

ISSN 1993-0135

ХВОЙНЫЕ



БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

2024

Том XLII
Номер 4

<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 XLII
№ 4

Красноярск
2024

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XLII, № 4

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)
Верхолец 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)
Казakov 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 XLII, No. 4

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)
Storojenko 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 22.08.2024. Дата выхода в свет 16.09.2024. Формат 70×108/8.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 12,55. Уч.-изд. л. 15,8. Тираж 700 экз.
Заказ 3447. С 966/24. 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

Цепордей И. С. Влияет ли календарный сдвиг используемых климатических данных на результаты моделирования фитомассы хвойных?	7
Плюха Н. И., Усольцев В. А., Ангальт Е. М. Видовые особенности изменения базисной плотности древесины и коры вдоль по стволу дерева	11
Безруких В. А., Авдеева Е. В., Колесников П. Г., Лигаева Н. А., Кузнецова О. А. Продуктивность почвенного покрова ландшафтов бореальной зоны Приенисейской Сибири	17
Дубенок Н. Н., Лебедев А. В., Гостев В. В. Образующая, форма и объем стволов деревьев ели Костромской области	23
Шемберг А. М., Третьякова И. Н. Исследование семенной продуктивности <i>Larix sibirica</i> и <i>Larix gmelinii</i> в Сибири	33
Тюкавина О. Н., Демина Н. А., Файзулин Д. Х. Качество семян в постоянных питомниках открытого грунта Северотажного лесорастительного района	38
Авдеева Е. В., Рудо А. И. Историко-культурная ценность древесных растений	45
Усов С. В., Шевелев С. Л., Кулакова Н. Н., Зайцева А. С. Объемы стволов осины в зоне островных лесостепей Средней Сибири	55
Миронова А. Ю., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Регенерационная способность черенков декоративных форм и сортов пузыреплодника калинолистного при интродукции в Нижегородскую область	62
Комаров И. В., Щерба Ю. Е., Гришлова М. В. Показатели роста сосны кедровой сибирской раннего образования микростробилов во втором поколении	75

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Мальцев Г. И., Юрьев Ю. Л. Применение хлоропреновых, пипериленовых и изопреновых латексов при изготовлении бумагоподобных материалов	82
Огурцов В. В., Каргина Е. В., Матвеева И. С. Двухкритериальная математическая модель оптимизации дробности сортировки брёвен по толщине	89
Огурцов В. В., Каргина Е. В., Матвеева И. С. Локализация случайных характеристик пиловочника для повышения эффективности его распиловки	95

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Петрова А. А., Алашкевич Ю. Д., Воронин И. А., Решетова Н. С. Влияние концентрации волокнистой массы на свойства готового продукта при использовании комбинированной гарнитуры	101
---	-----

Авторская ссылка	107
-------------------------------	-----

Contents

BIOLOGY AND ECOLOGY, FORESTRY

Tsepordey I. S. Does the calendar shift in used climate data affect the results of modeling biomass of coniferous species?	7
Plyukha N. I., Usoltsev V. A., Anhalt E. M. Species features of changes in the basic density of wood and bark along the stem of a tree	11
Bezrukikh V. A., Avdeeva E. V., Kolesnikov P. G., Ligaeva N. A., Kuznetsova O. A. Soil cover productivity of landscapes of the boreal zone of the Yenisei Siberia	17
Dubenok N. N., Lebedev A. V., Gostev V. V. Stem taper, shape and volume of spruce tree trunks of the Kostroma oblast	23
Schemberg A. M., Tretyakova I. N. Study of seed productivity of <i>Larix sibirica</i> and <i>Larix gmelinii</i> in Siberia	33
Tyukavina O. N., Demina N. A., Fayzulin D. Kh. The quality of seedlings in field permanent nursery of the North Taiga forest growing area	38
Avdeeva E. V., Rudo A. I. Historical and cultural value of woody plants	45
Usov S. V., Shevelev S. L., Kulakova N. N., Zaitseva A. S. Volumes of aspen trunks in the zone of island forest-steppes of Central Siberia	55
Mironova A. Y., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Regenerative ability of cuttings of decorative forms and varieties of common ninebark when introduced to the Nizhny Novgorod region	62
Komarov I. V., Shcherba Yu. E., Grishlova M. V. Growth indicators of <i>pinus sibirica</i> by the early formation of microstrobiles in the second generation	75

TECHNOLOGY OF HARVESTING AND MECHANICAL PROCESSING OF WOOD

Maltsev G. I., Yuryev Y. L. The use of chloroprene, piperylene and isoprene latexes in the manufacture of paper-like materials	82
Ogurtsov V. V., Kargina E. V., Matveeva I. S. A two-criterion mathematical model for optimizing the fractional sorting of logs by thickness	89
Ogurtsov V. V., Kargina E. V., Matveeva I. S. Localization of random characteristics of saw log to increase the efficiency of its sawing	95

CHEMICAL PROCESSING TECHNOGY

Petrova A. A., Alashkevich Yu. D., Voronin I. A., Reshetova N. S. The influence of fiber concentration on the properties of the finished product when using a combined set	101
Author's link	108

ВЛИЯЕТ ЛИ КАЛЕНДАРНЫЙ СДВИГ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИТОМАССЫ ХВОЙНЫХ?*

И. С. Цепордей

Ботанический сад Уральского отделения РАН
Российская Федерация, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 марта, 202а
E-mail: ivan.tsepordey@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4747-5017>

За последние десятилетия происходит непрерывное глобальное потепление климата. На территории России за каждое 10-летие общее повышение атмосферной температуры составляет 0,61 °C и среднемесячное повышение осадков на 2,2 мм. В имеющихся публикациях, посвященных моделированию фитомассы лесов под влиянием одновременного действия температур и осадков, вклад названных переменных в объяснение изменчивости фитомассы оказывается либо несущественным, либо нулевым, главным образом, вследствие регионального уровня моделей. Цель настоящего трансконтинентального исследования – выяснить, изменяются ли закономерности надземной и подземной фитомассы насаждений при замене календарного диапазона осреднения температур и осадков за период 1970–2000 годы (WorldClim версии 2.1) периодом осреднения за 1997–2006 годы (World Weather Maps, 2007) в территориальных климатических градиентах на примере пяти хвойных Евразии. В результате установлено, что вклад бинарной переменной, кодирующей два разных календарных периода осреднения климатических данных, в объяснение варьирования фитомассы хвойных составил в среднем около 1 %, а уровень ее значимости по Стьюденту составил 0,74, что ниже стандартного значения $t_{05} = 1,96$. Таким образом, гипотеза о влиянии календарного периода осреднения температур и осадков на величину моделируемой надземной и подземной фитомассы хвойных не подтвердилась.

Ключевые слова: базы данных, хвойные виды Евразии, фитомасса древостоев, регрессионная модель, бинарная переменная, вклад переменных в объяснение изменчивости фитомассы.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 4, P. 7–10

DOES THE CALENDAR SