой фракции в составе пресс-массы не превышает 1 %, однако, именно за счет данных частиц обеспечивается порядка 80 % физико-механических свойств. Авторы утверждают, что частицы такого размера, являются элементами стенок трахеид или паренхимных клеток, в результате чего площадь поверхности таких частиц значительно выше площади поверхности отдельных клеток.

Ласкеев П. Х. в работе [18] отмечает, что именно мелкая фракция или мелочь при получении древесной массы определяет плотность бумажного листа и выступает в качестве связующего, путем заполнения пространств между волокнами. Схожее мнение отмечается в работе [19]. По мнению автора, наибольшую долю в общей массе должна занимать мелочь, так как она участвует в связеобразовании ковра, а также обладает большой удельной поверхностью, что, несомненно, приводит к образованию когезионных связей и структурообразованию плиты.

Проведенные ранее авторами данной работы исследования [20; 21], посвященные получению плитных материалов, подтверждают возможность изготовления плит, на основе гидродинамически активированной коры, без применения связующих веществ. Данная работа посвящена изучению влияния мелкодисперсной фракции корьевой массы на показатели физико-механических свойств плит и показатель водоудерживающей способности массы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве исходного сырья использовалась сосновая кора *Pinus sylvestris*, с начальной влажностью от 46 до 50 %. Количество древесных отходов не превышало 8 %. Кора подвергалась предварительному измельчению в мельнице молоткового типа до фракции менее 5 мм, после чего производилась гидродинамическая обработка в лабораторной установке РГГД – 1. Согласно ранее проведенным исследованиям [21], было установлено, что для достижения наилучших физико-механических показателей плит без связующих веществ, обработку коры в установке необходимо проводить до показателя водоудерживающей способности массы равного 290 %, что соответствует продолжительности обработки 8 минут. Полученная масса обезвоживалась на сите. После чего, пресс-масса разделялась на четыре части. Первый вариант изготовления плит последовательно включал:

подпрессовку корьевой массы в отжимной пресс-форме и горячее прессование. Для уменьшения содержания мелкодисперсной фракции в корьевой пресс-массе и для определения ее влияния на свойства плит вторая, третья и четвертая части массы многократно промывались водой. Промывка осуществлялась на сите с размером ячеек 0,02 мм с одновременным перемешиванием при постоянном добавлении воды. После этого многократно промытая масса отжималась и прессовалась аналогично первому варианту изготовления плит. Соотношение корьевой массы и добавляемой воды при промывании по второму варианту изготовления составило 1:15, по третьему – 1:30, по четвертому – 1:45.

С каждой из исследуемой части массы была взята навеска 100 грамм для определения показателя водоудерживающей способности (WRV), как показателя, в высокой степени характеризующего величину гидратации и удельной поверхности частиц. Определение показателя WRV осуществлялось по методике, разработанной Джайме [22]. Прессование материалов с заданной плотностью 1000 кг/м³ толщиной 4 мм осуществлялось согласно разработанному ранее режиму прессования, обеспечивающему получение корьевых плитных материалов с высокими физико-механическими показателями. Режим прессования представлен в табл. 1.

Таблица 1
Режим горячего прессования плит

Показатель	Значение
Температура плит пресса, °С	190
Удельная продолжительность прессования, мин/мм	2,8
Удельное давление прессования, МПа	4,4

Полученные плиты выдерживались при комнатных условиях не менее 24 ч, после чего производилась форматная обрезка и дальнейшие испытания на показатели: прочность при изгибе, прочность при разрыве перпендикулярно пласти, разбухание по толщине.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определение влияния мелкой фракции на физико-механические свойства плит осуществлялось через показатель водоудерживающей способности (WRV). Согласно источнику [23], WRV является одним из определяющих показателей межволоконного связеобразования и формирования структуры материалов на основе древесного сырья. Согласно [24] с увеличением водоудерживающей способности волокна увеличивается сцепление между древесными волокнами. Авторы работы [25] объясняют это тем, что в процессе размола, на волокна древесины воздействуют гидродинамические силы, в результате чего происходит укорочение волокон, расщепление поверхности и расчесывании фибриллярной структуры в продольном направлении. Следовательно, показатель WRV может быть принят в качестве одной из характеристик для оценки качества корьевой пресс-массы, используемой для получения плит без связующих веществ.

На рис. 1, 2, 3 и 4 представлены результаты испытаний исследуемых свойств пресс-массы и плит, полученных на основе обработанной коры (вариант 1), обработанной коры промытой водой в соотношении 1:15 (вариант 2), в соотношении 1:30 (вариант 3) и в соотношении 1:45 (вариант 4).

Изменение показателя водоудерживающей способности корьевой массы в зависимости от варианта соотношения массы с водой при многократном промывании показано на рис. 1. Как видно, при увеличении объема воды при промывке корьевой пресс-массы, показатель водоудерживающей способности снижается. Наибольшим показателем WRV, равным 295 %, обладает первая проба корьевой пресс-массы, отобранная после измельчения в гидродинамическом диспергаторе и не подвергавшаяся промывке водой, наименьшим – равным 180 % – промытая при соотношении 1:45. Наиболее значимое снижение водоудерживающей способности до 218 % отмечается при первом варианте промывки пресс-массы водой в соотношении 1:15. Как было отмечено выше, водоудерживающая способность массы отражает степень гидратации и величину удельной поверхности частиц, оказывающую решающее значение при формировании структуры плитного материала без связующих веществ. Это позволяет предположить, что мелкая фракция корьевой пресс-массы, полученная в результате гидродинамической обработки, обладает развитой удельной поверхностью и оказывает влияние на образование связей при получении плит. С целью обоснования данного предположения изготовленные плиты были подвергнуты физико-механическим испытаниям.

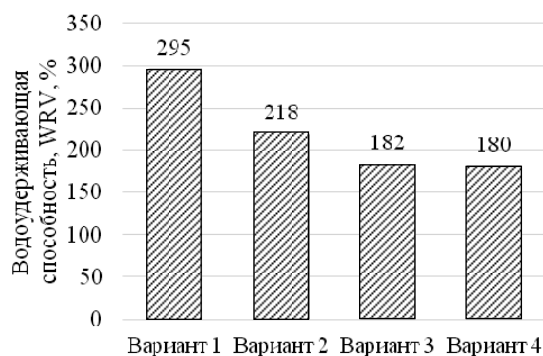


Рис. 1. Водоудерживающая способность массы (WRV): Вариант 1 – корьевая масса; вариант 2 – соотношение 1:15; вариант 3 – соотношение 1:30; вариант 4 – соотношение 1:45

Показатель прочности при растяжении перпендикулярно пласти традиционно характеризующий силу внутренних взаимодействий и связей древесных частиц в плитах, представлен на рис. 2 [26, 27]. Наибольшее значение показателя прочности равное 0,76 МПа наблюдается у плит на основе гидродинамически активированной корьевой массы (вариант 1). Удаление мелкой фракции из состава корьевой пресс-массы методом многократной промывки водой, в соотношении массы и воды 1:15, приводит к снижению прочности плит до 0,35 МПа. При промывке водой в соотношении 1:30 наблюдается еще более значитель-

ное снижение прочности плит, однако, разница в показателях между вторым и третьим вариантами составляет около 0,15 МПа. Значение показателя прочности при промывке в соотношении 1:45 (вариант 4) не существенно отличаются от показателей при промывке в соотношении 1:30 (вариант 3), разница в показателях составляет 0,3 МПа.

Отрицательное влияние удаления мелкой фракции также подтверждается показателями прочности при статическом изгибе плит, представленными на рис. 3. При промывке массы водой в соотношении 1:15 прочность плит уменьшается на 10,5 МПа, промывание с большим количеством воды оказывает значительно менее выраженное влияние, что также коррелируется с показателем прочности плит при разрыве перпендикулярно пласти. Необходимо отметить, что согласно источнику [27], прочность древесных плит при изгибе обеспечивается крупными частицами с большим отношением длины к толщине, прочностной контакт между которыми обеспечивается синтетическим связующим. Основываясь на данных, полученных в настоящей работе, можно сказать, что в условиях отсутствия связующих веществ в составе плиты, эту функцию выполняет мелкая фракция корьевой пресс-массы, связывая между собой более крупные частицы, выступающие в роли армирующего элемента.

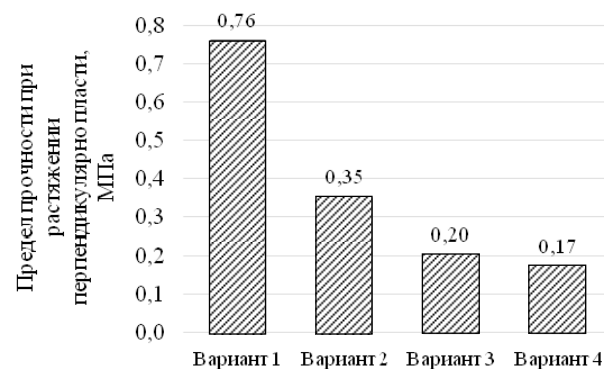


Рис. 2. Предел прочности плит при растяжении перпендикулярно пласти:

Вариант 1 – корьевая масса; вариант 2 – соотношение 1:15; вариант 3 – соотношение 1:30; вариант 4 – соотношение 1:45

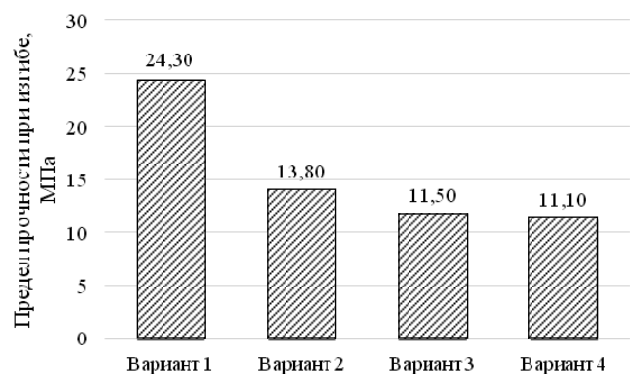


Рис. 3. Предел прочности плит при статическом изгибе: Вариант 1 – корьевая масса; вариант 2 – соотношение 1:15; вариант 3 – соотношение 1:30; вариант 4 – соотношение 1:45

Степень взаимодействия мелких и крупных частиц корьевой массы между собой в плите представляется возможным также оценить показателем разбухания плит по толщине. Показатель разбухания будет возрастать при недостаточном контакте частиц пресс-массы по причине увеличения свободного пространства между частицами.

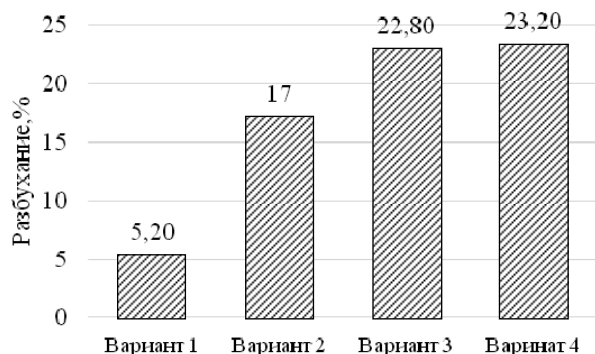


Рис. 4. Разбухание плит по толщине:

Вариант 1 – корьевая масса; вариант 2 – соотношение 1:15; вариант 3 – соотношение 1:30; вариант 4 – соотношение 1:45

Из данных, представленных на рис. 4, видно, что показатель разбухания плит по толщине ухудшается с увеличением количества воды при промывании массы. При удалении мелкой фракции промывкой при соотношении 1:15 (вариант 2) разбухание плит резко увеличивается с 5,2 % до 17 %. При соотношении корьевой массы и воды 1:30 показатель разбухания составляет 22,8 %. Дальнейшее увеличение доли воды до 45 (вариант 4) при промывке массы практически не изменяет показатель разбухания в сравнении с вариантами 2 и 3. Таким образом, можно предположить, что мелкая фракция корьевой пресс-массы заполняет пространства между более крупными частицами, создавая целостный внутренний каркас плиты и образуя прочные связи в ее структуре, препятствуя встраиванию молекул воды между частицами, что в свою очередь обеспечивает низкий показатель разбухания плит.

ВЫВОДЫ

1. Результаты проведенных исследований позволили установить, что при удалении мелкодисперсной фракции путем промывки основные физико-механические свойства плит снижаются.

2. Применение в исследовании метода многократного промывания водой корьевой массы при соотношении массы и воды 1:15; 1:30; 1:45 приводит к снижению показателя водоудерживающей способности с 295 до 180 %, что подтверждает выдвигаемое предположение, что мелкая фракция пресс-массы, обладает развитой удельной поверхностью и оказывает значительное влияние на образование связей при получении плит.

3. Показатели прочности плит при растяжении перпендикулярно пласти и прочности при статическом изгибе снижаются при уменьшении содержания мелкой фракции в составе корьевой пресс-массы с

0,76 до 0,17 МПа и с 24,3 МПа до 11,1 МПа соответственно.

4. При удалении мелкой фракции с состава пресс-массы показатель разбухания плит по толщине увеличивается с 5,2 до 23,2 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Состояние и перспективы использования древесной коры / З. Пастори, Г. А. Горбачева, В. Г. Санаев и др. // Лесной вестник. 2020. Т. 24, № 5. С. 74–88.

2. Цывин, М. М. Использование древесной коры. М. : Лесная промышленность, 1973. 96 с.

3. Advanced materials design based on waste wood and bark / C. Wenig, John W. C. Dunlop, J. Hehemeyer-Cürten, F. J. Reppe, N. Horbelt, K. Krauthausen, P. Fratzl and M. Eder. // *Philosophical transactions of the royal society a mathematical, physical and engineering sciences*. 2021, art. 2206, DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0345>.

4. Vladimir S. Fedorov, Tatyana V. Ryazanova. Bark of Siberian Conifers: Composition, Use, and Processing to Extract Tannin. *Wood Science and Forest Products*. 2021, vol. 12, no. 8, art. 1043, DOI: <https://doi.org/10.3390/f12081043>.

5. Солечник Н. Я. Производство древесно-волоконистых плит : учебник / Н. Я. Солечник. М. : Гослесбумиздат, 1963. 326 с.

6. Kain G., Tudor E., Barbu M. Bark Thermal Insulation Panels: An Explorative Study on the Effects of Bark Species. *Polymers*, 2020, vol. 12, no. 9, art. 2140. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12092140>.

7. Acoustic Properties of Larch Bark Panels / E. M. Tudor, L. Kristak, M. C. Barbu, T. Gergeľ, M. v Némec, G. Kain, R. Réh. // *Forests*, 2021, vol. 12, no. 7, art. 887, <https://doi.org/10.3390/f12070887>.

8. Микрюкова Е. В., Ахмедов С. Р. Исследование водостойкости композиционных плитных материалов на основе сосновой коры и стружки // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции : материалы IV Международной (X Всероссийской) конференции, (Чебоксары, 21–22 ноября 2018 г.). Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, 2018. С. 545–549.

9. Рибий П. В., Петрушева Н. А. Исследование свойств изоляционных ДВП с добавлением коры хвойных пород деревьев // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития : материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Красноярск, 25–26 апреля 2018 г.) Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», 2019. С. 103–106.

10. Черкасова А. И., Жученко А. Г., Хлюпина Д. П. Получение плит из коры со связующим [Электронный ресурс]. URL: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/10700/1/tdpp_1980_012.pdf (дата обращения: 1.12.2024).

11. Утилизация коры сосны с получением древесного пластика без связующего / А. С. Ершова, А. И. Змева, А. В. Шраер [и др.] // Перспективы развития тех-

ники и технологий в целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности : материалы VII Всероссийской отраслевой научно-практической конференции, (Пермь, 22–23 апреля 2019 г.). Пермь : федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный лесотехнический университет», 2019. С. 53–56.

12. Древесные пластики без связующих веществ с добавлением коры сосны / А. С. Ершова, А. В. Артемов, А. В. Савиновских, В. Г. Бурындин // Актуальные проблемы науки о полимерах : сборник трудов Всероссийской научной конференции (с международным участием) преподавателей и студентов вузов (Казань, 21–22 апреля 2020 г.). Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2020. С. 113–114.

13. Катраков И. Б., Маркин В. И., Базарнова Н. Г. Получение пресс-масс и плитных материалов на основе кавитированного растительного сырья // Известия Алтайского государственного университета. 2014. № 3-1(83). С. 204–208.

14. Кавитация как экологический способ переработки отходов растительного сырья / И. Б. Катраков, Н. Г. Базарнова, В. И. Маркин, А. С. Лазарев // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья : материалы V Всероссийской конференции с международным участием (Барнаул, 24–26 апреля 2012 г.). Барнаул : Алтайский государственный университет, 2012. С. 466.

15. Структурно-механические свойства гидродинамически активированной древесной массы в аддитивных технологиях / В. Н. Ермолин, М. А. Баяндин, А. В. Намятов, В. А. Острякова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 2(392). С. 121–131.

16. Водостойкость древесных плит, получаемых без использования связующих веществ / В. Н. Ермолин, М. А. Баяндин, С. Н. Казицин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 3(375). С. 151–158.

17. Влияние мелкодисперсных фракций на формирование свойств древесных плит без связующего / М. А. Баяндин, В. Н. Ермолин, С. Н. Казицин, С. Г. Елисеев // Хвойные бореальной зоны. 2015. Т. 33, № 3-4. С. 182–185.

18. Ласкеев П. Х. Производство древесной массы. М. : Лесная промышленность, 1967. 569 с.

19. Зырянов М. А. Получение полуфабрикатов в одну ступень размола для производства древесноволокнистых плит мокрым способом : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2012. 22 с.

20. Патент № 2818825 С1 Российская Федерация, МПК В27N 3/04. Способ изготовления корьевой плиты : № 2024105657 : заявл. 05.03.2024 : опубл. 06.05.2024 / В. Д. Эскин, А. И. Криворотова.

21. Эскин В. Д., Ермолин В. Н., Криворотова А. И. Конструкционные плиты из гидродинамически активированной коры сосны (*Pinus sylvestris*) без связующих веществ // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2024. № 5(401). С. 175–187.

22. Jayme G. *Zellstoff und Papier*. 1961, Vol. 11, Pp. 432–438.

23. Дулькин Д. А., Блинова Л. А., Блинушова О. Н. Изменение надмолекулярной структуры волокнистых полуфабрикатов из древесины в процессе размола // Химия растительного сырья. 2007. № 1. С. 75–83.

24. Production and Characterization of Cellulose Nanofibrils from Different Chemical and Mechanical Pulps / M. He, G. Yang, J. Chen, X. Ji, Q. Wang / *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 2018, pp. 149–158.

25. Алашкевич Ю. Д., Фомкина А. А., Карелина А. А. Взаимосвязь отдельных бумагообразующих свойств и коэффициента динамической вязкости при размоле волокнистой массы // Химия растительного сырья. 2022. № 4. С. 371–376.

26. Бирюков В. И. Теоретические основы и пути совершенствования процесса формирования древесно-волокнистых плит и других листовых волокнистых материалов целлюлозно-бумажного производства : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Л., 1972. 42 с.

27. Баженов В. А., Карасев Е. И., Мерсов Е. Д. Технология и оборудование производства древесных плит и пластиков: учебник для техникумов. М. : Лесная промышленность, 1980. 360 с.

REFERENCES

1. Sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya drevesnoy kory / Z. Pastori, G. A. Gorbacheva, V. G. Sanaev i dr. // *Lesnoy vestnik*. 2020. T. 24, № 5. S. 74–88.

2. Tsyvin M. M. *Ispol'zovanie drevesnoy kory*. M. : *Lesnaya promyshlennost'*, 1973. 96 s.

3. Advanced materials design based on waste wood and bark / C. Wenig, John W. C. Dunlop, J. Hehemeyer-Cürten, F. J. Reppe, N. Horbelt, K. Krauthausen, P. Fratzl and M. Eder / *Philosophical transactions of the royal society a mathematical, physical and engineering sciences*. 2021, art. 2206, DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0345>.

4. Vladimir S. Fedorov, Tatyana V. Ryazanova. Bark of Siberian Conifers: Composition, Use, and Processing to Extract Tannin. *Wood Science and Forest Products*. 2021, vol. 12, no. 8, art. 1043, DOI: <https://doi.org/10.3390/fl2081043>.

5. Solechnik N. Ya. *Proizvodstvo drevesno-voloknistykh plit : uchebnik* / N. Ya. Solechnik. M. : *Goslesbustizdat*, 1963. 326 s.

6. Kain G., Tudor E., Barbu M. Bark Thermal Insulation Panels: An Explorative Study on the Effects of Bark Species. *Polymers*, 2020, vol. 12, no. 9, art. 2140. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12092140>.

7. Acoustic Properties of Larch Bark Panels / E. M. Tudor, L. Kristak, M. C. Barbu, T. Gergel', M. v Nėmec, G. Kain, R. Rėh // *Forests*, 2021, vol. 12, no. 7, art. 887, <https://doi.org/10.3390/fl2070887>.

8. Mikryukova E. V., Akhmedov S. R. Issledovanie vodostoykosti kompozitsionnykh plitnykh materialov na osnove sosnovoy kory i struzhki // *Novoe v arkhitekture, proektirovanii stroitel'nykh konstruktsey i rekonstruktsii : Materialy IV Mezhdunarodnoy (X Vserossiyskoy) konferentsii*, (Cheboksary, 21–22 noyabrya 2018 g.) Cheboksary: *Chuvashskiy gosudarstvennyy universitet imeni I. N. Ul'yanova*, 2018. S. 545–549.

9. Ribiy P. V., Petrusheva N. A. Issledovanie svoystv izolyatsionnykh DVP s dobavleniem kory khvoynykh

porod derev'ev // Innovatsii v khimiko-lesnom komplekse: tendentsii i perspektivy razvitiya : Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Krasnoyarsk, 25–26 aprelya 2018 g.) Krasnoyarsk : Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Sibirskiy gosudarstvennyy universitet nauki i tekhnologii imeni akademika M. F. Reshetneva», 2019. S. 103–106.

10. Cherkasova A. I., Zhuchenko A. G., Khlyupina D. P. Poluchenie plit iz kory so svyazuyushchim [Elektronnyy resurs]. URL: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/10700/1/tdpp_1980_012.pdf (data obrashcheniya: 01.12.2024).

11. Utilizatsiya kory sosny s polucheniem drevesnogo plastika bez svyazuyushchego / A. S. Ershova, A. I. Zmeeva, A. V. Shraer [i dr.] // Perspektivy razvitiya tekhniki i tekhnologii v tsellyulozno-bumazhnoy i lesopererabatyvayushchey promyshlennosti : materialy VII Vserossiyskoy otraslevoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, (Perm', 22–23 aprelya 2019 g.). Perm': federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Ural'skiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskii universitet», 2019. S. 53–56.

12. Drevesnye plastiki bez svyazuyushchikh veshchestv s dobavleniem kory sosny / A. S. Ershova, A. V. Artemov, A. V. Savinovskikh, V. G. Buryndin // Aktual'nye problemy nauki o polimerakh : sbornik trudov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii (c mezhdunarodnym uchastiem) prepodavateley i studentov vuzov, (Kazan', 21–22 aprelya 2020 g.). Kazan': Kazanskiy natsional'nyy issledovatel'skiy tekhnologicheskii universitet, 2020. S. 113–114.

13. Katrakov I. B., Markin V. I., Bazarnova N. G. Poluchenie press-mass i plitnykh materialov na osnove kavitirovannogo rastitel'nogo syr'ya // Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. № 3-1(83). S. 204–208.

14. Kavitatsiya kak ekologicheskii sposob pererabotki otkhodov rastitel'nogo syr'ya / I. B. Katrakov, N. G. Bazarnova, V. I. Markin, A. S. Lazarev // Novye dostizheniya v khimii i khimicheskoy tekhnologii rastitel'nogo syr'ya : materialy V Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Barnaul, 24–26 aprelya 2012 g.). Barnaul : Altayskiy gosudarstvennyy universitet, 2012. S. 466.

15. Strukturno-mekhanicheskie svoystva gidrodinamicheski aktivirovannoy drevesnoy massy v additivnykh tekhnologiyakh / V. N. Ermolin, M. A. Bayandin, A. V. Namyatov, V. A. Ostryakova // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 2023. № 2(392). S. 121–131.

16. Vodostoykost' drevesnykh plit, poluchaemykh bez ispol'zovaniya svyazuyushchikh veshchestv / V. N. Ermolin, M. A. Bayandin, S. N. Kazitsin [i dr.] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 2020. № 3(375). S. 151–158.

17. Vliyanie melkodispersnykh fraktsiy na formirovanie svoystv drevesnykh plit bez svyazuyushchego / M. A. Bayandin, V. N. Ermolin, S. N. Kazitsin, S. G. Eliseev // Khvoynye boreal'noy zony. 2015. T. 33, № 3-4. S. 182–185.

18. Laskeev P. Kh. Proizvodstvo drevesnoy massy. M. : Lesnaya promyshlennost', 1967. 569 s.

19. Zyryanov M. A. Poluchenie polufabrikatov v odnu stupen' razmola dlya proizvodstva drevesno-voloknistykh plit mokrym sposobom : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Krasnoyarsk, 2012. 22 s.

20. Patent № 2818825 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B27N 3/04. Sposob izgotovleniya kor'evoy plity : № 2024105657 : zayavl. 05.03.2024 : opubl. 06.05.2024 / V. D. Eskin, A. I. Krivorotova.

21. Eskin V. D., Ermolin V. N., Krivorotova A. I. Konstruktsionnye plity iz gidrodinamicheski aktivirovannoy kory sosny (Pinus sylvestris) bez svyazuyushchikh veshchestv // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 2024. № 5(401). S. 175–187.

22. Jayme G. Zellstoff und Papier. 1961, vol. 11, pp. 432–438.

23. Dul'kin D. A., Blinova L. A., Blinushova O. N. Izmenenie nadmolekulyarnoy struktury voloknistykh polufabrikatov iz drevesiny v protsesse razmola // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2007. № 1. S. 75–83.

24. Production and Characterization of Cellulose Nanofibrils from Different Chemical and Mechanical Pulps / M. He, G. Yang, J. Chen, X. Ji, Q. Wang // Journal of Wood Chemistry and Technology, 2018, pp. 149–158.

25. Alashkevich Yu. D., Fomkina A. A., Karelina A. A. Vzaimosvyaz' otchel'nykh bumagoobrazuyushchikh svoystv i koeffitsienta dinamicheskoy vyazkosti pri razmole voloknistoy massy // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2022. № 4. S. 371–376.

26. Biryukov V. I. Teoreticheskie osnovy i puti sovershenstvovaniya protsessa formirovaniya drevesno-voloknistykh plit i drugikh listovykh voloknistykh materialov tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk. L., 1972. 42 s.

27. Bazhenov V. A., Karasev E. I., Mersov E. D. Tekhnologiya i oborudovanie proizvodstva drevesnykh plit i plastikov: uchebnik dlya tekhnikumov. M. : Lesnaya promyshlennost', 1980. 360 s.

© Эскин В. Д., Криворотова А. И.,
Ермолин В. Н., 2025

**ОБОСНОВАНИЕ РАБОЧЕЙ СКОРОСТИ ЛЕСОПОСАДОЧНОЙ МАШИНЫ
ДЛЯ СЕЯНЦЕВ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ****К. Н. Черник, С. Г. Елисеев**

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

Аннотация. *Широкое использование лесопосадочных машин при выполнении лесовосстановительных работ, в том числе для сеянцев с закрытой корневой системой, сдерживается несколькими факторами: несовершенство конструкции лесопосадочного аппарата и технологии машинной посадки в целом, низкое качество работы существующих машин, возникновение пропусков при машинной посадки, затраты на ручной труд при посадке и opravке неправильно высаженных растений. Исходя из этого, необходимость совершенствования технологии машинной посадки сеянцев с закрытой корневой системой является актуальной темой.*

Объектом исследования данной научной работы является лесопосадочная машина для посадки сеянцев с закрытой корневой системой. Предмет исследования – процесс вкладывания оператором сеянцев в лесопосадочный аппарат. Цель работы – обоснование рабочей скорости лесопосадочной машины для сеянцев с закрытой корневой системой с учетом пропусков сеянцев при посадке.

В процессе работы проводилось исследование зависимости пропусков сеянцев в рабочем органе лесопосадочного аппарата от рабочей скорости лесопосадочной машины. В ходе исследования получены следующие результаты: выполнено имитационное моделирование на основе математической модели с использованием прикладных математических программ, выполнено обоснование рабочей скорости лесопосадочной машины на основе анализа результатов имитационного моделирования, определена взаимосвязь емкости накопителя от рабочей скорости лесопосадочной машины, построена номограмма для выбора рабочей скорости лесопосадочного аппарата. Даны рекомендации по уменьшению пропусков сеянцев с закрытой корневой системой при машинной посадке.

Ключевые слова: *лесопосадочная машина, сеянец, закрытая корневая система, лесопосадочный аппарат, рабочая скорость.*

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 1, P. 85–91

**JUSTIFICATION OF THE WORKING SPEED OF THE PLANTING MACHINE
FOR SEEDLINGS WITH A CLOSED ROOT SYSTEM****K. N. Chernik, S. G. Eliseev**

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

Abstract. *The widespread use of forest planting machines when performing reforestation work, including for seedlings with a closed root system, is hampered by several factors: imperfect design of the forest planting machine and machine planting technology in general, low quality of work of existing machines, the occurrence of gaps during machine planting, and the cost of manual labor when planting and straightening incorrectly planted plants. Based on this, the need to improve the technology of machine planting of seedlings with a closed root system is a pressing topic.*

The object of study of this scientific work is a forest planting machine for growing seedlings with a closed root system. The subject of the study is the process of the operator inserting seedlings into the forest planting apparatus. The purpose of the work is to substantiate the operating speed of a forest planting machine for seedlings with a closed root system, taking into account the seedlings' omissions during planting.

In the process of work, a study was carried out of the dependence of the passage of seedlings in the working body of the forest planting machine on the operating speed of the forest planting machine. During the study, the following results were obtained: a mathematical model was developed that describes the dependence of the probability of seedlings missing on the parameters of the planting apparatus, simulation modeling was performed based on the developed mathematical model using applied mathematical programs, the operating speed of the forest planting machine was justified based on the analysis of the results of simulation modeling, the relationship was determined storage capacity from the operating speed of the forest planting machine, a nomogram has been constructed for

selecting the operating speed of the forest planting machine. Recommendations are given to reduce the omission of seedlings with a closed root system during machine planting.

Keywords: forest planting machine, seedling, closed root system, forest planting machine, operating speed.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России активно внедряются прогрессивные методы искусственного лесовосстановления, в частности, посадка сеянцев с закрытой корневой системой. В соответствии с национальным проектом к 2030 году до 45 % площадей искусственного лесовосстановления должно воспроизводиться сеянцами с закрытой корневой системой (ЗКС) [1].

Посадка сеянцев с ЗКС осуществляется как ручным, так и машинным способом, с помощью лесопосадочных машин. Наибольшее распространение получили полуавтоматические машины, оборудованные посадочными аппаратами и агрегируемые с сельскохозяйственными тракторами [2; 3].

Конструкции существующих посадочных аппаратов не обеспечивают удобство размещения сеянцев с ЗКС для оператора в рабочих органах посадочного аппарата. Это ведет к низкому качеству посадки лесопосадочной машиной, особенно по величине пропусков. Существующие зависимости для определения рабочей скорости посадочного аппарата не отражают величину пропусков растений при посадке сеянцев с ЗКС, в то время как последняя является основным критерием выбора скоростного режима, поэтому обоснование рабочей скорости лесопосадочной машины для сеянцев с закрытой корневой системой является актуальной темой [4–7].

Целью исследования является обоснование рабочей скорости лесопосадочной машины для сеянцев с закрытой корневой системой с учетом пропусков сеянцев при посадке.

Задачи исследования:

1. Разработка математической модели, описывающей зависимость вероятности пропусков сеянцев от параметров посадочного аппарата.
2. Выполнение имитационного моделирования на основе математической модели с использованием прикладных математических программ.
3. Обоснование рабочей скорости лесопосадочной машины на основе анализа результатов имитационного моделирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ручное размещение сеянцев в рабочие органы посадочного аппарата обуславливает случайный характер интервала времени подачи сеянцев (рис. 1).

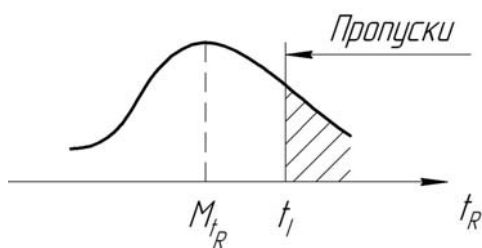


Рис. 1. Математическое ожидания времени размещения сеянца в захвате

Пропуск растений возникает вследствие запаздывания подачи сеянца в рабочий орган посадочного аппарата, то есть в случае не соблюдения условия:

$$t_R \leq t_I, \quad (1)$$

где t_R – время выполнения всех операций по размещению сеянца в захвате; t_I – интервал времени прохождения рабочих органов.

Интервал времени прохождения рабочих органов определяется по формуле

$$t_I = \frac{S}{V_P}, \quad (2)$$

где S – шаг посадки, м; V_P – рабочая скорость посадочного агрегата, м/с.

Исходя из выражений (1) и (2) при заданном шаге посадки количество пропусков будет зависеть от выбранной рабочей скорости. С увеличением рабочей скорости повышается вероятность пропусков растений.

Рабочая скорость посадочного аппарата определяется зависимостью:

$$V_P = qS, \quad (3)$$

где q – средний темп подачи сеянцев, шт/с.

Данная зависимость справедлива только при регулярном характере подачи сеянцев и не отражает влияние скорости на величину пропусков растений, в то время как последнее является основным критерием выбора скоростного режима посадочного агрегата.

Известно, что теоретическое исследование процесса ручного вкладывания сеянцев в посадочный аппарат в сельскохозяйственной отрасли было проведено В. Ф. Мун [8]. Указывается, что период вкладывания растения состоит из промежутков времени, в течение которых совершается ряд последовательных операций. Он определяется выражением:

$$t_R = t_1 + t_2 + t_3, \quad (4)$$

где t_1 – время, в течение которого происходит отделение растения из пучка и перенос его к захвату; t_2 – время, затрачиваемое на перенос руки от рабочего органа посадочного аппарата к пучку; t_3 – время, затрачиваемое на непосредственное размещение растения в рабочем органе посадочного аппарата.

Случайный характер работы операторов ведет к наличию следующих случаев:

- 1) $t_1 + t_2 + t_3 < t_R$ – сеянец подан к месту размещения раньше подхода рабочего органа и оператор ожидает. Пропуск растения отсутствует.
- 2) $t_1 + t_2 + t_3 = t_R$ – сеянец подан к месту вкладывания одновременно с подходом рабочего органа. Пропуск сеянца и время ожидания отсутствуют.
- 3) $t_1 + t_2 + t_3 > t_R$ – сеянец подан к месту вкладывания с опозданием и возник пропуск. Оператор ожидает подхода следующего рабочего органа посадочного аппарата.

Даже если растение подано к месту размещения сеянца раньше подхода рабочего органа, то запас времени не используется на размещение очередного сеянца, а тратится на ожидание.

Таким образом, время ожидания подхода захвата является необходимым элементом в структуре t_R :

$$t_R = t_1 + t_2 + t_3 + t_0, \quad (5)$$

где t_0 – время ожидания подхода рабочего органа.

Применение столиков позволяет сократить t_3 до нуля, но не ликвидирует время ожидания подхода рабочего органа посадочного аппарата. Это обусловлено тем, что на столик можно положить один сеянец и только после освобождения его от предыдущего. Если оператор подал растение к столику, на котором находятся сеянцы, то он вынужден ожидать подход рабочего органа (освобождение столика) [8].

Для уменьшения количества пропусков сеянцев в рабочих органах посадочного аппарата рабочая скорость устанавливается такой, чтобы интервал времени прохождения рабочих органов был больше математического ожидания времени вкладывания ($t_I > M_{tR}$). Причем, чем больше статистический разброс t_R тем меньше должна быть скорость. Это ведет к тому, что большую часть сеянцев оператор подает к месту вкладывания раньше подхода рабочего органа посадочного аппарата. Однако запас времени не используется для размещения очередного сеянца, а тратится на ожидание подхода рабочего органа посадочного аппарата.

Частичное использование времени ожидания подхода рабочего органа для размещения сеянцев позволяют осуществить столики. Более полное использование t_0 сдерживается недостаточной емкостью столика.

Для снижения пропусков сеянцев предлагается ввести промежуточное устройство (накопитель) между оператором и посадочным аппаратом, которое позволяет аккумулировать некоторое количество сеянцев и обеспечивать их автоматическую подачу в посадочный аппарат.

Условием отсутствия пропусков сеянцев при посадке посадочным аппаратом с накопителем является соблюдение неравенства:

$$t_R \leq nt_I, \quad (6)$$

где n – число растений в накопителе.

Следовательно, накопитель позволяет снизить пропуски растений в захватах за счет запаса сеянцев.

Возможность нахождения в накопителе нескольких сеянцев одновременно практически исключает время ожидания подхода захвата. Это позволяет уменьшить интервал времени прохождения захватов до математического ожидания времени t_B , то есть повысить рабочую скорость посадочного агрегата.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о взаимосвязи емкости накопителя, рабочей скорости посадочного агрегата и величины пропусков сеянцев в рабочих органах. Для выявления указанной зависимости рассмотрим накопитель как систему массового обслуживания в которую подается случайный поток сеянцев, а выходит регулярный с равным интервалом времени между растениями [9; 10].

Анализ априорной информации позволяет сделать допущение, что поток сеянцев, подаваемый в накопитель, обладает свойствами стационарности, отсутствия последствий и ординарности. При сделанных допущениях вероятность подачи n растений за время t_I определяется законом Пуассона [11; 12]:

$$P_n(t_I) = \frac{(qt_I)^n}{n!} e^{-qt_I}, \quad (7)$$

где q – средняя плотность потока растений, шт./ед. времени.

Анализ выражения (7) показывает, что при фиксированных значениях q и t_I с увеличением n больше какого-то числа $n_{\max}$ вероятность быстро стремится к нулю. Отбрасывая вероятности близкие к нулю, можно оказать, что максимальное количество сеянцев, подаваемых в накопитель за время t_I при плотности потока сеянцев q , равно $n_{\max}$.

Рассмотрим процесс посадки за время t_S , называемого шагом

$$t_S = \frac{t_I}{n_{\max}}. \quad (8)$$

Вероятность подачи одного сеянца за время t_S

$$K_{in} = P_1(t_S) = qt_S e^{-qt_S}. \quad (9)$$

Для упрощения расчетов примем поток растений, выходящий из механизма подачи, так же случайным с вероятностью выхода сеянцев за один шаг K_{out} .

$$K_{out} = \frac{1}{n_{\max}}. \quad (10)$$

На самом деле указанный поток полностью детерминирован и с вероятностью равной единице за время t_I из механизма подачи извлекается один сеянец.

В среднем построенный случайный процесс дает тот же результат, что и детерминированный. Действительно, за время t_I будет выполнено $n_{\max}$ шагов, а так как вероятность извлечения растения на каждом шаге равно $\frac{1}{n_{\max}}$, то за время t_I в среднем будет извлечен

$$n_{\max} \frac{1}{n_{\max}} = 1 \text{ сеянец.}$$

Подобное допущение оправдано ввиду того, что основную роль играет не закон распределения, а математическое ожидание процесса [12]. За один шаг в накопитель с вероятностью K_{in} подается и с вероятностью K_{out} извлекается одно растение.

За один шаг число растений в системе может с вероятностью $P_{+1} = K_{in}(1 - K_{out})$ увеличивается на единицу, с вероятностью $P_{-1} = K_{out}(1 - K_{in})$ уменьшается на единицу и с вероятностью $P_0 = K_{in}K_{out} + (1 - K_{in}) \times (1 - K_{out})$ остаться неизменным.

Система может находиться в одном из следующих состояний:

C_1 – в системе нет сеянцев. C_2 – в системе одно растение, C_k – в системе $k-1$ растений, C_{N+1} – в системе N растений.

Из состояния C_k , если $N + 1 > k > 1$, система за один шаг может перейти в состояние C_{k-1} , C_k , C_{k+1} ; из состояния C_{N+1} в состояние C_N , C_{N+1} ; из состояния C_1 в состояние C_0 , C_1 .

Возможность перехода из одного состояния в другое зависит лишь от предыдущего состояния системы. При бесконечном продолжении процесса система сколько угодно раз может побывать в любом из состояний. Это позволяет применять для исследования процесса подачи сеянцев математический аппарат марковских случайных процессов.

Вероятность перехода от состояния C_n к состоянию C_{n+1} будет выражаться через вероятности P_{+1} , P_0 , P_{-1} , а матрица перехода из состояния в состояние будет иметь вид

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} P_0; P_1; & & & & 0 \\ P_{-1}; P_0; P_{+1}; & & & & \\ & P_{-1}; P_0; P_{+1}; & & & \\ & & P_{-1}; P_0; P_{+1}; & & \\ & & & \dots & \\ 0 & & & & P_{-1}; P_0; \end{pmatrix} \quad (11)$$

Решение матрицы (11) приводит к системе уравнений:

$$\begin{cases} U_1 = U_1(P_0 + P_{-1}) + U_2P_{-1}; \\ U_2 = U_1P_{+1} + U_2P_0 + U_3P_{-1}; \\ U_3 = U_2P_{+1} + U_3P_0 + U_4P_{-1}; \\ \dots \\ U_k = U_{k-1}P_{+1} + U_kP_0 + U_{k+1}P_{-1}; \\ U_1 + U_2 + \dots + U_{N+1} = 1; \end{cases} \quad (12)$$

где $U_1, U_2, U_3 \dots U_N$ – вероятность нахождения системы в состоянии $C_1, C_2, C_3, \dots C_N$.

Решим первое уравнение системы (12) относительно U_2 :

$$U_2 = U_1 \frac{1 - (P_0 + P_{-1})}{P_{-1}} = U_1 \frac{P_{+1}}{P_{-1}}. \quad (13)$$

Подставляя выражение (13) во второе уравнение системы (12) и решив его относительно U_3 имеем:

$$U_3 = \frac{U_1}{P_{-1}} \left[\frac{P_{+1}}{P_{-1}} (1 - P_0) - P_{+1} \right] = U_1 \frac{P_{+1}^2}{P_{-1}^2}. \quad (14)$$

Продолжая аналогичные вычисления, получим

$$U_k = U_1 \frac{P_{+1}^{k+1}}{P_{-1}^{k+1}}. \quad (15)$$

Подставляя выражения (13)...(15) в последнее уравнение системы (12), получим выражение U_1 через вероятности

$$U_1 = \frac{1 - \frac{P_{+1}}{P_{-1}}}{1 - \left(\frac{P_{+1}}{P_{-1}} \right)^{N+1}}. \quad (16)$$

Подставляя (16) и (15), получим выражение для определения состояния системы.

$$U_k = \frac{1 - \frac{P_{+1}}{P_{-1}}}{1 - \left(\frac{P_{+1}}{P_{-1}} \right)^{N+1}} \cdot \frac{P_{+1}^{k+1}}{P_{-1}^{k+1}}; \quad (k = 1, 2, \dots, N + 1). \quad (17)$$

Вероятность пропусков растений из-за отсутствия их в накопителе определяется выражением

$$P_P = U_1 P_{-1}, \quad (18)$$

или, с учетом (16):

$$P_P = \frac{P_{-1} + P_{+1}}{1 - \left(\frac{P_{+1}}{P_{-1}} \right)^{N+1}}. \quad (19)$$

Рассмотрим выражение (19) при $P_{+1} < P_{-1}$.

В этом случае наименьшее значение P_P достигается при $N \rightarrow \infty$. Следовательно, минимальное значение вероятности пропусков растений $P_{P(\min)}$, с учетом (9) и (10), определяется выражением:

$$P_{P(\min)} = K_{out} - K_{in}. \quad (20)$$

Очевидно, процесс посадки должен удовлетворять требованию:

$$P_{P(\min)} < \varepsilon, \quad (21)$$

где ε – некоторое наперед заданное число.

Учитывая малость ε , а также (20), условием благоприятного режима работы накопителя будет неравенство:

$$K_{in} > K_{out}. \quad (22)$$

Однако это неравенство противоречит исходному. Действительно, если $P_{-1} > P_{+1}$, то $K_{out}(1 - K_{in}) > K_{in}(1 - K_{out})$ или $K_{in} < K_{out}$.

Из сказанного следует, что наиболее благоприятному режиму работы накопителя отвечает случай, когда $P_{-1} > P_{+1}$, то есть вероятность подачи растения за один шаг больше вероятности выхода его из СМО.

Исходя из условия благоприятного режима работы механизма подачи (22), с учетом (1), (9) и (10), рабочая скорость лесопосадочной машины должна определяться по выражению

$$\frac{qS}{V_P} e^{-\frac{qS}{V_P n_{\max}}} \geq 1. \quad (23)$$

При выполнении условия (23) существует возможность уменьшения числа пропусков растений ниже какого-то наперед заданного числа ε путем постановки накопителя с определенной емкостью.

Положив в равенстве (19) $P_P = \varepsilon$, получим требуемую емкость накопителя сеянцев.

$$Q_H = \frac{\ln \left(1 - \frac{P_{-1} - P_{+1}}{\varepsilon} \right)}{\ln \left(\frac{P_{+1}}{P_{-1}} \right)} - 1. \quad (24)$$

Или, с учетом (9) и (10)

$$Q_H = \frac{\ln\left(1 - \frac{K_{out} - K_{in}}{\varepsilon}\right)}{\ln K_{in}(1 - K_{out}) - \ln K_{out}(1 - K_{in})} - 1. \quad (25)$$

Величина ε определяет количество пропусков растений в захватах в процентах от общего количества поданных семян.

Выражения (23) и (25) позволяют определить взаимосвязь между рабочей скоростью агрегата, средним темпом подачи семян, емкостью накопите-

ля, шагом посадки и величиной пропусков растений в захватах.

В результате проведенных исследований была получена математическая модель, позволяющая определять зависимость вероятности пропусков семян во время посадки от параметров посадочного аппарата, в том числе рабочей скорости лесопосадочной машины.

Далее на основе полученной математической модели было проведено имитационное моделирование в математической программе MatchCAD (рис. 2).

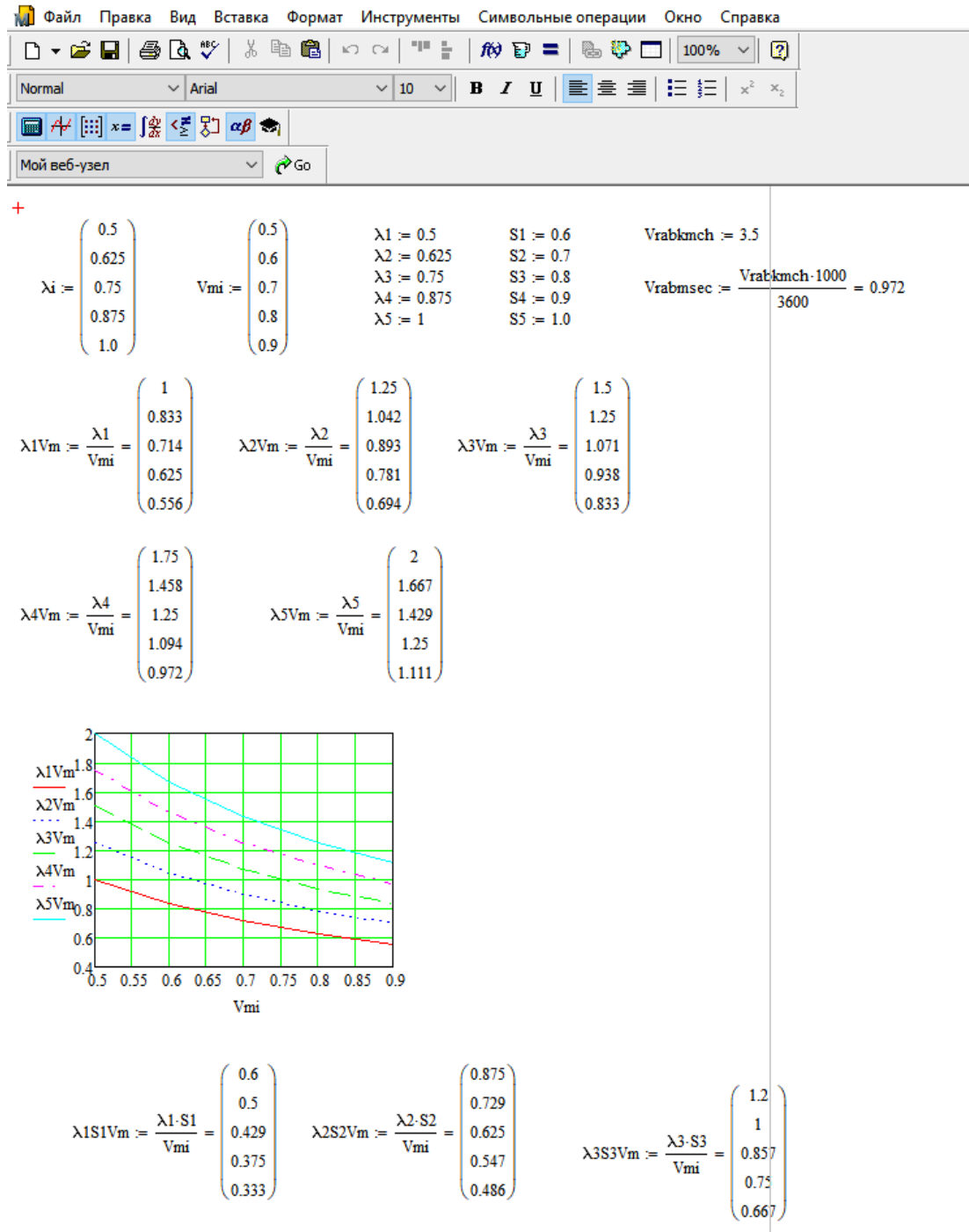


Рис. 2. Фрагмент имитационной модели в математической программе MatchCAD

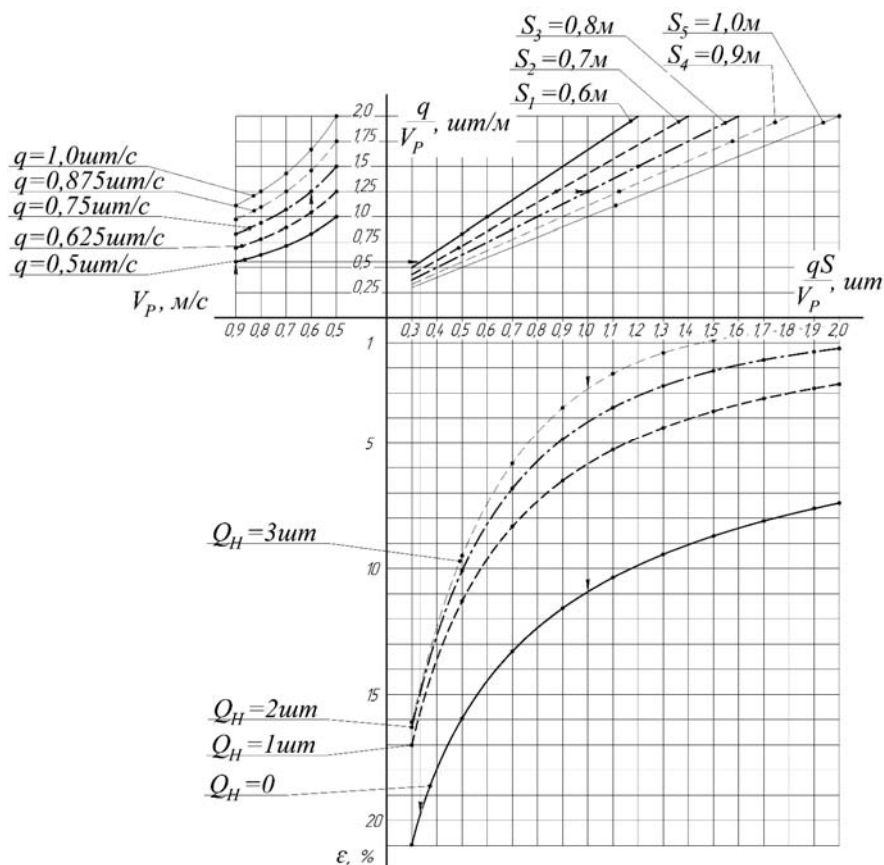


Рис. 3. Номограмма для выбора рабочей скорости посадочного аппарата

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам имитационного моделирования была построена номограмма (рис. 3), которая позволяет определять вероятность пропусков сеянцев при посадке в зависимости от рабочей скорости, темпа посадки и шага посадки.

Приведенная номограмма позволяет определить взаимосвязь темпа подачи сеянцев, рабочей скорости агрегата, шага посадки; емкости накопителя и величины пропусков растений в захватах.

Анализ номограммы показал, чем выше рабочая скорость лесопосадочной машины, тем больше вероятность пропуска, при этом достигая определенного, критического, значения скорости вероятность пропусков резко возрастает. Так, при скорости 0,9 м/с, среднем темпе 0,5 шт/с и шаге посадки 0,6 м вероятность пропуска составляет 19,76 %.

При скорости 0,6 м/с, среднем темпе 0,75 шт/с и шаге посадки 0,8 м вероятность пропуска составит 10,91 %.

Уменьшение вероятности пропусков может быть достигнуто с помощью установки на лесопосадочный аппарат накопителя, который будет осуществлять автоматическую подачу в захват лесопосадочного аппарата. При этом согласно проведенному анализу вероятность пропусков при равных условиях с наличием накопителя емкостью 3 сеянца может быть уменьшена до 0,33 %. Так, при скорости 0,6 м/с, среднем темпе 0,75 шт/с и шаге посадки 0,8 м вероятность пропуска без накопителя составит 10,91 %, с накопителем емкостью 3 сеянца – 2,82 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

- установлено, что вероятность возникновения пропусков при посадке сеянцев с ЗКС механизированным способом зависит от рабочей скорости лесопосадочной машины. С увеличением рабочей скорости лесопосадочной машины вероятность пропусков резко возрастает. Так при шаге посадки 1,0 м и среднем темпе посадки 0,5 шт/с критическим значением скорости является 0,91 м/с, при шаге посадки 0,9 м и среднем темпе посадки 0,625 шт/с критическим значением скорости является 0,72 м/с;

- разработанная имитационная модель позволяет определять вероятность возникновения пропусков при посадке сеянцев с ЗКС механизированным способом в зависимости от параметров работы лесопосадочной машины (рабочая скорость, темп и шаг посадки);

- увеличение рабочей скорости лесопосадочной машины выше полученных критических значений невозможно без создания накопителя, обеспечивающего размещение не менее 3 сеянцев с ЗКС одновременно;

- определена зависимость емкости накопителя от рабочей скорости лесопосадочной машины. При наличии запаса сеянцев с ЗКС в накопителе равном n штук, можно в течение времени $n \cdot t_i$ подавать растения в посадочный аппарат без участия человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Драпалюк М. В., Стасюк В. В., Зеликов В. А. Новые конструкции универсальных лесопосадочных машин для посадки сеянцев с открытой и закрытой корневой системой // Лесотехнический журнал. 2021. Т. 11. № 4 (44). С. 112–123.
2. Корчагов С. А., Грибов С. Е., Обрядина О. Ю. Экономическая оценка создания лесных культур различным видом посадочного материала // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017. № 5 (359). С. 92–102.
3. Петухов И. Н. Лесоводственная эффективность создания лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой в условиях костромской области // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2011. № 3. С. 33–35.
4. Laine T., J. Rantala. 2013. Mechanized tree planting with an excavator-mounted M-Planter planting device // International Journal of Forest Engineering, 24(3), 183–193.
5. Laine T., Saarinen V.-M. (2014). Comparative study of the Risutec Automatic Plant Container (APC) and Bracke planting devices. Silva Fennica. Vol. 48, no. 3 article id 1161. 16 p.
6. Ghaffariyan M. R. (2021) A short review on studies on work productivity of mechanical tree planting, Silva Balcanica 22(2): 25–32. <https://doi.org/10.3897/silvabalcanica.22.e64233>.
7. Errson B. T. 2014. Concepts for mechanized tree planting in Southern Sweden. PhD Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. 78 p.
8. Мун В. Ф. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы посадочных аппаратов рассадопосадочных машин : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01. Алма-Ата, 1984. 186 с.
9. Трухан А. А., Кудряшев Г. С. Теория вероятностей в инженерных приложениях : учеб. пособие. 4-е изд., перераб. и доп. Санкт-Петербург : Лань, 2022. 368 с.
10. Русанов К. И., Бобков С. П. Анализ возможностей и сравнение базовых подходов к моделированию сетей массового обслуживания // Проблемы экономики, финансов и управления производством : сб. науч. тр. вузов России. 2022. № 51. С. 188–193.
11. Пестова М. С. Информационные технологии при изучении теории вероятностей // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2013. № 1. С. 62–70.
12. Ганичева А. В. Теория вероятностей : учеб. пособие. Санкт-Петербург : Лань, 2022. 144 с.

REFERENCES

1. Drapalyuk M. V., Stasyuk V. V., Zelikov V. A. Novyye konstruktzii universal'nykh lesopasadochnykh mashin dlya posadki seyantsev s otkrytoy i zakrytoy kornevoy sistemoy // Lesotekhnicheskii zhurnal. 2021. T. 11, № 4 (44). С. 112–123.
2. Korchagov S. A., Gribov S. Ye., Obryadina O. Yu. Ekonomicheskaya otsenka sozdaniya lesnykh kul'tur razlichnym vidom posadochnogo materiala. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 2017. № 5 (359). S. 92–102.
3. Petukhov I. N. Lesovodstvennaya effektivnost' sozdaniya lesnykh kul'tur seyantsami s zakrytoy kornevoy sistemoy v usloviyakh kostromskoy oblasti // Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik. 2011. № 3. С. 33–35.
4. Laine T., J. Rantala. 2013. Mechanized tree planting with an excavator-mounted M-Planter planting device // International Journal of Forest Engineering, 24(3), 183–193.
5. Laine T., Saarinen V.-M. (2014). Comparative study of the Risutec Automatic Plant Container (APC) and Bracke planting devices. Silva Fennica vol. 48, no. 3 article id 1161. 16 p.
6. Ghaffariyan M. R. (2021) A short review on studies on work productivity of mechanical tree planting, Silva Balcanica 22(2): 25–32. <https://doi.org/10.3897/silvabalcanica.22.e64233>.
7. Errson B. T. 2014. Concepts for mechanized tree planting in Southern Sweden. PhD Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. 78 p.
8. Mun V. F. Obosnovaniye konstruktivnykh parametrov i rezhimov raboty posadochnykh apparatov rassadoposadochnykh mashin : dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk : 05.20.01. Alma-Ata, 1984. 186 s.
9. Trukhan A. A., Kudryashev G. S. Teoriya veroyatnostey v inzhenernykh prilozheniyakh : uchebnoye posobiye. 4-e izd., pererab. i dop. Sankt-Peterburg : Lan', 2022. 368 s.
10. Rusanov K. I., Bobkov S. P. Analiz vozmozhnostey i sravneniye bazovykh podkhodov k modelirovaniyu setey massovogo obsluzhivaniya // Sbornik nauchnykh trudov vuzov Rossii «Problemy ekonomiki, finansov i upravleniya proizvodstvom». 2022. № 51. S. 188–193.
11. Pestova M. S. Informatsionnyye tekhnologii pri izuchenii teorii veroyatnostey // Nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal «Kontsept». 2013. № 1. S. 62–70.
12. Ganicheva A. V. Teoriya veroyatnostey : uchebnoye posobiye. Sankt-Peterburg : Lan', 2022. 144 s.

© Черник К. Н., Елисеев С. Г.. 2025

Поступила в редакцию 20.09.2024
Принята к печати 18.02.2025

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ СВЕРЛЕНИЮ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ И ЕЛИ УСТРОЙСТВОМ РЕЗИСТОГРАФ***Н. А. Неверов¹, О. Н. Тюкавина², А. Л. Минеев¹**¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук
Российская Федерация, 163020, г. Архангельск, пр. Никольский, 20²Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова» (САФУ)
Российская Федерация, 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17

Аннотация. Для оценки качества стволовой древесины растущих деревьев применяют устройство Резистограф, принцип работы которого заключается в измерении сопротивления древесины сверлению. На результаты работы устройства оказывает влияние комплекс факторов, в первую очередь глубина сверления и степень затупленности режущих кромок бурового сверла. Цель исследования – оценка систематической погрешности измерений сопротивления сверлению древесины сосны и ели устройством Резистограф. Исследования проведены в Архангельском лесничестве. Сверление проводили последовательно по очереди от первого дерева к последующему в направлении север-юг и затем снова возвращались к первому дереву, отступая от предыдущего засверливания вверх 1 см. Начинали сверление на высоте 80 см от корневой шейки. Всего проанализировано по 140 резистограмм для каждой древесной породы. Резистограммы сглаживались методом стандартизированной оценки (z-score). Погрешности оценивали путем расчёта положительных разностей между значениями сопротивления сверлению соответствующих участков древесины или между последовательными сверлениями за один и тот же промежуток сверления у каждого дерева. Регрессионный анализ сопротивлений сверлению древесины ели позволил получить следующие уравнения по оценке погрешностей: при износе режущих кромок $R' = 0,17x' - 13,62$, где x' – это совокупная протяженность сверлений, см; при увеличении глубины сверления $R'' = 0,27x'' + 8,56$, где x'' – глубина засверливания, см. Согласно анализу резистограмм древесины сосны погрешности: при износе режущих кромок $R' = 0,15x' + 23,67$; при увеличении глубины сверления $R'' = 0,92x'' + 7,59$. Следовательно, для оценки истинного значения сопротивления древесины сверлению прибором Резистограф необходимо от полученного значения вычесть погрешности R' и R'' .

Ключевые слова: резистограф, сосна, ель, древесина, ствол, сопротивление сверлению.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 1, P. 92–96

ERRORS IN MEASURING THE DRILLING RESISTANCE OF PINE AND SPRUCE WOOD BY THE DEVICE RESISTOGRAPH**N. A. Neverov¹, O. N. Tyukavina², A. L. Mineev¹**¹Lavrov Federal Center of Integrated Arctic Research of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences
20, Nikolsky ave., Arkhangelsk, 163020, Russian Federation²Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov
17, Severnaya Dvina Emb., Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

Abstract. To assess the quality of the stem wood of growing trees, a Resistograph device is used, the principle of which is to measure the resistance of wood to drilling. The results of the device are influenced by a number of factors, primarily the drilling depth and the degree of bluntness of the cutting edges. The purpose of the study is to assess the systematic measurement error of resistance to drilling of pine and spruce wood with a Resistograph device. The research was carried out in the Arkhangelsk forestry. Drilling was carried out sequentially in turn from the first tree to the next in the north-south direction and then returned to the first tree again, retreating from the previous drilling up 1 cm. Drilling began at a height of 80 cm from the root neck. In total, 140 resistograms were analyzed for each tree species. The resistograms were smoothed by the standardized assessment method (z-score). The errors were estimated by calculating the differences between the values of the drilling resistance of the corresponding sections of wood or between successive drills for the same drilling interval for each tree. Regression analysis of the drilling resistances

* Сведения о финансировании исследования. Исследования проведены в рамках государственного задания № 125022502869-4 Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук.

of spruce wood allowed us to obtain the following equations for estimating errors: with wear of the cutting edges, $R' = 0,17x' - 13,62$, where x' is the total length of drilling, cm; with increasing drilling depth, $R'' = 0,27x'' + 8,56$, where x'' is the actual drilling depth, cm. According to the analysis of pine wood resistograms errors: when the cutting edges wear out, $R' = 0,15x' + 23,67$; when the drilling depth increases, $R'' = 0,92x'' + 7,59$. Therefore, to estimate the true value of the wood resistance to drilling with the Resistograph device, it is necessary to subtract the errors R' and R'' from the obtained value.

Keywords: resistograph, pine, spruce, wood, trunk, drilling resistance.

ВВЕДЕНИЕ

Устройство Резистограф (Rinntech, Германия) – это механическая система сверления, которая измеряет профиль сопротивления при вхождении вращающегося сверла в древесину с постоянной скоростью [15]. Основным рабочим элементом резистографа является тонкое буровое сверло из специальной эластичной стали. При сверлении возникает сопротивление бурению, подачи сверла (крутящий момент), трению между поверхностью сверла, стружкой и поверхностью резания [10]. Данное устройство применяется для изучения и оценки различных параметров, как стволовой древесины растущих деревьев, так и древесного сырья. С его помощью определяют возраст [14; 17], плотность [18], проводят анализ годовых колец [12–13], дают оценку состояния пиломатериалов и деревянных конструкций [1], в том числе пораженных гнилью [4; 8; 16]. Для рационального использования лесов необходим дифференцированный подход к использованию древесных ресурсов в процессе лесозаготовок. В связи с этим актуальны экспресс методики оценки качества древесины. Устройство Резистограф позволяет оценивать качественные характеристики растущей древесины [3; 5; 7; 9], но для формирования диапозонов оценки, шкал необходимо выравнивать данные сопротивления сверлению в связи с наличием систематической погрешности. Данная погрешность формируется с увеличением глубины сверления за счет сопротивления не только поверхности резания, но и стенок канала, и с увеличением количества приемов сверления за счет затупления бурового сверла [3; 6; 8; 11].

Цель исследования – оценка систематической погрешности сопротивления сверлению древесины сосны и ели.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены в Архангельском лесничестве. Пробные площади заложены в фоновой территории относительно Холмогорского тектонического узла [2]. Объектами исследования являлись сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и ель европейская (*Picea abies* L.). На 4-х пробных площадях отобраны модельные деревья (16 шт.) сосны диаметром ствола 160–420 см и ели диаметром ствола 200–265 см, не имеющих стволовой гнили, прямоствольные, без видимых повреждений. Прибором Резистограф (Resistograph-44538, Rinntech, Germany) проводили сверление древесины новыми буровыми сверлами отдельно для ели и отдельно для сосны. Сверление проводили последовательно по очереди от первого дерева к последующему в направлении север-юг и затем снова возвращались к первому дереву. Начинали сверление на высоте 80 см от корневой шейки и затем отступали вверх по 1–1,5 см. Всего в каждом дереве произведено 35 засверливаний.

Резистограф получает данные о сопротивлении сверлению на каждые 0,01 мм древесины. Чтобы исключить ошибки и шум данные сглаживались. Для этого массив данных каждого сверления разбивался на отрезки размером 3 мм. Резистограммы сглаживались методом стандартизированной оценки (z-score), усреднялись по выделенным отрезкам. Таким образом, получились более «гладкие» графики кривых сопротивления (рис. 1).

По мере увеличения количества сверлений сопротивление древесины возрастает. У одного и того же дерева различие в сопротивлении сверлению древесины в последовательных приемах сверления с промежутком в четыре засверливания составляет до 28 Resi (рис. 2). Такое различие, на наш взгляд, обусловлено затуплением режущих кромок сверла.

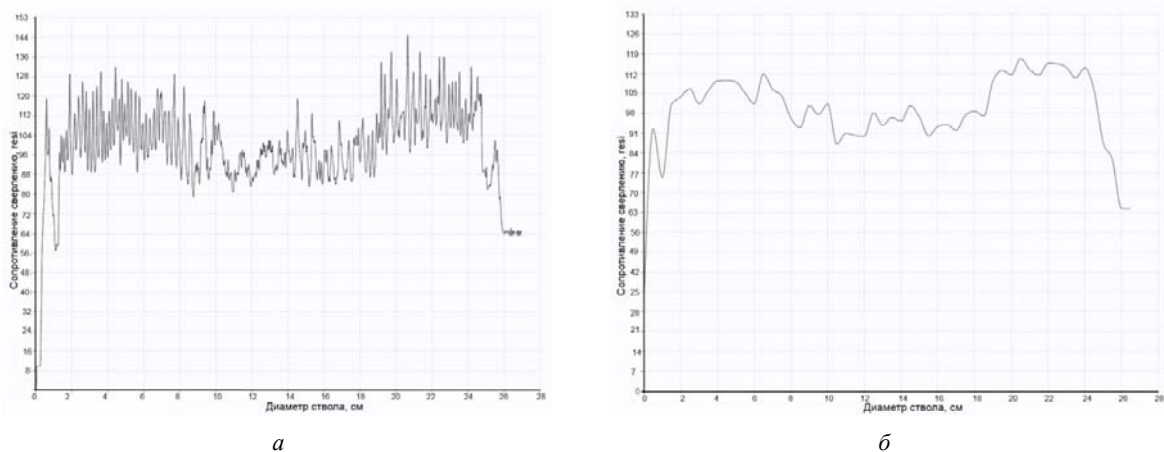


Рис. 1. Резистограмма сосны:

a – до сглаживания; *б* – после сглаживания

Для оценки погрешности от изношенности сверла рассчитывали разности между последовательными сверлениями за один и тот же промежуток сверления у каждого дерева. И при построении графиков использовали только положительные разности. Для оценки влияния глубины сверления рассчитывали разности между значениями сопротивления сверлению соответствующих участков древесины и также учитывались только положительные разности. Расчёты проводили в специально написанной для данной процедуры программе Resi 1.0.

Пример статистической обработки резистограмм древесины сосны представлен на рис. 3. Для анализа резистограмм была написана специализированная программа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сверление проводилось в участки ствола без сучков и видимых повреждений. Однако как в древесине ели, так и в древесине сосны встречаются местные уплотнения, которые могут увеличивать сопротивление сверлению в несколько раз. У древесины ели повышенное со-

противление сверлению возникает в центральной части ствола или вблизи от нее и может достигать 420 resi, при средней сопротивляемости 100–125 resi. У древесины сосны также выражены повышение сопротивляемости в центральной части, но наибольшее сопротивление составило 255 resi, при средней сопротивляемости сверлению 105–135 resi (рис. 4).

Для анализа исключались резистограммы со значительным превышением показателей.

Анализ сопротивления сверлению древесины ели позволил получить следующие уравнения регрессии для оценки погрешности измерения:

при износе режущих кромок

$$R' = 0,17x' - 13,62; \quad (1)$$

при увеличении глубины сверления

$$R'' = 0,27x'' + 8,56, \quad (2)$$

где R' – погрешность, вызванная износом режущих кромок; R'' – погрешность, вызванная глубиной сверления; x' – совокупная протяженность сверления, см; x'' – фактическая глубина засверливания, см.

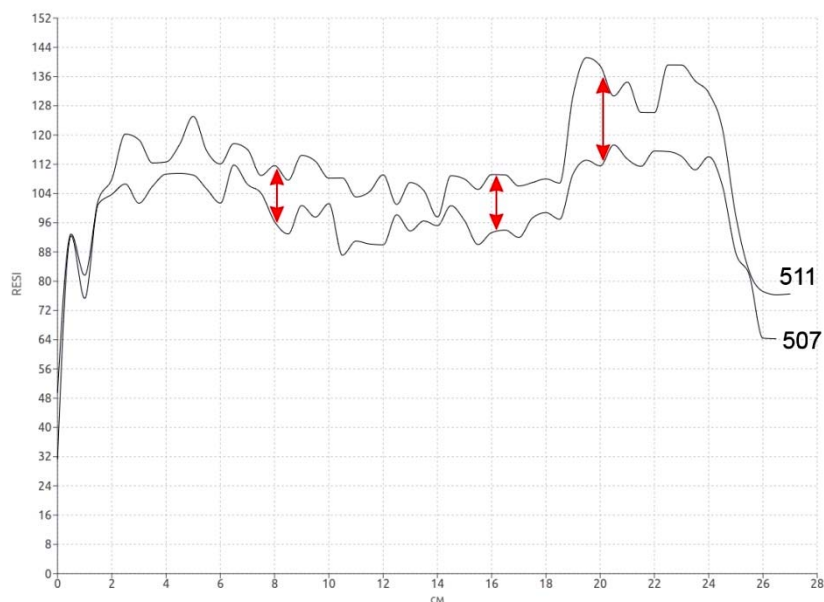


Рис. 2. Различия сопротивления сверлению между соседними сверлениями в древесине сосны

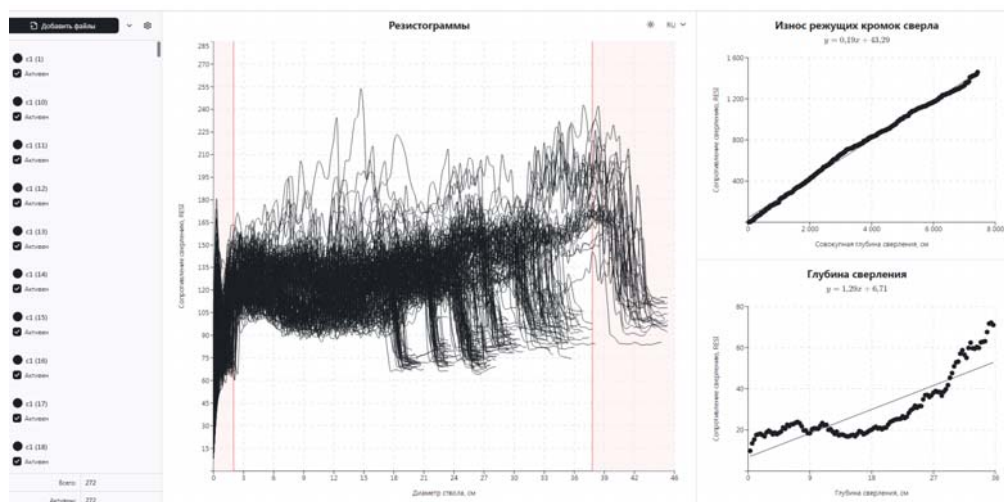


Рис. 3. Дизайн программы для анализа резистограмм Resi 1.0

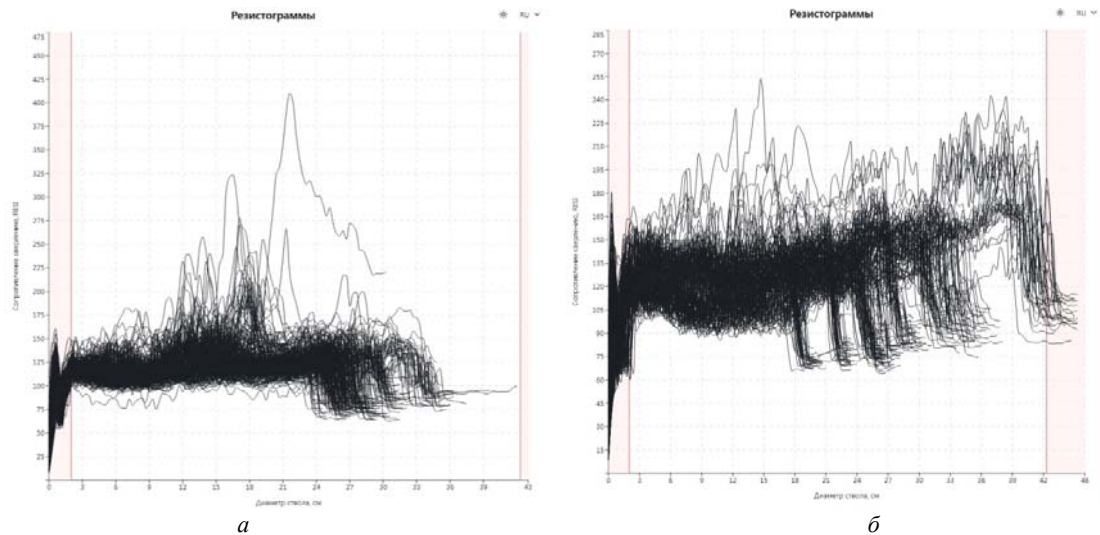


Рис. 4. Резистогаммы древесины:

a – ели; *б* – сосны

Анализ сопротивления сверлению древесины сосны позволил оценить погрешности измерения: при износе режущих кромок

$$R' = 0,15x' + 23,67; \quad (3)$$

при увеличении глубины сверления

$$R'' = 0,92x'' + 7,59. \quad (4)$$

Для уточнения полученных данных сопротивления сверлению следует пользоваться следующими формулами:

$$R' = ax' + b, \quad (5)$$

$$R'' = ax'' + b, \quad (6)$$

$$R''' = \begin{cases} R - (R' + R''), & R > R' + R'', \\ R, & R \leq R' + R'', \end{cases} \quad (7)$$

где R''' – уточненное сопротивление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение выявленных погрешностей позволит получить выравненные данные сопротивления сверлению стволовой древесины, обусловленные лишь качественными характеристиками древесины без влияния глубины и количества предыдущих засверливаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Королев А. С., Шарапов Е. С., Попов В. А. Оценка внутреннего состояния древесины в балках перекрытий методом измерения сопротивления сверлению // Вестник гражданских инженеров, 2023. № 5(100). С. 21–30. DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-5-21-30.
2. Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б., Неверов Н. А. Новые данные о влиянии тектонических узлов на состояние окружающей среды на севере Русской плиты // Вестник Московского университета. Серия 5: География, 2020. № 5. С. 12–24.
3. Лавров М. Ф. Совершенствование метода оценки качества древесины лиственницы, произрастающей в климатических условиях Якутии : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Якутск, 2022. 16 с.

4. Позняк С. С., Хох А. Н. Диагностика внутреннего состояния деревьев на наличие скрытых гнилей с использованием показателей сопротивления при сверлении древесины // Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI века : материалы 20-й Международной научной конференции : в 2 частях. Минск, 2020. С. 280–284. DOI: 10.46646/SAKH-2020-1-280-284.

5. Сиволапов В. А., Кулаков Е. Е., Сиволапов А. И. Диагностика жизнеспособности регенерантов сорта тополя сереющего Хоперский 1 и экотипов лиственницы с помощью прибора RESISTOGRAPH // Цифровые технологии в лесной отрасли : материалы Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, 2022. С. 86–91. DOI: 10.34220/DTFI2022_86-91.

6. Особенности интерпретации результатов резистограмм при оценке качества стволовой древесины сосны / О. Н. Тюкавина, Н. А. Неверов, В. И. Мелехов и др. // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 18–26. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-18-26.

7. Федорков А. Л. Оценка качественных признаков древесины в селекционных программах (краткий обзор современной литературы) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 30–35. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-30-35.

8. Хох А. Н., Авраменко А. А. Использование современных инструментальных методов при проведении судебно-ботанических экспертиз // Судебная экспертиза Беларуси. 2021. № 1 (12). С. 73–78.

9. Чернов В. Ю. Повышение точности метода измерения сопротивления сверлению древесины : дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05: защищена 21.04.2015. Йошкар-Ола, 2014. 168 с.

10. Шарапов Е. С., Чернов В. Ю., Смирнова Е. В. Исследование кинематики процесса сверления древесины тонкими буровыми сверлами // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2016. Т. 20, № 4. С. 52–59.

11. Шарапов Е. С. Совершенствование методов и средств квазинеразрушающего контроля физико-механических свойств древесины и древесных материалов : дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.05. Архангельск, 2019. 340 с.

12. Design and test of a microdestructive tree-ring measurement system / X. Hu, Y. Zheng, H. Liang et al. // *Sensors*. 2020. No. 20. P. 3253. DOI: 10.3390/s20113253.

13. Research on tree ring micro-destructive detection technology based on digital micro-drilling resistance method / X. Hu, Y. Zheng, D. Xing et al. // *Forests*. 2022. No. 13. P. 1139. DOI: 10.3390/f13071139.

14. Oh J., Seo J., Kim B. Determinate the number of growth rings using resistograph with tree-ring chronology to investigate ages of big old trees // *J. Korean Wood Sci. Technol.* 2019. No. 47. P. 700–708. DOI: 10.5658/WOOD.2019.47.6.700.

15. Rinn F., Schweingruber F. H., Schar E. Resistograph and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species // *Holzforschung*. 1996. Vol. 50(4). P. 303–311.

16. Effects of white rot and brown rot decay on the drilling resistance measurements in wood / E. Sharapov, E. Smirnova, C. Brischke et al. // *Holzforschung*. 2018. Vol. 72. No. 10. P. 905–913. DOI 10.1515/hf-2017-0204.

17. Age estimation of different tree species using a special kind of an electrically recording resistance drill / G. Szewczyk, R. Wasik, K. Leszczyński et al. // *Urban For. Urban Green*. 2018. No. 34. P. 249–253. DOI: 10.1016/j.ufug.2018.07.010.

18. Design of a tree micro drill instrument to improve the accuracy of wood density estimation / J. Yao, Z. Wu, Y. Zheng et al. // *Forests*. 2023. No. 14. P. 2071. DOI: 10.3390/f14102071.

REFERENCES

1. Korolev A. S., Sharapov E. S., Popov V. A. Otsenka vnutrennego sostoyaniya drevesiny v balkakh perekrytiy metodom izmereniya soprotivleniya sverleniyu // *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2023. № 5(100). S. 21–30. DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-5-21-30.

2. Kutinov Yu. G., Chistova Z. B., Neverov N. A. Novyye dannyye o vliyaniy tektonicheskikh uzlov na sostoyaniye okruzhayushchey sredy na severe Russkoy plity // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*, 2020. № 5. S. 12–24.

3. Lavrov M. F. Sovershenstvovaniye metoda otsenki kachestva drevesiny listvennitsy, proizrastayushchey v klimaticheskikh usloviyakh Yakutii : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.05. Yakutsk, 2022. 16 s.

4. Poznyak S. S., Khokh A. N. Diagnostika vnutrennego sostoyaniya derev'yev na nalichie skrytykh gniley s ispol'zovaniyem pokazateley soprotivleniya pri sverlenii drevesiny // *Sakharovskiye chteniya 2020 goda: ekologicheskiye problemy XXI veka : materialy 20-y Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii : v 2 chastyakh*. Minsk, 2020. S. 280–284. DOI: 10.46646/SAKH-2020-1-280-284.

5. Sivolapov V. A., Kulakov E. E., Sivolapov A. I. Diagnostika zhiznesposobnosti regenerantov sorta topolya sereyushchego Khoperskiy 1 i ekotipov listvennitsy s pomoshch'yu pribora RESISTOGRAPH // *Tsifrovyye tekhnologii v lesnoy otrasli : materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Voronezh, 2022. S. 86–91. DOI: 10.34220/DTFI2022_86-91.

6. Osobennosti interpretatsii rezul'tatov rezistogramm pri otsenke kachestva stvolovoy drevesiny sosny / O. N. Tyukavina, N. A. Neverov, V. I. Melekhov i dr. // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023. T. 27. № 2. S. 18–26. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-18-26.

7. Fedorkov A. L. Otsenka kachestvennykh priznakov drevesiny v selektsionnykh programmakh (kratkiy obzor sovremennoy literatury) // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023. T. 27. № 4. S. 30–35. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-30-35.

8. Khokh A. N., Avramenko A. A. Ispol'zovaniye sovremennykh instrumental'nykh metodov pri provedenii sudebno-botanicheskikh ekspertiz // *Sudebnaya ekspertiza Belarusii*. 2021. № 1 (12). S. 73–78.

9. Chernov V. Yu. Povysheniye tochnosti metoda izmereniya soprotivleniya sverleniyu drevesiny : dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.05: zashchishchena 21.04.2015. Yoshkar-Ola, 2014. 168 s.

10. Sharapov E. S., Chernov V. Yu., Smirnova E. V. Issledovaniye kinematiki protsessa sverleniya drevesiny tonkimi burovymi sverlami // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*. 2016. T. 20, № 4. S. 52–59.

11. Sharapov E. S. Sovershenstvovaniye metodov i sredstv kvazinerazrushayushchego kontrolya fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesiny i drevesnykh materialov : dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.21.05. Arkhangel'sk, 2019. 340 s.

12. Design and test of a microdestructive tree-ring measurement system / X. Hu, Y. Zheng, H. Liang et al. // *Sensors*. 2020. No. 20. P. 3253. DOI: 10.3390/s20113253.

13. Research on tree ring micro-destructive detection technology based on digital micro-drilling resistance method / X. Hu, Y. Zheng, D. Xing et al. // *Forests*. 2022. No. 13. P. 1139. DOI: 10.3390/f13071139.

14. Oh J., Seo J., Kim B. Determinate the number of growth rings using resistograph with tree-ring chronology to investigate ages of big old trees // *J. Korean Wood Sci. Technol.* 2019. No. 47. P. 700–708. DOI: 10.5658/WOOD.2019.47.6.700.

15. Rinn F., Schweingruber F. H., Schar E. Resistograph and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species // *Holzforschung*. 1996. Vol. 50(4). P. 303–311.

16. Effects of white rot and brown rot decay on the drilling resistance measurements in wood / E. Sharapov, E. Smirnova, C. Brischke et al. // *Holzforschung*. 2018. Vol. 72. No. 10. P. 905–913. DOI 10.1515/hf-2017-0204.

17. Age estimation of different tree species using a special kind of an electrically recording resistance drill / G. Szewczyk, R. Wasik, K. Leszczyński et al. // *Urban For. Urban Green*. 2018. No. 34. P. 249–253. DOI: 10.1016/j.ufug.2018.07.010.

18. Design of a tree micro drill instrument to improve the accuracy of wood density estimation / J. Yao, Z. Wu, Y. Zheng et al. // *Forests*. 2023. No. 14. P. 2071. DOI: 10.3390/f14102071.

© Неверов Н. А., Тюкавина О. Н.,
Минеев А. Л., 2025

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

УДК 674.81

DOI: 10.53374/1993-0135-2025-1-97-106

Хвойные бореальной зоны. 2025. Т. XLIII, № 1. С. 97–106

ОЦЕНКА УРОВНЯ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ПРОДУКТАМИ ДЕСТРУКЦИИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА БЕЗ СВЯЗУЮЩЕГО НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ

А. В. Артёмов, В. Г. Бурындин, А. Е. Шкуро, Ю. Л. Юрьев

Уральский государственный лесотехнический университет
Российская Федерация, 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
E-mail: artemovav@m.usfeu.ru

Аннотация. В данной работе выполнена оценка уровня химического загрязнения почв как индикатора неблагоприятного воздействия на окружающую природную среду продуктами деструкции композиционного материала (пластика) без применения связующих веществ (ПБС) на основе древесного сырья. В качестве невосребованного вторичного растительного сырья были рассмотрены древесные отходы в виде сосновых и березовых опилок. Для используемого сырья на основании химического анализа было установлено наличие в нем тяжелых металлов в незначительных значениях, наличие которого обусловлено влиянием внешних условий окружающей среды. Результаты оценки биоразлагаемости изучаемых ПБС по маркерным морфологическим признакам показали, что образцы на основе сосновых опилок можно отнести к полностью биоразлагаемому материалу, а на основе березовых опилок – к материалу с умеренной (частичной) степени биоразлагаемости. По результатам экспозиции за 84 сут в почво-грунте образцов ПБС, наблюдается миграция тяжелых металлов и мышьяка из деструктируемого биоразлагаемого материала в почвенный субстрат. Превышений ПДК (ОДК) по содержаниям элементов-загрязнителей I класса (свинец, кадмий, цинк, ртуть, мышьяк) и II класса опасности (медь, никель) в почво-грунте после испытаний на биоразлагаемость не зафиксировано. По суммарному показателю загрязнения исследуемый почво-грунт относится к категории загрязнения «допустимая». Выполненные исследования показали, что окончательный выбор древесного сырья с целью получения композиционных материалов, должен определяться уровнем загрязнения самого исходного растительного сырья, используемого для получения композитов, а также уровнем возможного существующего химического загрязнения почв района предполагаемого к использованию изделий на их основе.

Ключевые слова: пластик, древесные опилки, тяжелые металлы, почва, биоразложение.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 1, P. 97–106

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF CHEMICAL CONTAMINATION OF SOIL BY DEGRADATION PRODUCTS OF A COMPOSITE MATERIAL WITHOUT RESINS BASED ON WOOD RAW MATERIALS

A. V. Artyomov, V. G. Buryndin, A. E. Shkuro, Yu. L. Yuryev

Ural State Forest Engineering University
37, Siberian tract, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation
E-mail: artemovav@m.usfeu.ru

Abstract. In this work, the assessment of the level of chemical pollution of soils as an indicator of the adverse impact on the environment by products of destruction of composite material (plastic) without resins (PWR) based on wood raw materials is carried out. Wood waste in the form of pine and birch sawdust was considered as unclaimed secondary plant raw materials. For the raw materials used, based on chemical analysis, the presence of heavy metals in it was found to be insignificant, the presence of which is due to the influence of external environmental conditions. The results of the assessment of the biodegradability of the studied PWR by marker morphological features showed that samples based on pine sawdust can be attributed to a fully biodegradable material, and based on birch sawdust – to a material with a moderate (partial) degree of biodegradability. According to the results of the exposure for 84 days in the soil of the PWR samples, migration of heavy metals and arsenic from the degradable biodegradable material into the soil substrate is observed. There were no exceedances of the maximum permissible concentration (MPC) for the contents of Class I pollutant elements (lead, cadmium, zinc, mercury, arsenic) and class II hazard (copper, nickel) in the soil after biodegradability tests. According to the total pollution indicator, the studied soil belongs to the category

of "permissible" pollution. The performed studies have shown that the final choice of wood raw materials for the purpose of obtaining composite materials should be determined by the level of contamination of the raw plant raw materials used to produce composites, as well as the level of possible existing chemical contamination of the soils of the area intended for the use of products based on them.

Keywords: *plastics, sawdust, heavy metals, soil, biodegradation.*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в нашей стране большая часть неэксплуатированного растительного вторичного сырья в виде древесных опилок, порубочной биомассы, шелухи и лузги культурных растений и проч. подвергаются сжиганию либо на специализированных установках, либо в несанкционированном порядке [1–3].

На сегодня реализация деятельности по термическому обезвреживанию отходов регулируется информационно-техническим справочником по наилучшим доступным технологиям ИТС 9-2020 «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)». Стоит также отметить, что рассматриваемый справочник ИТС 9-2020 рекомендует подвергать сжиганию отходы только при отсутствии возможности других методов утилизации.

Анализ литературных данных показывает о потенциале применения лигноцеллюлозосодержащего вторичного сырья с получением материалов и продукции с широким кругом потребительской номенклатуры [4–6].

Интерес представляет получение композиционных материалов и изделий на их основе из лигноцеллюлозосодержащего сырья без применения связующих веществ [7–9]. Данные материалы получают из растительного сырья природного происхождения без применения синтетических связующих компонентов, таким образом, как само производство, так и сами изделия, являются экологически безопасными. При этом данные композиты относятся к разрушаемым материалам в условиях окружающей природной среды и обладающих биоразлагаемым потенциалом [10; 11].

С целью всестороннего анализа воздействия данных материалов на элементы окружающей среды выполнена оценка воздействия продуктов разрушения данных материалов на атмосферный воздух (по эмиссии выделения формальдегида), на поверхностные водные объекты и почвенно-растительный покров (по изменению показателя pH) в лабораторных условиях [12; 13].

В свою очередь, выполненные работы другими исследователями [14; 15] по использованию растительных остатков с целью получения различных материалов, показали наличие химической загрязнённости исходного растительного сырья. Химическая загрязнённость растительного сырья обусловлена его способностью к адсорбции и накоплению тяжёлых металлов [16].

Учитывая высокую степень урбанизации и загрязнённости окружающей среды, применение изделий на основе растительного сырья в качестве биоразлагаемых материалов, требует проведения соответствующей оценки потенциальной степени химического загрязнения грунтов продуктами разрушения самих материалов.

Целью данной работы заключалось в определении уровня химического загрязнения почво-грунта продуктами разрушения биоразлагаемого композиционного материала без связующего на основе древесного сырья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве исходного сырья были рассмотрены опилки древесины сосны и берёзы, так как основным «традиционным сырьём» для получения ПДС являются остатки древесины (опилки, стружка, щепа и проч.). В качестве древесного пресс-сырья использовались опилки, полученные из стволовой части деревьев, произрастающих в лесопарковой зоне г. Екатеринбурга. Опилки получены механическим путем, при деревообработке самой древесины. Дополнительно они были измельчены в механической мельнице. Присутствие коры и луба в древесном пресс-сырье исключалось.

С целью установления химического состава исходного сырья, было определено содержание целлюлозы, лигнина, экстрактивных и минеральных веществ (зольность). Определение лигнина осуществлялось согласно ГОСТ 11960–79 «Полуфабрикаты волокнистые и сырьё из однолетних растений для целлюлозно-бумажного производства. Метод определения лигнина»; целлюлозы – согласно методу «Кюршнера – Хоффера»; экстрактивных веществ – методом ТАРПИТ-5-59, минеральных веществ – по ГОСТ Р 56881–2016 «Биомасса. Определение зольности стандартным методом».

Получение образцов в виде дисков из исследуемого пресс-сырья осуществлялось в закрытой пресс-форме путем горячего компрессионного прессования. Использовалась металлическая разборная пресс-форма (диаметр 90 мм) без обогрева для прессования стандартных изделий из масс древесных прессовочных (ГОСТ 11368–89 «Массы древесные прессовочные. Технические условия»), разработанная по индивидуальному проекту.

Для определения физико-механических свойств и оценки биоразлагаемости получаемого материала, были получены образцы в виде дисков диаметром 90 мм и толщиной 2 мм. Образцы ПДС были получены из сырья с влажностью 12 % и фракционным составом 1,2÷0,7 мм.

Условия прессования образцов ПДС: давление прессования 40 МПа, температура прессования – 180 °С, продолжительность прессования – 10 мин, температура охлаждения под давлением – 20÷40 °С, продолжительность охлаждения под давлением – 10 мин., продолжительность кондиционирования в эксикаторе – 24 ч. Условия получения образцов соответствовали работе [17].

Испытание физико-механических свойств образцов-дисков осуществлялось по следующим методикам исследований: плотность и прочность при изгибе – согласно ГОСТ 4648–2014 «Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб»), твердость по вдавливанию шарика – ГОСТ 4670–91 «Пластмассы. Определение твердости. Метод вдавливания шарика», число упругости – по методике, изложенной в работе [18], модуль упругости при изгибе – по прогибу образца-диска согласно [19], водопоглощение по объему за 24 часа и разбухание по толщине за 24 часа – ГОСТ 4650–2014 «Пластмассы. Методы определения водопоглощения».

Испытания ПБС на деструкцию по отношению к почве осуществлялось путем экспозиции в почво-грунте (компост ТУ 0392-001-59264059-03) при комнатной температуре (20 ± 2 °C) и средней влажности почво-грунта 60 % в течении 84 сут (ГОСТ Р 57226-2016 (ИСО 16929:2013) «Пластмассы. Определение степени разложения в установленных условиях компостирования в процессе пробных испытаний»). Оценка биоразлагаемости была выполнена с применением унифицированного программного комплекса [20].

Оценка степени деградации почвы продуктами деструкции рассматриваемых материалов осуществлялась по уровню химического загрязнения почв тяжелыми металлами согласно СанПиН 1.2.3684-21. Перечень стандартный химических показателей согласно СанПиН 2.1.3684-21 включает определение содержания металлов: свинец, кадмий, цинк, медь, никель, ртуть, так же мышьяка, определение pH и суммарного показателя загрязнения.

Оценка уровня химического загрязнения почв осуществлялось согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»:

– по оценке степени химического загрязнения почвы при загрязнении почвы веществами неорганической природы с учетом класса их опасности, ПДК и максимального значения допустимого уровня содержания

элемента ($K_{\max}$) по одному из четырех показателей вредности (табл. 1);

– по коэффициенту концентрации химического вещества (K_c) и суммарному показателю химического загрязнения (Z_c) (табл. 2).

Коэффициент концентрации химического вещества K_c определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве (C_i) в мг/кг почвы к фоновому (C_{fi}):

$$K_c = C_i / C_{fi}.$$

Суммарный показатель химического загрязнения Z_c характеризует степень химического загрязнения почв и грунтов вредными веществами различных классов опасности и определяется как сумма коэффициентов концентрации отдельных компонентов загрязнения по формуле

$$Z_c = K_{c1} + \dots + K_{ci} + \dots + K_{cn} - (n - 1),$$

где n – число определяемых компонентов; K_{ci} – коэффициент концентрации i -го загрязняющего компонента, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновым значением.

Для критериев качества почвы приняты ПДК (ОДК) для почв населенных мест и сельскохозяйственных угодий согласно СанПиН 1.2.3685-21 (для меди, кадмия, свинца, мышьяка, никеля, цинка ПДК приняты для почв близких к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые) при pH KCl >5,5).

За фоновый уровень содержания химических элементов в почво-грунте, приняты значения содержания валовых форм тяжелых металлов и мышьяка по результатам анализа исходного почвенного субстрата.

Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка (валовое содержание) осуществлялось: цинк, медь, кадмий, свинец, никель по методике РД 52.18.685–2006 «Методические указания. Определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложений. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии» и мышьяк согласно ПНД Ф 16.1:2.2:3.17–98 «Количественный химический анализ почв».

Таблица 1
Оценка степени загрязнения почв неорганическими веществами

Содержание в почве (мг/кг)	Категория загрязнения почвы		
Класс опасности вещества	1 класс	2 класс	3 класс
> $K_{\max}$	Очень сильная	Очень сильная	Сильная
От ПДК до $K_{\max}$	Очень сильная	Сильная	Средняя
От 2 фоновых значений до ПДК	Слабая	Слабая	Слабая

Таблица 2
Степени химического загрязнения почвы неорганическими веществами

Категории загрязнения	Суммарный показатель загрязнения (Z_c)	Содержание в почве (мг/кг)		
		класс опасности		
		I	II	III
Чистая	–	от фона до ПДК	от фона до ПДК	от фона до ПДК
Допустимая	< 16	от фона до ПДК	от фона до ПДК	от фона до ПДК
Умеренно опасная	16–32			от ПДК до $K_{\max}$
Опасная	32–128	от ПДК до $K_{\max}$	от ПДК до $K_{\max}$	> $K_{\max}$
Чрезвычайно опасная	>128	> $K_{\max}$	> $K_{\max}$	

Методика выполнения измерений массовой доли (валового содержания) мышьяка и сурьмы в твердых сыпучих материалах атомно-абсорбционным методом с предварительной генерацией гидридов» на атомно-абсорбционном спектрометре «КВАНТ-2»; ртуть согласно ПНД Ф 14.1:2:3.172-2000 «Методика выполнения измерений массовой доли общей ртути в пробах почв и грунтов на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РП-91С» на приборе «Анализатор ртути РА-915+».

Определение рН водной вытяжки пресс-сырья и почво-грунта осуществлялось по ГОСТ 26483–85 «Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО» на приборе «рН-метр 150 МИ».

Результаты всех выполненных испытаний были получены непосредственно в параллельных опытах

(не менее 5 повторений) и были проверены на грубые промахи (по Q-критерию) [21].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Результаты исследований химико-физических характеристик исходного пресс-сырья в виде древесных опилок представлены в табл. 3.

Физико-механические свойства, полученных образцов ПБС на основе древесного пресс-сырья, и результаты испытаний на биоразлагаемость представлены в табл. 4.

Результаты микрофотографирования исходного пресс-сырья, готовых образцов и образцов после испытания на биоразлагаемость представлены на рис. 1.

Эколого-геохимическое опробование почв при испытаниях ПБС на основе древесного сырья представлено в табл. 5.

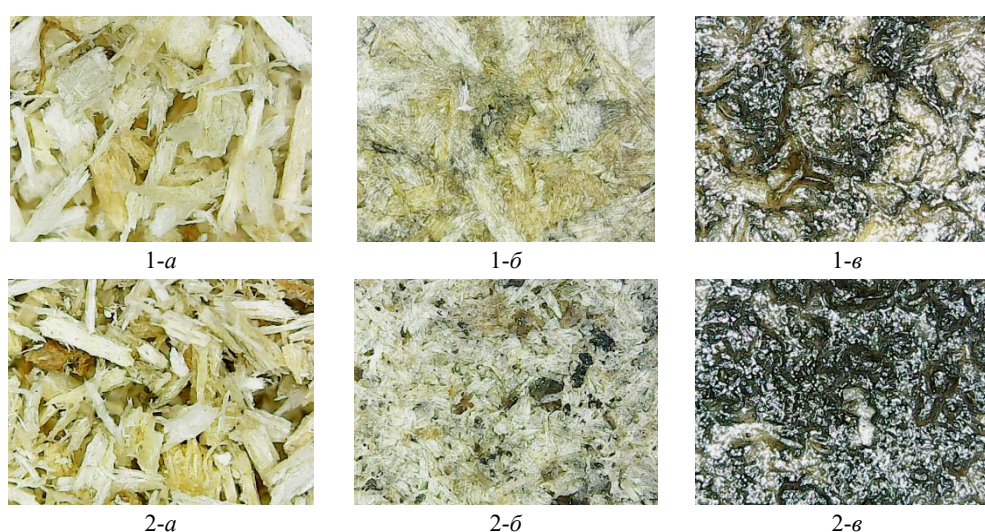


Рис. 1. Микрофотографии:

1 – сосна; 2 – береза; а – исходное пресс-сырье; б – лицевая поверхность исходных образцов ПБС; в – лицевая поверхность образцов ПБС после испытаний на биоразлагаемость

Таблица 3
Характеристика исходного пресс-сырья

№ п/п	Характеристика	Показатель	
		опилки	опилки
1	Вид сырья		
2	Порода древесины	сосна обыкновенная	береза повислая
3	Фракция, мм	0,7÷1,2	0,7÷1,2
4	Влажность, %	12	12
5	Содержание лигнина, %	31,4	20,8
6	Содержание целлюлозы, %	44,6	43,2
7	Содержание экстрактивных веществ, %	5,1	4,8
8	Зольность, %	0,98	0,56
9	рН солевой вытяжки ($\pm\Delta$)	3,9 $\pm$ 0,1	4,3 $\pm$ 0,1
10	Содержание свинца ($\pm\Delta$), мг/кг	0,46 $\pm$ 0,14	0,22 $\pm$ 0,07
11	Содержание кадмия ($\pm\Delta$), мг/кг	0,62 $\pm$ 0,19	0,65 $\pm$ 0,20
12	Содержание цинка ($\pm\Delta$), мг/кг	25,0 $\pm$ 8,0	7,6 $\pm$ 2,3
13	Содержание меди ($\pm\Delta$), мг/кг	< 5	< 5
14	Содержание ртути ($\pm\Delta$), мг/кг	< 0,005	< 0,005
15	Содержание никеля ($\pm\Delta$), мг/кг	< 10	< 10
16	Содержание мышьяка ($\pm\Delta$), мг/кг	< 0,20	< 0,20

Примечание. Знак «<» – результат исследования меньше нижнего предела обнаружения используемой методики или чувствительности прибора.

Таблица 4

Физико-механические свойства ПБС основе древесных наполнителей и результаты испытаний на биоразлагаемость

Показатель	Исходное пресс-сырьё	
	сосновое	березовое
Плотность, кг/м ³	1018	957
Прочность при изгибе, МПа	12,0	10,5
Твердость (по вдавливанию шарика), МПа	17,5	17,3
Модуль упругости при изгибе (по прогибу образца), МПа	4076	2654
Число упругости, %	71,3	34,6
Водопоглощение по объёму за 24 часа, %	49	56
Разбухание по толщине за 24 часа, %	29,8	23,5
Изменение по массе при испытаниях биоразлагаемость, %	-25,0	-18,8
Изменения по объёму при испытаниях биоразлагаемость, %	-2,1	+0,5

Таблица 5

Результаты эколого-геохимических исследований и определения категории химического загрязнения почво-грунтов

Показатель	рН	Валовое содержание ($\pm\Delta$), мг/кг						
		1 класс					2 класс	
		Pb	Cd	Zn	As	Hg	Cu	Ni
Почво-грунт (исходный)	5,8 $\pm 0,1$	< 20	< 0,1	47 ± 15	5,3 $\pm 3,0$	0,033 $\pm 0,015$	23 ± 7	70 ± 24
Почво-грунт после испытаний на биоразлагаемость (сосна)	6,8 $\pm 0,1$	13 ± 4	0,76 ± 23	72 ± 22	0,76 $\pm 0,46$	0,090 $\pm 0,041$	21 ± 6	73 ± 25
Почво-грунт после испытаний на биоразлагаемость (береза)	6,8 $\pm 0,1$	12 ± 4	0,61 ± 18	67 ± 20	0,73 $\pm 0,44$	0,050 $\pm 0,023$	20 ± 6	72 ± 25
Величина ПДК/ОДК с учетом фона (кларка), мг/кг	5,5–8,2	130	2,0	220	10	2,1	132	80
Максимальное значение допустимого уровня содержания элемента ($K_{\max}$)*	---	< 1 ПДК						
	---	< 1 ПДК						
Коэффициент концентрации химического вещества K_{ci} *	---	0,10	0,38	0,33	0,08	0,04	0,16	0,91
	---	0,09	0,31	0,30	0,07	0,02	0,15	0,90
Суммарный показатель химического загрязнения Z_c *		2,00						
		1,85						

* *Примечание.* В верхней части двоянных строк представлены данные по ПБС на основе сосны, в нижней – ПБС на основе березы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам выполненного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Образование ПБС происходит за счет наличия лигнина в исходном пресс-сырье и более его высокое содержание обеспечивает образования пластика с высокими физико-механическими свойствами. Ряд исследователей [22; 23] связывают такое явление с тем, что в результате пьезотермической обработки происходит преобразование лигнинного вещества в термореактивное связующее естественного происхождения (по аналогии с синтетической фенолформальдегидной смолой). Содержание лигнина в исходном сырье в виде сосновых опилок составляло в 1,5 раза больше по сравнению с сырьем в виде березовых опилок.

Содержание целлюлозы и экстрактивных веществ в изучаемом сырье находится на одном уровне (более повышенное содержание наблюдается у сосновых опилок). Целлюлоза в изучаемых материалах выступает как наполнитель, которая отвечает за прочностно-пластические показатели, такие как прочность и модуль упругости при изгибе. Экстрактивные вещества (в основном полисахариды) при гидротермической обработке или частичной гидролизации кислотами древесных частиц приводит к размягчению лигнина и увеличению его реакционной способности, и

чем кислее среда, тем более глубокая активация лигнина реализуется. Для исследуемого пресс-сырья наблюдается более низкий (более кислый) показатель рН водной вытяжки из сосновых опилок.

Таким образом, на основании морфологического состава можно прогнозировать более высокие свойства ПБС на основе сосновых опилок.

2. Полученные результаты испытаний на физико-механические свойства рассматриваемых ПБС, показывают более высокие показатели для образцов на основе опилок сосны. Это обусловлено исходным компонентным составом растительного сырья (рассмотрено выше).

Однако отмечается, высокое разбухание по толщине ПБС на основе сосновых опилок по сравнению с ПБС на основе березовых опилок. Данное обстоятельство можно объяснить, по нашему мнению, низкой плотностью полученного материала (см. табл. 2).

Анализируя данные [24] ранее выполненных исследований лигноуглеводных древесных пластиков (ЛУДП) (вид ПБС получаемых путем пьезотермической обработки древесного сырья между плоскопараллельными плитами пресса), полученных из сосновых опилок, можно говорить о том, что такая низкая плотность и низкие показатели водостойкости не характерны для данных материалов (рис. 2).

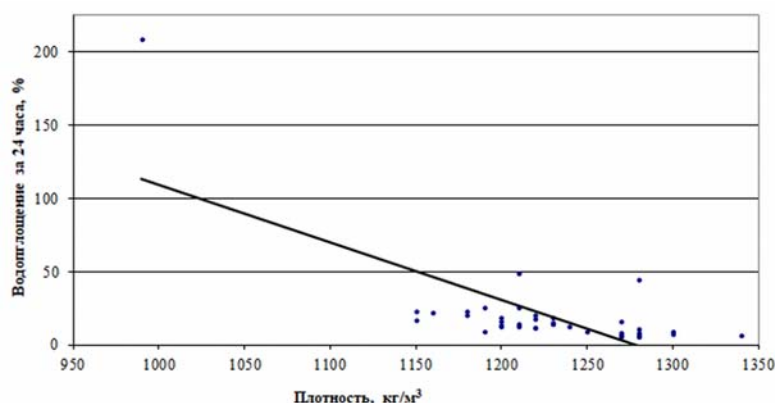


Рис. 2. Зависимость водопоглощения ЛУДП ($n = 39$) из опилок сосны от его плотности

Вероятнее всего, данное обстоятельство объясняется возможной структурой частиц, полученных при фракционировании исходного пресс-сырья (см. рис. 1). Получаемые древесные частицы пресс-сырья путем измельчения в промышленной мельнице обладали более игольчатой формой, что ограничивает полноценный контакт между собой при пьезотермической обработке.

В целом же, на основании полученных результатов физико-механических испытаний, можно говорить о том, что исследуемые образцы ПБС имеют требуемые показатели, характеризующие формирование материала пригодного для испытаний на биоразлагаемость [10].

3. Можно отметить содержание в исходном сырье таких тяжелых металлов как свинец, кадмий, цинк. Наличие содержания различных металлов (кадмий, свинец, медь, цинк, никель, железо, марганец) в органах и тканях отмечалось ранее в других работах [25]. Вероятнее это всего характеризуется степенью загрязнённости окружающей среды в районе произрастания растения [14; 26].

Принятый к испытаниям почво-грунт имел по результатам исследований содержание тяжёлых металлов (цинк, ртуть, медь, никель) и мышьяка. Содержание исследуемых загрязнителей не превышало содержание установленных нормативов, представляемых к содержанию химических веществ в почве, и их наличие обуславливается лишь техногенным загрязнением района производства почвенного субстрата, что характерно для урбанизированных территорий, но при этом отсутствует потенциальная опасность для здоровья человека и пищевой продукции [27].

4. Для всех испытуемых образцов за 84 сут экспозиции в почво-грунте наблюдается снижение массы образцов. Проведенная оценка визуального изменения их внешнего вида показала, что наблюдается гидролитическая деструкция растительного материала, за счет нахождения его в более влажной среде (почво-грунте) – это образование пористой (губчатой) структуры лицевой поверхности ПБС (см. рис. 1) [28].

Оценка степени биоразлагаемости ПБС по каждому изучаемому пресс-сырью выполнена по характерным морфологическим признакам [10; 20]. Графическое отображение результатов оценки степени биоразложения представлено на рис. 3.

По результатам оценки биоразлагаемости ПБС согласно принятым критериям установлено, что исследуемые образцы на основе сосновых опилок можно отнести к полностью биоразлагаемому материалу, а на основе березовых опилок – к умеренному (частичному) биоразлагаемому материалу.



Рис. 3. Маркерные морфологические признаки оценки биоразлагаемости ПБС на основе древесного пресс-сырья

5. По результатам экспозиции в почво-грунте образцов ПБС наблюдается миграция тяжелых металлов и мышьяка их деструктируемого материала в почвенный субстрат. Из литературных источников [29] известно, что наибольшая подвижность тяжелых металлов (свинец, цинк и кадмий) отмечена при комплексном загрязнении почв тяжелыми металлами. При избыточном увлажнении почв и развитии восстановительных процессов освободившиеся из состава (гидр)оксидов железа соединения меди и свинца удерживаются органическими веществами. Это объясняется тем, что процесс деструкции материалов на основе древесины первоначально протекает по гидролитическому механизму, что подтверждается показателем pH почвы, который соответствует нейтральной среде (в отличие от микро- и биологической деструкции при которой наблюдается снижение pH до кислой среды).

6. Превышений ПДК (ОДК) по содержаниям элементов-загрязнителей I класса (свинец, кадмий, цинк, ртуть, мышьяк) и II класса опасности (медь, никель)

в почво-грунте после испытаний на биоразлагаемость за 84 сут не зафиксировано.

По суммарному показателю загрязнения исследуемый почво-грунт (табл. 4) относится к категории загрязнения «допустимая» (содержание элементов-загрязнителей I и II классов от фона до ПДК, $Z_c = 2,00$ и $1,85$ для ПБС из сосновых и березовых опилок соответственно). Основной вклад в степень загрязнения почвы вносят такие элементы как никель, кадмий и цинк. Деструкция лигниноцеллюлозного комплекса ПБС, приводит к освобождению данных металлов с последующей их миграцией в почвенный субстрат. При этом значительная доля миграции металлов наблюдается у образцов из сосновых опилок, которые более подвержены деструкции в почвенном субстрате.

Согласно правилам вида использования почв в зависимости от степени их загрязнения согласно СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» допускается использование таких почв без ограничений и под любые культуры растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была выполнена оценка химического загрязнения почво-грунта продуктами деструкции композиционного материала без связующего на основе древесного сырья. По результатам которой, было установлено возможное неограниченное использование подверженных такому воздействию почв, в том числе под любые культуры растений. Это является одним из обоснований для получения исследуемых материалов и не ограничивает их использование для различных целей. Например, либо в качестве материалов, для которых предъявляются высокие требования по санитарно-гигиеническим показателям, либо в качестве материалов с биоразлагаемым потенциалом для лесного и сельского хозяйства.

Стоит отметить, что в настоящее время благодаря высокому техногенному воздействию на окружающую среду, наблюдается загрязнение, как потенциального растительного сырья, так и самого почвенного покрова. Данное обстоятельство может вносить вклад в негативную оценку химического загрязнения почвенного субстрата после экспозиции рассматриваемых биоразлагаемых материалов на основе ПБС при натурных обследованиях. С учетом существующей тенденции «металлизации» почв и растений [30], применение рассматриваемых материалов требует проведение первоначальной химико-экологической оценке на содержание неорганических загрязнителей, как в исходном древесном сырье, так и в получаемых материалах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Мазурин И. М., Понуровская В. В., Колотухин С. П. Экологический тупик от сжигания мусора и

возможные пути его преодоления // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2018. Т. 16, № 3-4. С. 7. DOI 10.24411/2227-9490-2018-12061.

2. Загоруйко М. Г., Павлов С. А., Башмаков И. А. Исследование аэродинамики при сжигании растительных отходов на изотермических моделях // Аграрный научный журнал. 2023. № 10. С. 168–173. DOI 10.28983/asj.y2023i10pp168-173.

3. Зырянов М. А., Медведев С. О., Мохирев А. П. Повышение ресурсного потенциала древесного сырья // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2024. № 4(400). С. 193–201. DOI 10.37482/0536-1036-2024-4-193-201.

4. Биоразлагаемые композиционные материалы на основе поликапролактона с наполнением соломой зерновых культур / Е. Н. Подденежный, Н. Е. Дробышевская, А. А. Бойко [и др.] // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. 2024. № 2(97). С. 27–33. DOI 10.62595/1819-5245-2024-2-27-33.

5. Composite Material Based on Polypropylene and Modified Natural Fillers / I. Fayzullin, A. Gorbachev, S. Volfson [et al.] // Polymers. 2024. Vol. 16, No. 12. P. 1703. DOI 10.3390/polym16121703.

6. Получение биокмпозитов с полимерной фазой пластифицированных ацетатов целлюлозы с различной степенью ацетилирования / А. Е. Шкуро, В. В. Глухих, К. А. Усова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 4(394). С. 155–168. DOI 10.37482/0536-1036-2023-4-155-168.

7. Просвирников Д. Б. Моделирование свойств древесно-композиционных материалов методом параметрической идентификации // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 4(48). С. 107–118. DOI 10.18324/2077-5415-2020-4-107-118.

8. Артемов А. В., Бурындин В. Г., Ершова А. С. Исследование влияния гидрофобизирующей и антисептической добавки в виде гидролизного лигнина на эксплуатационные свойства пластиков без добавления связующих на основе древесного пресс-сырья // Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. 42, № 2. С. 63–72. DOI 10.53374/1993-0135-2024-2-63-72.

9. Eskin V. D. Sheet materials without binders based on waste from the woodworking industry // Молодежь. Общество. Современная наука, техника и инновации. 2023. No. 22. P. 282–284.

10. Методика для оценки степени биоразлагаемости пластиков на основе лигноцеллюлозосодержащего сырья без добавления связующих веществ / А. В. Артемов, А. С. Ершова, А. Е. Шкуро, В. Г. Бурындин // Лесотехнический журнал. 2024. Т. 14, № 1(53). С. 134–150. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2024.1/8.

11. Артемова К. А. Биодеструкция растительных материалов и «биоразлагаемых» пластиков // Химия и химическая технология в XXI веке : материалы XXIII Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л. П. Кулёва и Н. М. Кижнера. В 2-х т. Томск, 16–19 мая 2022 года. Т. 2. Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2022. С. 310–312.

12. Исследование санитарно-гигиенических показателей биоразлагаемых материалов на основе дре-

весного сырья / А. В. Артемов, А. В. Савиновских, В. Г. Бурындин, А. С. Ершова // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2021. № 4. С. 75–83.

13. Оценка воздействия биоразлагаемых материалов на основе растительного недревесного сырья на элементы окружающей среды / А. В. Артёмов, А. С. Ершова, А. В. Савиновских, В. Г. Бурындин // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*. 2022. № 1(45). С. 5–20. DOI 10.15593/2409-5125/2022.1.01.

14. Вураско А. В., Первова И. Г., Шаповалова И. О. Содержание металлов в биомассе растений и в материалах на их основе // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2021. № 234. С. 250–266. DOI 10.21266/2079-4304.2021.234.250-266.

15. Анищенко Л. Н., Поцепай С. Н., Капошко Н. А. Ресурсные и эколого-химические показатели луговых лекарственных растений среднего Подесенья // *Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК : материалы XIX Международной научной конференции, Брянск, 14–18 марта 2022 года. Часть I. Брянск : Брянский государственный аграрный университет, 2022. С. 210–223.*

16. Pande A., Mun B.-G., Methela N. J., Rahim W., Lee D.-S., Lee G.-M., Hong J. K., Hussain A., Loake G. and Yun B.-W. Heavy metal toxicity in plants and the potential NO-releasing novel techniques as the impending mitigation alternatives. *Frontiers in Plant Science*. 2022. P. 13. DOI 10.3389/fpls.2022.1019647.

17. Артемов А. В., Савиновских А. В., Бурындин В. Г. Влияние термообработки на биостойкость древесного пластика без добавления связующего // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии*. 2022. № 4. С. 15–25. DOI 10.25686/2542-114X.2022.4.15.

18. Исследование упругих свойств композитов на основе ацетата целлюлозы и лигноцеллюлозных наполнителей / А. Е. Шкуро, В. В. Глухих, П. С. Захаров, Х. С. Абзальдинов // *Промышленное производство и использование эластомеров*. 2023. № 1. С. 32–36. DOI 10.24412/2071-8268-2023-1-32-36.

19. Артемов А. В., Савиновских А. В., Бурындин В. Г. Модуль упругости при изгибе как показатель физико-механических свойств древесных пластиков без добавления связующих // *Системы. Методы. Технологии*. 2021. № 1(49). С. 67–71. DOI 10.18324/2077-5415-2021-1-67-71.

20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024665813 Российская Федерация. Оценка степени биоразлагаемости пластиков на основе лигноцеллюлозосодержащего сырья без добавления связующих веществ: № 2024664524: заявл. 27.06.2024; опубл. 05.07.2024 / А. В. Артемов, А. С. Ершова, С. П. Паршин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный лесотехнический университет".

21. Математическое планирование экспериментов и анализ их результатов с применением компьютерных программ: учебное пособие / В. В. Глухих,

А. Е. Шкуро, А. В. Артемов [и др.] ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный лесотехнический университет», 2023. 104 с. ISBN 978-5-94984-864-7.

22. Сазанов Ю. Н., Грибанов А. В. Термохимия лигнина (Обзор) // *Журнал прикладной химии*. 2010. Т. 83, № 2. С. 177–197.

23. Cure kinetics of lignin-novolac resins studied by isoconversional methods / J. M. Pérez, M. Oliet, M. V. Alonso, F. Rodríguez // *Thermochimica Acta*. 2009. Vol. 487, No. 1-2. P. 39–42. DOI 10.1016/j.tca.2009.01.005.

24. Плитные материалы и изделия из древесины и других одресневевших остатков без добавления связующих / В. Н. Петри [и др.]. М. : Лесная промышленность, 1976. 360 с.

25. Кузнецова Т. Ю., Ветчинникова Л. В., Титов А. Ф. Аккумуляция тяжелых металлов в различных органах и тканях березы в зависимости от условий произрастания // *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2015. № 1. С. 86–94. DOI 10.17076/eco27.

26. Physiological, biochemical changes, and phytotoxicity remediation in agricultural plant species cultivated in soils contaminated with copper and zinc / P. A. A. Ferreira, T. Tiecher, F. K. Ricachenevsky [et al.] // *Plants Under Metal and Metalloid Stress: Responses, Tolerance and Remediation*, 2018. P. 29–76. DOI 10.1007/978-981-13-2242-6_2.

27. Оценка качества почвогрунтов и их компонентов по показателям содержания неорганических веществ / А. С. Чепрасова, М. А. Севостьянов, Н. Г. Новикова [и др.] // *Агрохимический вестник*. 2023. № 3. С. 70–74. DOI 10.24412/1029-2551-2023-3-015.

28. Микелиз древесины, его продукты и их использование. I. Экологические аспекты микелического разрушения древесины / Г. Н. Кононов, А. Н. Веревкин, Ю. В. Сердюкова, В. Д. Зайцев // *Лесной вестник. Forestry Bulletin*. 2020. Т. 24, № 2. С. 81–87. DOI 10.18698/2542-1468-2020-2-81-87.

29. Плеханова И. О., Золотарева О. А. Оценка и нормирование экологического состояния почв, загрязненных тяжелыми металлами // *Агрохимия*. 2021. № 7. С. 83–94.

30. Касимов Н. С., Власов Д. В. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах российских городов (по данным ежегодных докладов Росгидромета) // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2018. № 3. С. 14–22.

REFERENCES

1. Mazurin I. M., Ponurovskaya V. V., Kolotuhin S. P. Ekologicheskij tupik ot szhiganiya musora i vozmozhnye puti ego preodoleniya // *Elektronnoe nauchnoe izdanie Al'manah Prostranstvo i Vremya*. 2018. T. 16, № 3-4. S. 7. DOI 10.24411/2227-9490-2018-12061.

2. Zagorujko M. G., Pavlov S. A., Bashmakov I. A. Issledovanie aerodinamiki pri szhiganii rastitel'nyh

othodov na izotermicheskikh modelyakh // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2023. № 10. S. 168–173. DOI 10.28983/asj.y2023i10pp168-173.

3. Zyryanov M. A., Medvedev S. O., Mohirev A. P. Povyshenie resursnogo potentsiala drevesnogo syr'ya // Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal. 2024. № 4(400). S. 193–201. DOI 10.37482/0536-1036-2024-4-193-201.

4. Biorazlagaemye kompozicionnye materialy na osnove polikaprolaktona s napolneniem solomoy zernovykh kul'tur / E. N. Poddenezhnyj, N. E. Drobyshevskaya, A. A. Bojko [i dr.] // Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P. O. Suhogo. 2024. № 2(97). S. 27–33. DOI 10.62595/1819-5245-2024-2-27-33.

5. Composite Material Based on Polypropylene and Modified Natural Fillers / I. Fayzullin, A. Gorbachev, S. Volfson [et al.] // Polymers. 2024. Vol. 16, No. 12. P. 1703. DOI 10.3390/polym16121703.

6. Poluchenie biokompozitov s polimernoj fazoj plastificirovannykh acetatov cellyulozy s razlichnoj stepen'yu acetilirovaniya / A. E. Shkuro, V. V. Gluhih, K. A. Usova [i dr.] // Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal. 2023. № 4(394). S. 155–168. DOI 10.37482/0536-1036-2023-4-155-168.

7. Prosvirnikov D. B. Modelirovanie svoystv drevesno-kompozicionnykh materialov metodom parametricheskoy identifikacii // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2020. № 4(48). S. 107–118. DOI 10.18324/2077-5415-2020-4-107-118.

8. Artemov A. V., Buryndin V. G., Ershova A. S. Issledovanie vliyaniya gidrofobiziruyushchej i antisepticheskoj dobavki v vide gidroliznogo lignina na ekspluatatsionnye svoystva plastikov bez dobavleniya svyazuyushchih na osnove drevesnogo press-syr'ya // Hvojnye boreal'noj zony. 2024. T. 42, № 2. S. 63–72. DOI 10.53374/1993-0135-2024-2-63-72.

9. Eskin V. D. Sheet materials without binders based on waste from the woodworking industry / V. D. Eskin // Molodezh'. Obshchestvo. Sovremennaya nauka, tekhnika i innovacii. 2023. No. 22. P. 282–284.

10. Metodika dlya ocenki stepeni biorazlagaemosti plastikov na osnove lignocellyulozosoderzhashchego syr'ya bez dobavleniya svyazuyushchih veshchestv / A. V. Artemov, A. S. Ershova, A. E. Shkuro, V. G. Buryndin // Lesotekhnicheskij zhurnal. 2024. T. 14, № 1(53). S. 134–150. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2024.1/8.

11. Artemova K. A. Biodestrukciya rastitel'nykh materialov i «biorazlagaemykh» plastikov // Himiya i himicheskaya tekhnologiya v XXI veke: Materialy XXIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov i molodykh uchenykh imeni vydayushchihsya himikov L. P. Kulyova i N. M. Kizhnera. V 2-h tomah, Tomsk, 16–19 maya 2022 goda. Tom 2. Tomsk: Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politekhnicheskij universitet, 2022. S. 310–312.

12. Issledovanie sanitarno-gigienicheskikh pokazatelej biorazlagaemykh materialov na osnove drevesnogo syr'ya / A. V. Artemov, A. V. Savinovskih, V. G. Buryndin, A. S. Ershova // Derevoobrabatывayushchaya promyshlennost'. 2021. № 4. S. 75–83.

13. Ocenka vozdejstviya biorazlagaemykh materialov na osnove rastitel'nogo nedrevesnogo syr'ya na elementy okruzhayushchej sredy / A. V. Artyomov, A. S. Ershova, A. V. Savinovskih, V. G. Buryndin // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika. 2022. № 1(45). S. 5–20. DOI 10.15593/2409-5125/2022.1.01.

14. Vurasko A. V., Pervova I. G., Shapovalova I. O. Soderzhanie metallov v biomasse rastenij i v materialah na ih osnove // Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. 2021. № 234. S. 250–266. DOI 10.21266/2079-4304.2021.234.250-266.

15. Anishchenko L. N., S Pocepaj. N., Kaposshko N. A. Resursnye i ekologo-himicheskie pokazateli lugovykh lekarstvennykh rastenij srednego Podesen'ya // Agroekologicheskie aspekty ustojchivogo razvitiya APK: Materialy XIX mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Bryansk, 14–18 marta 2022 goda. Chast' I. Bryansk: Bryanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2022. S. 210–223.

16. Pande A., Mun B.-G., Methela N. J., Rahim W., Lee D.-S., Lee G.-M., Hong J. K., Hussain A., Loake G. and Yun B.-W. Heavy metal toxicity in plants and the potential NO-releasing novel techniques as the impending mitigation alternatives. *Frontiers in Plant Science*. 2022. R. 13. DOI 10.3389/fpls.2022.1019647.

17. Artemov A. V., Savinovskih A. V., Buryndin V. G. Vliyanie termoobrabotki na biostojkost' drevesnogo plastika bez dobavleniya svyazuyushchego // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstrukcii. Tekhnologii. 2022. № 4. S. 15–25. DOI 10.25686/2542-114X.2022.4.15.

18. Issledovanie uprugih svoystv kompozitov na osnove acetata cellyulozy i lignocellyuloznykh napolnitelej / A. E. Shkuro, V. V. Gluhih, P. S. Zaharov, H. S. Abzal'dinov // Promyshlennoe proizvodstvo i ispol'zovanie elastomerov. 2023. № 1. S. 32–36. DOI 10.24412/2071-8268-2023-1-32-36.

19. Artemov A. V., Savinovskih A. V., Buryndin V. G. Modul' uprugosti pri izgibe kak pokazatel' fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesnykh plastikov bez dobavleniya svyazuyushchih // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2021. № 1(49). S. 67–71. DOI 10.18324/2077-5415-2021-1-67-71.

20. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2024665813 Rossijskaya Federaciya. Ocenka stepeni biorazlagaemosti plastikov na osnove lignocellyulozosoderzhashchego syr'ya bez dobavleniya svyazuyushchih veshchestv: № 2024664524: zayavl. 27.06.2024: opubl. 05.07.2024 / A. V. Artemov, A. S. Ershova, S. P. Parshin [i dr.]; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Ural'skij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet».

21. Matematicheskoe planirovanie eksperimentov i analiz ih rezul'tatov s primeneniem komp'yuternykh programm: uchebnoe posobie / V. V. Gluhih, A. E. Shkuro, A. V. Artemov [i dr.]; Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossijskoj Federacii, Ural'skij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet. Ekaterinburg: federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezh-

denie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Ural'skij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet», 2023. 104 s. ISBN 978-5-94984-864-7.

22. Sazanov Yu. N., Gribanov A. V. Termohimiya lignina (Obzor) // Zhurnal prikladnoj himii. 2010. T. 83, № 2. S. 177–197.

23. Cure kinetics of lignin-novolac resins studied by isoconversional methods / J. M. Pérez, M. Oliet, M. V. Alonso, F. Rodríguez // Thermochimica Acta. 2009. Vol. 487, No. 1–2. P. 39–42. DOI 10.1016/j.tca.2009.01.005.

24. Plitnye materialy i izdeliya iz drevesiny i drugih odresnevshih ostatkov bez dobavleniya svyazuyushchih / V. N. Petri [i dr.]. M. : Lesnaya promyshlennost', 1976. 360 s.

25. Kuznecova T. Yu., Vetchinnikova L. V., Titov A. F. Akkumulyaciya tyazhelyh metallov v razlichnyh organah i tkanyah berezy v zavisimosti ot uslovij proizrastaniya // Trudy Karel'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2015. № 1. S. 86–94. DOI 10.17076/eco27.

26. Physiological, biochemical changes, and phytotoxicity remediation in agricultural plant species cultivated in soils contaminated with copper and zinc / P. A. A. Ferreira, T. Tiecher, F. K. Ricachenevsky [et al.] // Plants Under Metal and Metalloid Stress: Responses,

Tolerance and Remediation, 2018. P. 29–76. DOI 10.1007/978-981-13-2242-6_2.

27. Ocenka kachestva pochvogruntov i ih komponentov po pokazatelyam soderzhaniya neorganicheskikh veshchestv / A. S. Cheprasova, M. A. Sevost'yanov, N. G. Novikova [i dr.] // Agrohimiicheskij vestnik. 2023. № 3. S. 70–74. DOI 10.24412/1029-2551-2023-3-015.

28. Mikoliz drevesiny, ego produkty i ih ispol'zovanie. I. Ekologicheskie aspekty mikologicheskogo razrusheniya drevesiny / G. N. Kononov, A. N. Verevkin, Yu. V. Serdyukova, V. D. Zajcev // Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin. 2020. T. 24, № 2. S. 81–87. DOI 10.18698/2542-1468-2020-2-81-87.

29. Plekhanova I. O., Zolotareva O. A. Ocenka i normirovanie ekologicheskogo sostoyaniya pochv, zagryaznennyh tyazhelymi metallami // Agrohimiya. 2021. № 7. S. 83–94.

30. Kasimov N. S., Vlasov D. V. Tyazhelye metally i metalloidy v pochvah rossijskikh gorodov (po dannym ezhegodnyh dokladov Rosgidrometa) // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya. 2018. № 3. S. 14–22.

© Артёмов А. В., Бурындин В. Г.,
Шкуро А. Е., Юрьев Ю. Л., 2025

Поступила в редакцию 07.10.2024
Принята к печати 18.02.2025

**ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА РАЗМОЛА ВОЛОКНИСТОЙ МАССЫ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОТОВЫХ БУМАЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**Ю. Д. Алашкевич, Л. В. Юртаева, Е. В. Каплёв, Е. А. Слизикова,
С. А. Пожаркова, Р. А. Марченко**

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: 2052727@mail.ru

Аннотация. Требования к разным видам бумаги зависят от области ее применения. Для получения готовой продукции с необходимыми характеристиками важно учитывать свойства волокнистой массы. Размол сульфатной целлюлозы хвойных и лиственных пород древесины проводили на полупромышленных дисковых мельницах (условия размола: концентрация волокнистой массы – 1 и 12 %, степень помола варьировалась от 15...60 °ШР). Времени на размол волокнистой массы при концентрации 12 % до степени помола 60 °ШР потребовалось для БСЛЦ в 1,5 раза; БСХЦ в 2,5 раза, больше, чем при размолу массы низкой концентрации. Определены бумагообразующие свойства волокнистой массы: водоудерживающая способность у БСЛЦ увеличилась на 151,4 и 131,4 %; у БСХЦ на 138,5 и 115,4 %; длина волокна у БСЛЦ снизилась на 35,8 и 47,7 %; у БСХЦ на 28,6 и 37,7 %. Проанализирован характер изменения механических свойств готовых бумажных изделий в зависимости от степени помола и характера размола. Установлено, что с ростом степени помола волокнистой массы с 15 до 60 °ШР увеличиваются: сопротивление продавливанию образцов из БСЛЦ в $4,6 \pm 0,4$ раза, из БСХЦ в $7,5 \pm 0,5$ раза; разрывная длина у образцов из БСЛЦ $2,5 \pm 0,3$, из БСХЦ 2,7 раза. Выяснено, что сложность процесса размола массы высокой концентрации заключается в затрудненном перемещении этой массы в зоне размола.

Ключевые слова: целлюлоза, размол, фибриляция, ножевой способ, дисковая мельница, механические свойства.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 1, P. 107–114

**INFLUENCE OF THE NATURE OF FIBER MASS GRINDING ON THE QUALITY
CHARACTERISTICS OF FINISHED PAPER PRODUCTS**

**Yu. D. Alashkevich, L. V. Yurtayeva, E. V. Kaplyov, E. A. Slizikova,
S. A. Pozharova, R. A. Marchenko**

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: 2052727@mail.ru

Abstract. The requirements for different types of paper depend on the field of its application. To obtain finished products with the necessary characteristics, it is important to take into account the properties of the fibrous mass. The milling of sulfate cellulose of coniferous and deciduous wood species was carried out on semi-industrial disc mills (grinding conditions: the concentration of fibrous mass was 1 and 12 %, the degree of grinding varied from 15...60 °C). The time for grinding the fibrous mass at a concentration of 12 % to a grinding degree of 60 °C was required for BSLC by 1.5 times; BSHC by 2.5 times, more than for grinding a mass of low concentration. The paper-forming properties of the fibrous mass have been determined: the water retention capacity of BSLC increased by 151.4 and 131.4 %; at BSHC by 138.5 and 115.4 %; fiber length at BSLC decreased by 35.8 and 47.7 %; at BSHC by 28.6 and 37.7 %. The nature of changes in the mechanical properties of finished paper products depending on the degree of grinding and the nature of grinding is analyzed. It was found that with an increase in the degree of grinding of the fibrous mass from 15 to 60 °C, the following increase: the resistance to penetration of samples from BSLC by 4.6 ± 0.4 times, from BSHC by 7.5 ± 0.5 times; the breaking length of samples from BSLC by 2.5 ± 0.3 , from BSHC by 2.7 times. It was found out that the complexity of the process of grinding a mass of high concentration lies in the difficult movement of this mass in the grinding zone.

Keywords: cellulose, grinding, fibrillation, knife method, disc mill, mechanical properties.

ВВЕДЕНИЕ

Целлюлоза – относительно дешевое, доступное, возобновляемое сырье, используемое для производства бумаги и картона, вискозных волокон, порошковых целлюлозных и лакокрасочных материалов, кино- и фотоплёнки, биокмпозитов и взрывчатых веществ [1]. Для придания волокнам пластичности, увеличения их наружной и внутренней поверхности, а также числа свободных гидроксильных групп на их поверхности, целлюлозу подвергают размолу [2; 3]. Характер размола оказывает значительное влияние на основные характеристики большинства видов готовых изделий и зависит от:

- химического состава исходных волокнистых материалов, включая соотношение содержания α -, β -, γ -целлюлозы, гемицеллюлоз, лигнина;

- технологических факторов, влияющих на эффективность размола волокнистых материалов (продолжительности, удельной нагрузки, секундной режущей длины, концентрации волокнистой массы, вида размалывающей гарнитуры).

Традиционно для размола волокнистых материалов в целлюлозно-бумажной промышленности применяются дисковые мельницы высокой и низкой концентрации, а также конические мельницы [4]. Благодаря своим конструктивным особенностям, дисковые мельницы используются чаще, чем конические, так как обеспечивают лучшее развитие внешней удельной поверхности волокон, возможность проведения размола при высокой концентрации, долговечность и надёжность в работе, облегчённый ремонт и замену дисков, потребляют на 15–25 % меньше электроэнергии.

Как считают авторы [4; 5–8] в результате размола волокна модифицируются, расщепляются в продольном направлении с образованием лент из тонких волосообразных нитей. При этом увеличение:

- внешней фибрилляции связано в полном или частичном отделении от волокна фибрилл (образование мелких частиц) и ослабление его прочности;

- внутренней фибрилляции является результатом разрыва водородных связей между структурными элементами целлюлозных волокон (микро- и макро-волоконными) и молекулами воды, что приводит к увеличению набухающей способности волокон и, как следствие, росту бумагообразующих свойств целлюлозы и механических показателей бумажного листа. К тому же, с энергетической точки зрения, внутренняя фибрилляция происходит более эффективно при размоле массы низкой концентрации, чем при высокой. В результате заполнения крупных волокон мелкими частицами, пористость бумажного листа снижается на 25–40 %.

Исследователи [9; 10] в своих работах доказывают, что процесс размола зависит от характера циркуляционных явлений в рабочей зоне гарнитуры ножевых размалывающих машин. По их мнению, разработка волокон целлюлозы в дисковых мельницах происходит за счет:

1. Действия силы вязкого трения в волокнистой суспензии. При наращивании скоростей движения, начиная от состояния покоя, она проходит через не-

сколько стадий внутреннего структурообразования. В состоянии покоя волокнистая суспензия образует трехмерную структуру, сцепление между волокнами осуществляется, в основном, за счет механических сил трения. При малых скоростях движения переплетенные волокна образуют структурированный слой (стержень), который движется внутри потока. Во время дальнейшего увеличения скорости потока стержень полностью разрушается, и поток становится диспергированным

$$\overline{dF} = \mu \frac{dV}{dn} \cdot dS,$$

где μ – коэффициент вязкости; $\frac{dV}{dn}$ – градиент нормальной скорости у стенок канала.

При этом величина μ зависит от температуры волокнистой массы и ее концентрации.

2. Механического воздействия ножей гарнитуры (ротора и статора) на волокна. Силовое взаимодействие между ножами гарнитуры и волокнистой суспензией обусловлено появлением вихрей. Для создания и усиления энергии вихря необходимо остановить поступательное движение волокнистой суспензии, вызванное наличием преграды на ее пути. При этом замкнутый вихрь является носителем силы за счет своей энергетической насыщенности и относительной стабильности в неподвижной среде. Эти положения подтверждены рядом работ [4; 11–13]. Согласно их мнению при $5 \cdot 10^3 < Re_x < 5 \cdot 10^5$, длина зоны отрыва не зависит от скорости набегающего потока, а определяется в основном загромождением канала ножевой гарнитуры

$$I = \frac{h}{H},$$

где h и H – соответственно размер плохо обтекаемого тела и высота канала.

Анализ литературных источников показал, что совершенствование процесса размола и оборудования в первую очередь связано с необходимостью обеспечивать требуемые характеристики готовой бумажной продукции при ухудшении качества исходного волокнистого сырья и полуфабрикатов, а также постоянным стремлением к снижению чрезмерно большого расхода энергии на размол [14–16]. Актуальность выполненного авторами исследования заключается в исследовании влияния технологических и конструктивных параметров оборудования на эффективность размола волокнистой массы.

В связи с этим в Сибирском государственном университете имени академика М. Ф. Решетнева, в лаборатории кафедры машин и аппаратов промышленных технологий ведутся исследования в области размола волокнистой массы ножевым (на дисковых мельницах высокой и низкой концентрации) и безножевым (комбинированная установка типа «струя-преграда») способами [17; 18].

Цель работы – исследование влияния характера размола волокнистой массы на качественные характеристики готовых изделий.

В задачи исследования входило:

- размол волокнистой массы с использованием дисковых мельниц высокой и низкой концентрации;
- определение физико-механических свойств готовых отливок;
- определение бумагообразующих свойств волокнистой массы;
- сравнительный анализ физико-механических характеристик готовых отливок и бумагообразующих свойств волокнистой массы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследования – продукция ОАО «Группа «Илим» в г. Братске – беленая сульфатная листовая целлюлоза (БСЛЦ) и беленая сульфатная хвойная целлюлоза (БСХЦ).

Предмет исследования – ножевой способ размола волокнистой массы.

Для контроля процесса размола волокнистой массы и качества полученных бумажных отливок использовали следующие лабораторные методы:

- измерение степени помола по °ШР проводились в соответствии с ISO 5267–1 [19];
- среднюю длину волокна определяли на приборе для измерения показателя средней длины волокон бумажной массы СДВ-Т (Россия);
- водоудерживающую способность [20];
- отливки изготавливали в соответствии с ISO 5269–1 (2005) [21];
- определение физико-механических характеристик готовой продукции проводились в соответствии с ISO 5270 (2012) и ISO 1924–2 (2008) [22; 23].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Перед проведением эксперимента предварительно замоченные листы целлюлозы подвергались роспуску в гидроразбивателе. Размол волокнистой массы концентрациями 1 и 12 % осуществлялся в полупромышленных дисковых мельницах низкой и высокой концентрации (рис. 1, 2) с 15 °ШР до 60 °ШР. Схема ножевой размалывающей традиционной 8-секторной с прямолинейной формой ножей с углом 22,5° гарнитуры представлена на рис. 3.

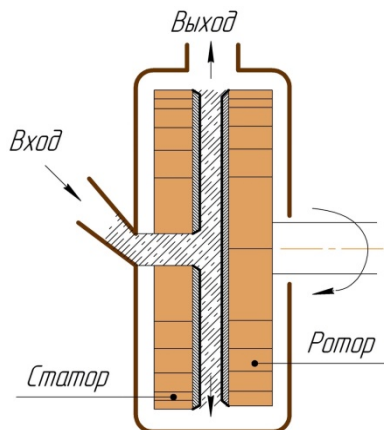


Рис. 1. Схема размола волокнистой массы в дисковой мельнице низкой концентрации

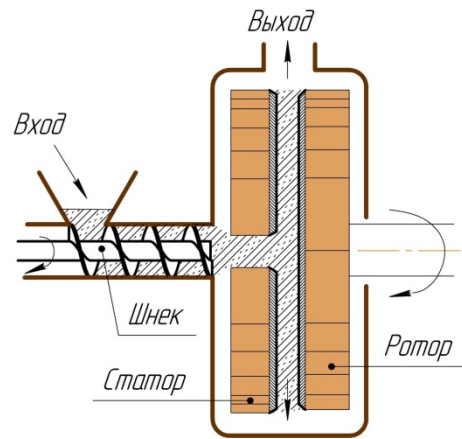


Рис. 2. Схема размола волокнистой массы в дисковой мельнице низкой концентрации

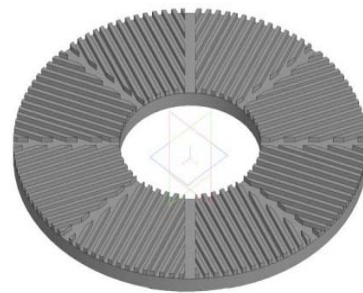


Рис. 3. Схема ножевой размалывающей гарнитуры

Конструктивные и технологические характеристики ножевой традиционной восьмисекторной гарнитуры с прямолинейной формой ножей и углом 22,5°:

- наружный / внутренний диаметр, мм – 300/120;
- толщина/высота ножей/ширина канавки, мм – 4/4/4;
- секундная режущая длина, м/с – 23074;
- площадь контакта ножей ротора и статора, м² – 0,0198;
- отношение площади поверхности ножей к общей площади поверхности гарнитуры, % – 45.

Частота вращения ротора – 2000 об/мин, межножевой зазор – 0,1 мм и 0,5 мм были выбраны как наиболее эффективные с точки зрения продолжительности размола и степени разработки волокна, на основании ранее проведенных на кафедре МАПТ исследований [17; 18].

Ожидается, что при прочих равных условиях, при размолке волокнистой суспензии на дисковой мельнице высокой концентрации зона шнековой подачи будет способствовать снижению усилий, действующих на волокно по касательной, т. е. в ней будет преобладать фибриллирование за счет действия силы вязкого трения в волокнистой суспензии. В то время как при использовании только прямолинейной гарнитуры на дисковой мельнице низкой концентрации будут достигнуты оптимальные соотношения как рубящего, так и фибриллирующего эффектов.

Отливки массой 75 г/м², изготавливались на листоотливном аппарате «PL6-C». Перед определением механических характеристик они подвергались кондиционированию, при температуре (23±1) °С и относительной влажности воздуха (50±2) %. Каждая ха-

рактеристика составляла среднее арифметическое 5 измерений с относительной погрешностью $2,5 \pm 2\%$. Вододерживающую способность определяли на аппарате марки Heinz Janerzki KG. T23. Разрывную длину измеряли при помощи машины РМБ-30-2М, сопротивление продавливанию на приборе фирмы ТМІ – ПГБ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты экспериментальных исследований влияния характера размола волокнистой массы на качественные характеристики готовых изделий приведены на рис. 4–6. Как видно из рис. 4 для размола волокнистой массы на дисковой мельнице высокой концентрации времени потребовалось гораздо больше, чем при размоле в дисковой мельнице низкой концентрации. Например, для размола до степени помола 60 °ШР БСХЦ в 2,5 раза, для БСЛЦ в 1,5 раза.

Начальная разработка волокна БСЛЦ проходила интенсивнее, чем у БСХЦ, не зависимо от концентрации волокнистой массы. Однако, через 30 минут размола на дисковой мельнице низкой концентрации и 140 минут размола на дисковой мельнице высокой концентрации рост степени помола в промежутке от 30 до 60 °ШР интенсивнее происходит у хвойной целлюлозы, что объясняется различием в строении волокон хвойной и лиственной древесины.

Волокнистая массы после размола должна обладать определенными функциональными свойствами, которые в дальнейшем сказываются на механической прочности готовых бумажных изделий. На рис. 5 представлены графики зависимости длины волокна и вододерживающей способности волокнистой массы от степени помола волокнистой массы.

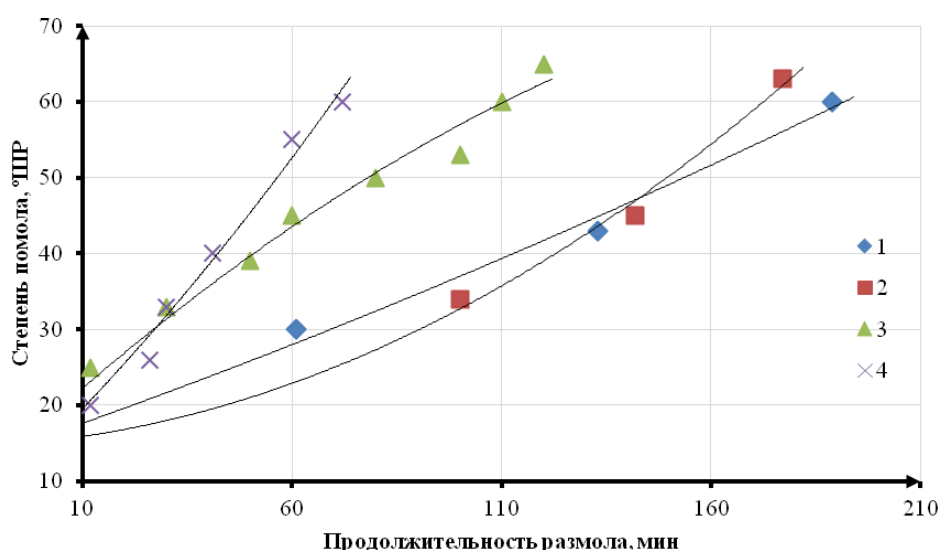


Рис. 4. Зависимость степени помола волокнистой массы от продолжительности размола:
1 – БСЛЦ высокой концентрации; 2 – БСХЦ высокой концентрации; 3 – БСЛЦ низкой концентрации;
4 – БСХЦ низкой концентрации

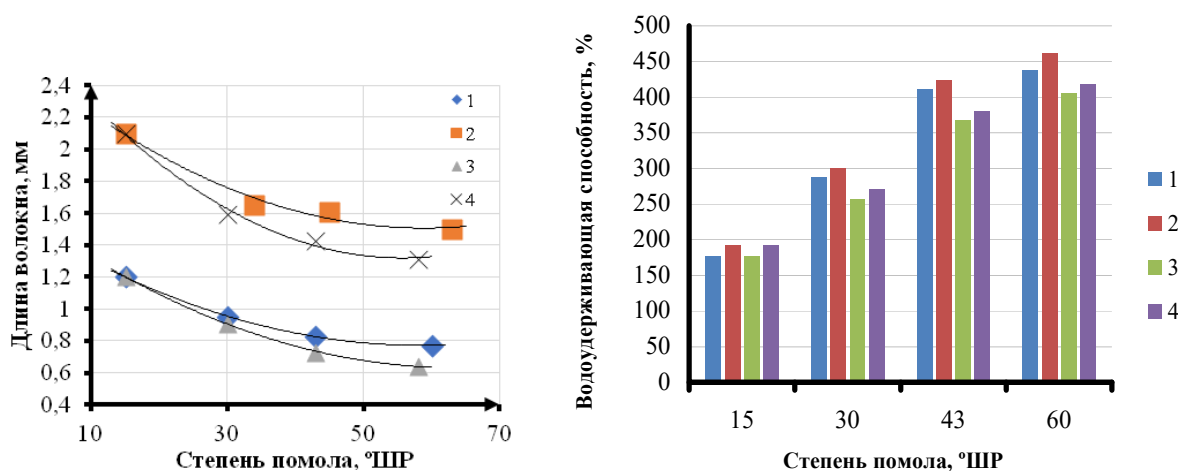


Рис. 5. Зависимость длины волокна и вододерживающей способности волокнистой массы от степени помола волокнистой массы:
1 – БСЛЦ высокой концентрации; 2 – БСХЦ высокой концентрации; 3 – БСЛЦ низкой концентрации;
4 – БСХЦ низкой концентрации

Представленные экспериментальные данные бумагообразующих свойств волокнистой массы изменились следующим образом:

- качественные характеристики изменения длины волокна у всех образцов имеют одинаковый характер, тогда как количественные значения отличаются. При этом, при размоле на дисковой мельнице высокой концентрации длина волокна снижается менее интенсивно, чем при размоле на мельнице низкой концентрации. Так, у БСЛЦ после размола на дисковой мельнице высокой концентрации показатели изменились на 35,8 %, дисковой мельнице низкой концентрации на 47,7 %; для БСХЦ соответственно на 28,6 и 37,7 %. Менее интенсивное снижение длины волокна после размола на дисковой мельнице высокой концентрации объясняется тем, что при разработке волокнистой массы при достаточно большом зазоре между ножами размалывающей гарнитуры ключевую роль играет межволоконное трение. Разработка волокна идет больше в продольном (фибриллирование) направлении чем в поперечном (рубка) [24];

- с ростом степени помола не зависимо от вида сырья и конструкции дисковой мельницы, водоудерживающая способность увеличивается. При этом количественные значения данного показателя после размола на дисковой мельнице высокой концентрации выше на 10 ± 1 %, чем после размола на дисковой мельнице низкой концентрации. Это обусловлено тем, что волокна в зоне шнековой подачи во время размола находятся в тесном контакте друг с другом, подвергаются многократным скручивающим и изгибающим воздействиям. В результате осуществляется более интенсивное их внутреннее фибриллирование без значительного укорочения.

В процессе внешнего фибриллирования происходит отделение фибрилл от волокна, увеличивается наружная поверхность и количество свободных гидроксильных групп на его поверхности. Внутреннее фибриллирование, вызывает необратимые перегруппировки структурных элементов внутри набухшей вторичной стенки волокна, не снижая его прочности. Таким образом, размол волокнистой массы на дисковой мельнице высокой концентрации позволяет добиться незначительного укорочения волокон при вы-

соких значениях показателя водоудерживающей способности.

Авторами [25–27] установлено, что увеличение показателя водоудерживающей способности волокнистой массы увеличивает степень набухания и гидратацию волокон, что, в свою очередь, повышает способность волокон к образованию межволоконных сил связи и получению более прочной бумаги.

Для сравнения особенностей ножевого размола низкой и высокой концентрации на рис. 6 приведены результаты исследований изменения показателей сопротивлению продавливания и разрывной длины в зависимости от степени помола волокнистой массы.

Из рисунка видно, что не зависимо от вида сырья и размалывающего оборудования с ростом степени помола волокнистой массы наблюдается увеличение механических показателей:

- сопротивления продавливанию. Данный показатель качества бумаги указывает на максимальную силу, с которой готовая бумажная продукция может противостоять продавливанию без деформации или повреждения. И особенно значим при выборе волокнистых материалов для производства различных видов упаковочных изделий. После размола с 15 °ШР до 60 °ШР на дисковой мельнице низкой концентрации значениям этого показателя увеличились для БСЛЦ в 4,2 раза, БСХЦ в 7 раз. После размола на дисковой мельнице высокой концентрации соответственно 5,2 раза и 8 раз;

- разрывной длины, которая показывает, насколько прочной является бумага. Прежде всего этот параметр важен для бумаги, которая подвергается натяжению в процессе печати на высокоскоростных машинах. Количественные значения разрывной длины готовых бумажных изделий, полученных после размола на дисковой мельнице низкой концентрации выше, чем при размоле на дисковой мельнице высокой концентрации у БСЛЦ на 25 %, БСХЦ на 7 %. На наш взгляд это объясняется тем, что в процессе размола массы высокой концентрации, затруднялась ее транспортировка из зоны размола вследствие недостаточного силового воздействия на волокнистый полуфабрикат со стороны винтовой подачи (шнека), в результате снизилась прочность волокон целлюлозы.

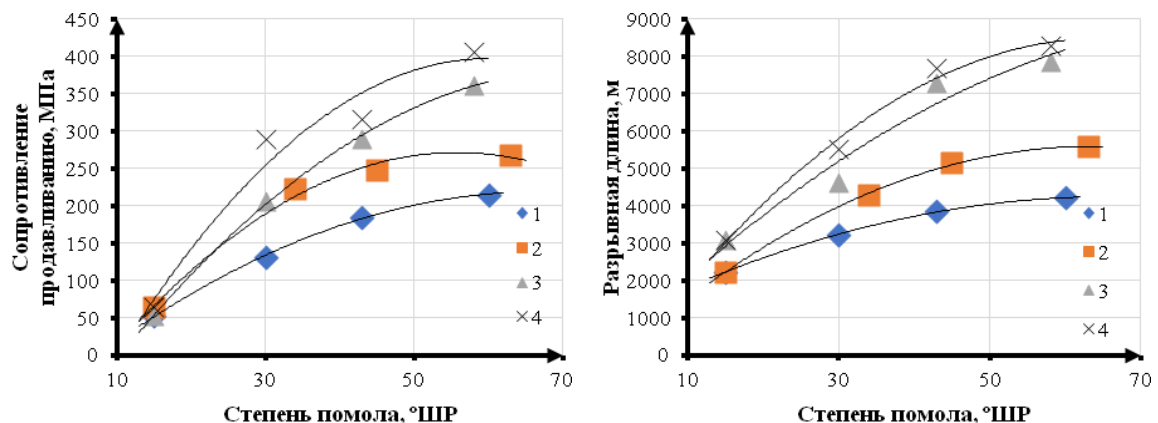


Рис. 6. Зависимость сопротивлению продавливанию и разрывной длины от степени помола волокнистой массы: 1 – БСЛЦ высокой концентрации; 2 – БСЛЦ низкой концентрации; 3 – БСХЦ высокой концентрации; 4 – БСХЦ низкой концентрации

В дальнейших исследованиях предстоит изучить влияние характера предгидролизного размола волокнистой массы на качественные характеристики порошковых целлюлозных материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение качественных показателей волокнистой массы, размолотой ножевым способом с использованием дисковых мельниц разной концентрации, показало, что:

- преимущественная фибриляция как хвойной, так и лиственной целлюлозы достигается в результате размолотости с использованием дисковой мельницы высокой концентрации;
- размол на мельнице высокой концентрации обеспечивает более высокие показатели длины волокна и водоудерживающей способности за счет меньшего удельного давления между ножами ротора и статора;
- для достижения требуемых характеристик готовых бумажных изделий необходимо учитывать конструктивные особенности оборудования для размолотости волокнистой массы;

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Юртаева Л. В., Алашкевич Ю. Д. Способ получения микрокристаллической целлюлозы на основе биоповрежденной древесины // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. 40, № 2. С. 158–163. DOI 10.53374/1993-0135-2022-6-158-163.
2. Investigation of the possibility of obtaining powdered cellulose using a non-knife method of grinding fibrous semi-finished products / E. V. Kaplyov, L. V. Yurtaeva, R. A. Marchenko, D. Yu. Vasilyeva, Yu. D. Alashkevich // Journal of Physics: Conference Series, Krasnoyarsk, Russia, 24 сентября – 03 2021 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. Volume 2094. Krasnoyarsk, Russia: IOP Publishing Ltd, 2021. P. 42069. DOI 10.1088/1742-6596/2094/4/042069. EDN ZFYKBN.
3. Фляте Д. М. Свойства бумаги. Изд. 3-е, перераб. и доп. Москва : Лесная промышленность, 1986. 680 с.
4. Алашкевич Ю. Д., Юртаева Л. В., Решетова Н. С., Марченко Р. А. Влияние ножевого способа размолотости волокнистой массы на процесс получения порошковой целлюлозы // Химия растительного сырья. 2020. № 4. С. 493–499. DOI 10.14258/jcprm.2020048121. EDN VMYZAC.
5. Ушаков А. В. Размол волокнистых полуфабрикатов высокой концентрации в целлюлозно-бумажном производстве : дис. ... канд. техн. наук : 05.21.03 / Ушаков Александр Васильевич. Красноярск, 2022. 173 с.
6. Dinesh F., Gorski D., Sabourin M., Geoffrey D. Characterization of fiber development in high and low – consistency of primary mechanical pulp // *Holzforschung*. 2013. Pp. 735–745.
7. Kure K. A. On the relationship between process input variables and fibre characteristics in thermomechanical pulping: Doctoral thesis. Trondheim, 1999. 99 p.

8. Combining selective bleaching chemistries and ATMP technology for low energy mechanical pulping at higher brightness / J. Hill, M. Sabourin, J. Aichinger, L. Johansson, D. Gorski, P. Axelsson // 7th International Fundamental Mechanical Pulp. Nanjing, 2010. P. 164.

9. Алашкевич Ю. Д., Кугушев И. Д. К вопросу об исследовании процесса размолотости бумажной массы на ножевых размалывающих машинах // Краткие сообщения / ЛТИ им. Ленсовета. Секция инженерной химической техники. Л., 1970. С. 13–15.

10. Чичаев В. А. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. Т. 1. Москва : Лесная промышленность, 1981. 367 с.

11. Алашкевич Ю. Д., Селедчик В. В., Кугушев И. Д. Гидродинамика процесса размолотости на ножевых размалывающих машинах // Сборник трудов / ЦНИИБ. 1971. Вып. 6. С. 181–188.

12. Гольдштвик М. А. Одно парадоксальное решение уравнения Навье-Стокса // Прикладная математика и механика. 1969. Т. 24, вып. 4. С. 610–622.

13. Баженова В. В., Силантьев Б. А. Экспериментальная проверка гипотезы постоянства завихренности в зоне отрыва // Журнал прикладной механики и техн. физики. 1966. № 1. С. 120–122.

14. Литвинова М. М., Алашкевич Ю. Д., Марченко Р. А. Особенности безножевого размолотости волокнистых полуфабрикатов из однолетних растений в целлюлозно-бумажном производстве // Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. 42, № 2. С. 88–94. DOI 10.53374/1993-0135-2024-2-88-94.

15. Shurkina V. I., Marchenko R. A., Alashkevich Y. D. Research of the paper-forming properties of a fibrous material with the use of a tacking with curvilinear knives. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. 467(1), 012002.

16. Role of external fibrillation in high-consistency pulp refining / A. Ushakov, Yu. Alashkevich, V. Kozhukhov, R. Marchenko // BioResources. 2023. Vol. 18, No. 3. P. 5494–5511. DOI 10.15376/biores.18.3.5494-5511. EDN CLIRZC.

17. Обработка безножевым способом макулатурной массы / Л. В. Кутовая, В. В. Конюхова, Ю. Д. Алашкевич, А. Г. Шведов // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, № 3-4. С. 359–361.

18. Влияние размолотости однолетних растительных полимеров на процесс получения мелкодисперсной целлюлозы / Л. В. Юртаева, Ю. Д. Алашкевич, Е. В. Каплёв, Е. А. Слизикова // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. 41, № 4. С. 361–368. DOI 10.53374/1993-0135-2023-4-361-368. EDN AOJLNM.

19. ISO 5267-1:1999/Cor.1:2001. Целлюлоза. Определение способности к обезвоживанию. Часть 1. Метод Шоппер-Риглера. 2001. 8 с.

20. Ванчаков М. В., Кулешов А. В., Александров А. В., Гаузе А. А. Технология и оборудование переработки макулатуры : учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. Санкт-Петербург, 2019. Часть III. 139 с.

21. ISO 5269-1:2005 Целлюлоза. Приготовление лабораторных листовых отливок для физических испытаний. 12 с.

22. ISO 5270:2012 Целлюлоза. Лабораторные листы. Определение физических свойств. 20 с.

23. ISO 1924-2:2008 Бумага и картон. Метод определения прочности при растяжении. 19 с.

24. Рейска Р. А. Размол березовой сульфатной целлюлозы высокой концентрации / Р. А. Рейска, Ю. Г. Бутко. Текст : непосредственный // Бумажная промышленность. 1972. № 3. С. 4–5.

25. Иванов С. Н. Технология бумаги. Изд. 2-е, переработ. Москва : Лесная промышленность, 1970. 720 с. Текст : непосредственный.

26. Перекальский Н. П. Современное представление о механических явлениях при размолу // Тр. ЛТИ ЦБП им. Молотова. М. ; Л. : Гослесбумиздат, 1961. Вып. 8. С. 5–18.

27. Петрова А. А., Алашкевич Ю. Д., Воронин И. А. Влияние рисунка комбинированной гарнитуры дисковой мельницы на отдельные бумагообразующие свойства волокнистых полуфабрикатов и физико-механические характеристики готового продукта // Химия растительного сырья. 2023. № 4. С. 429–435. DOI 10.14258/jcprm.20230412552.

REFERENCE

1. Yurtayeva L. V., Alashkevich Yu. D. Sposob polucheniya mikrokristallicheskoj tsellyulozy na osnove biopovrezhdennoy drevesiny // Khvoynyye boreal'noy zony. 2022. T. 40, № 2. S. 158–163. DOI 10.53374/1993-0135-2022-6-158-163.

2. Investigation of the possibility of obtaining powdered cellulose using a non-knife method of grinding fibrous semi-finished products / E. V. Kaplyov, L. V. Yurtaeva, R. A. Marchenko, D. Yu. Vasilyeva, Yu. D. Alashkevich // Journal of Physics: Conference Series, Krasnoyarsk, Russia, 24 sentyabrya – 03 2021 goda / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 2094. Krasnoyarsk, Russia: IOP Publishing Ltd, 2021. P. 42069. DOI 10.1088/1742-6596/2094/4/042069. EDN ZFYKBN.

3. Flyate D. M. Svoystva bumagi. Izd. 3-e, pererabotannoye i dopolnennoye. Moskva : Lesnaya promyshlennost', 1986. 680 s.

4. Vliyaniye nozhevogo sposoba razmola voloknistoy massy na protsess polucheniya poroshkovoy tsellyulozy / Yu. D. Alashkevich, L. V. Yurtayeva, N. S. Reshetova, R. A. Marchenko // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2020. № 4. S. 493–499. DOI 10.14258/jcprm.2020048121. EDN VMYZAC.

5. Ushakov A. V. Razmol voloknistykh polufabrikatov vysokoy kontsentratsii v tsellyulozno-bumazhnom proizvodstve : dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk : 05.21.03 / Ushakov Aleksandr Vasil'yevich. Krasnoyarsk, 2022. 173 s.

6. Dinesh F., Gorski D., Sabourin M., Geoffrey D. Characterization of fiber development in high and low – consistency of primary mechanical pulp // Holzforschung. 2013. Pp. 735–745.

7. Kure K. A. On the relationship between process input variables and fibre characteristics in thermomechanical pulping: Doctoral thesis. Trondheim, 1999. 99 p.

8. Hill J., Sabourin M., Aichinger J., Johansson L., Gorski D., Axelsson P. Combining selective bleaching

chemistries and ATMP technology for low energy mechanical pulping at higher brightness // 7th International Fundamental Mechanical Pulp. Nanjing, 2010. P. 164.

9. Alashkevich Yu. D., Kugushev I. D. K voprosu ob issledovanii protsessa razmola bumazhnoy massy na nozhevykh razmalyvayushchikh mashinakh // Kratkiye soobshcheniya / LTI im. Lensovet. Sektsiya inzhenernoy khimicheskoy tekhniki. L., 1970. S. 13–15.

10. Chichayev V. A. Oborudovaniye tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. T. 1. Moskva : Lesnaya promyshlennost', 1981. 367 s.

11. Alashkevich Yu. D., Seledchik V. V., Kugushev I. D. Gidrodinamika protsessa razmola na nozhevykh razmalyvayushchikh mashinakh // Sbornik trudov / TSNIIB. 1971. Vyp. 6. S. 181–188.

12. Gol'dshtvik M. A. Odno paradoksal'noye resheniye uravneniya Nav'ye-Stoksa // Prikladnaya matematika i mekhanika. 1969. T. 24, vyp. 4. S. 610–622.

13. Bazhenova V. V., Silant'yev B. A. Eksperimental'naya proverka gipotezy postoyanstva zavikhrennosti v zone otryva // Zhurnal prikladnoy mekhaniki i tekhn. fiziki. 1966. № 1. S. 120–122.

14. Litvinova M. M., Alashkevich Yu. D., Marchenko R. A. Osobennosti beznoshevogo razmola voloknistykh polufabrikatov iz odnoletnikh rasteniy v tsellyulozno-bumazhnom proizvodstve // Khvoynyye boreal'noy zony. 2024. T. 42, № 2. S. 88–94. DOI 10.53374/1993-0135-2024-2-88-94.

15. Shurkina V. I., Marchenko R. A., Alashkevich Y. D., Research of the paper-forming properties of a fibrous material with the use of a tacking with curvilinear knives. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. 467(1), 012002.

16. Role of external fibrillation in high-consistency pulp refining / A. Ushakov, Yu. Alashkevich, V. Kozhukhov, R. Marchenko // BioResources. 2023. Vol. 18, No. 3. P. 5494–5511. DOI 10.15376/biores.18.3.5494-5511. EDN CLIRZC.

17. Obrabotka beznoshevym sposobom makulturnoy massy / L. V. Kutovaya, V. V. Konyukhova, Yu. D. Alashkevich, A. G. Shvedov // Khvoynyye boreal'noy zony. 2008. T. 25, № 3-4. S. 359–361.

18. Yurtayeva L. V., Alashkevich Yu. D., Kaplev Ye. V., Slizikova Ye. A. Vliyaniye razmola odnoletnikh rastitel'nykh polimerov na protsess polucheniya melkodispersnoy tsellyulozy / Khvoynyye boreal'noy zony. 2023. T. 41, № 4. S. 361–368. DOI 10.53374/1993-0135-2023-4-361-368. EDN AOJLNM.

19. ISO 5267-1:1999/Cor.1:2001. Tsellyuloza. Opredeleniye sposobnosti k obezvozhivaniyu. Chast' 1. Metod Shopper-Riglera. 2001. 8 s.

20. Tekhnologiya i oborudovaniye pererabotki makulatury: uchebnoye posobiye / M. V. Vanchakov, A. V. Kuleshov, A. V. Aleksandrov, A. A. Gauze // VSHT·E SPBGUPTD. Sankt-Peterburg., 2019. Chast' III. 139 s.

21. ISO 5269-1:2005 Tsellyuloza. Prigotovleniye laboratornykh listovykh otlivok dlya fizicheskikh ispytaniy. 12 s.

22. ISO 5270:2012 Tsellyuloza. Laboratornyye listy. Opredeleniye fizicheskikh svoystv. 20 s.

23. ISO 1924-2:2008 Bumaga i karton. Metod opredeleniya prochnosti pri rastyazhenii. 19 s.

24. Reyska R. A., Butko Yu. G. Razmol berezovoy sul'fatnoy tsellyulozy vysokoy kontsentratsii. Tekst: neposredstvennyy // Bumazhnaya promyshlennost'. 1972. № 3. S. 4–5.

25. Ivanov S. N. Tekhnologiya bumagi. Izd. 2-e, pererabot. Moskva : Lesnaya promyshlennost', 1970. 720 s. Tekst: neposredstvennyy.

26. Perekal'skiy N. P. Sovremennoye predstavleniye o mekhanicheskikh yavleniyakh pri razmole // Tr. LTI TSBP im. Molotova. M. ; L. : Goslesbumizdat, 1961. Vyp. 8. S. 5–18.

27. Petrova A. A., Alashkevich Yu. D., Voronin I. A. Vliyaniye risunka kombinirovannoy garnitury diskovoy mel'nitsy na otdel'n-yye bumagoobrazuyushchiye svoystva voloknistykh polufabrikatov i fiziko-mekhanicheskiye kharakteristiki gotovogo produkta. // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2023. № 4. S. 429–435. DOI 10.14258/jcprm.20230412552.

© Алашкевич Ю. Д., Юртаева Л. В.,
Каплёв Е. В., Слизикова Е. А.,
Пожаркова С. А., Марченко Р. А., 20255

Поступила в редакцию 27.09.2024
Принята к печати 18.02.2025

АВТОРСКАЯ ССЫЛКА

- Алашкевич Ю. Д.** Влияние характера размола волокнистой массы на качественные характеристики готовых бумажных изделий, с. 107–114
- Андреев Г. В.**, см. Танцырев Н. В.
- Арканова М. Е.**, см. Джалолов И. И.
- Артёмов А. В.** Оценка уровня химического загрязнения почв продуктами деструкции композиционного материала без связующего на основе древесного сырья, с. 97–106
- Бессонова Н. В.**, см. Меньшиков А. В.
- Болотов И. Н.**, см. Феклистов П. А.
- Бруева Ж. А.**, см. Феклистов П. А.
- Бурындин В. Г.**, см. Артёмов А. В.
- Верховцева Е. П.**, см. Феклистов П. А.
- Выводцев Н. В.**, см. Меньшиков А. В.
- Гаврилова О. И.**, см. Феклистов П. А.
- Грязькин А. В.**, см. Феклистов П. А.
- Демиденко Г. А.** Изменчивость сосны обыкновенной в южной части бореальной зоны Приенисейской Сибири, с. 73–77
- Джалолов И. И.** Культивируемые микромицеты торфяных бугров пучения в тундровых редколесьях Западного Таймыра, с. 20–26
- Елисеев С. Г.**, см. Черник К. Н.
- Ермолин В. Н.**, см. Эскин В. Д.
- Каплёв Е. В.**, см. Алашкевич Ю. Д.
- Ковылина О. П.**, см. Демиденко Г. А.
- Криворотова А. И.**, см. Эскин В. Д.
- Литовка Ю. А.**, см. Джалолов И. И.
- Мамедова С. К.** Строение постагrogenных сосновых древостоев по диаметру ствола, с. 13–19
- Мартынова Н. В.** Накопление запасных жиров тканями побегов ясеня обыкновенного в условиях Нижегородской области, с. 43–54
- Марченко Р. А.**, см. Алашкевич Ю. Д.
- Меньшиков А. В.** Проект организации лесного питомника с целью выращивания семян хвойных и лиственных пород с закрытой корневой системой, с. 68–72
- Минеев А. Л.**, см. Неверов Н. А.
- Мирошникова К. А.**, см. Джалолов И. И.
- Неверов Н. А.** Погрешности измерений сопротивления сверлению древесины сосны и ели устройством резистогрaф, с. 92–96
- Немич В. Н.**, см. Мамедова С. К.
- Павлов И. Н.**, см. Джалолов И. И.
- Пожаркова С. А.**, см. Алашкевич Ю. Д.
- Познухова С. С.**, см. Джалолов И. И.
- Слизикова Е. А.**, см. Алашкевич Ю. Д.
- Танцырев Н. В.** Изменение с возрастом основных факторов конкуренции послепожарного березового древостоя в отношении подростa кедра сибирского, с. 55–61
- Тимофеев А. А.**, см. Джалолов И. И.
- Тюкавина О. Н.**, см. Неверов Н. А.
- Усольцев В. А.** Модели конверсионно-объемных коэффициентов биомассы еловых древостоев в географических градиентах Евразии, с. 7–12
- Феклистов П. А.** Морфометрические особенности деревьев в природном рекреационном комплексе «Сосновый бор острова Ягры», с. 35–42
- Фомина Н. В.**, см. Джалолов И. И.
- Хамитов Р. С.** Динамика урожайности интродукционных культур сосны кедровой сибирской в Вологодской области, с. 62–67
- Хамитова С. М.**, см. Хамитов Р. С.
- Черник К. Н.** Обоснование рабочей скорости лесопосадочной машины для семян с закрытой корневой системой, с. 85–91
- Шевелев С. Л.**, см. Мамедова С. К.
- Шевелева И. С.** Жизнеспособность, фертильность и оптимальные условия длительного хранения пыльцы кедрового стланика (*Pinus pumila*), с. 27–34
- Шкуро А. Е.**, см. Артёмов А. В.
- Эскин В. Д.** Влияние мелкодисперсной фракции на основные свойства пресс-массы и плитного материала без связующих веществ из коры *Pinus sylvestris*, с. 78–84
- Юртаева Л. В.**, см. Алашкевич Ю. Д.
- Юрьев Ю. Л.**, см. Артёмов А. В.

AUTHOR'S LINK

Alashkevich Yu. D. Influence of the nature of fiber mass grinding on the quality characteristics of finished paper products, p. 107–114

Andreev G. V., see Tantsyrev N. V.

Arkanova M. E., see Djalalov I. I.

Artyomov A. V. Assessment of the level of chemical contamination of soil by degradation products of a composite material without resins based on wood raw materials, p. 97–106

Bessonova N. V., see Menshikov A. V.

Bolotov I. N., see Feklistov P. A.

Brueva Z. A., see Feklistov P. A.

Buryndin V. G., see Artyomov A. V.

Chernik K. N. Justification of the working speed of the planting machine for seedlings with a closed root system, p. 85–91

Demidenko G. A. Variability of scots pine in the southern part of the boreal zone of Yenisei Siberia, p. 73–77

Eliseev S. G., see Chernik K. N.

Ermolin V. N., see Eskin V. D.

Eskin V. D. The effect of the fine fraction on the basic properties of the press mass and slab material without binders from the bark of *Pinus sylvestris*, p. 78–84

Feklistov P. A. Morphometric features of trees in the natural recreation complex “Sosnovy bor of Yagry island”, p. 35–42

Fomina N. V., see Djalalov I. I.

Gavrilova O. I., see Feklistov P. A.

Gryazkin A. V., see Feklistov P. A.

Jalolov I. I. Cultivated micromycetes of peat mounds of tundra woodlands of Western Taimyr, p. 20–26

Kaplyov E. V., see Alashkevich Yu. D.

Khamitov R. S. Yield dynamics of introduced Siberian cedar pine crops in the Vologda oblast, p. 62–67

Khamitova S. M., see Khamitov R. S.

Kovyлина O. P., see Demidenko G. A.

Krivorotova A. I., see Eskin V. D.

Litovka Yu. A., see Djalalov I. I.

Mamedova S. K. Structure of post-agricultural pine stands by trunk diameter, p. 13–19

Marchenko R. A., see Alashkevich Yu. D.

Martynova N. V. Accumulation of spare fats by the tissues of the shoot of common ash in the conditions of the Nizhny Novgorod region, p. 43–54

Menshikov A. V. The project of organizing a forest nursery for the purpose of growing seedlings of coniferous and deciduous species with a closed root system, p. 68–72

Mineev A. L., see Neverov N. A.

Miroshnikova K. A., see Djalalov I. I.

Nemich V. N., see Mamedova S. K.

Neverov N. A. Errors in measuring the drilling resistance of pine and spruce wood by the device resistograph, p. 92–96

Pavlov I. N., see Djalalov I. I.

Pozharova S. A., see Alashkevich Yu. D.

Poznukhova S. S., see Djalalov I. I.

Shevelev S. L., see Mamedova S. K.

Sheveleva I. S. Viability, fertility and optimal conditions for long-term storage of Siberian dwarf pine (*Pinus pumila*), p. 27–34

Shkuro A. E., see Artyomov A. V.

Slizikova E. A., see Alashkevich Yu. D.

Tantsyrev N. V. Changes with age in the main factors of the post-fire birch tree stand competition in relation to the siberian stone pine undergrowth, p. 55–61

Timofeev A. A., see Djalalov I. I.

Tyukavina O. N., see Neverov N. A.

Usoltsev V. A. Models of *Picea* spp. biomass conversion and expansion factors in geographical gradients of Eurasia, p. 7–12

Verkhovtseva E. P., see Feklistov P. A.

Vyvodtsev N. V., see Menshikov A. V.

Yurtayeva L. V., see Alashkevich Yu. D.

Yuryev Yu. L., see Artyomov A. V.

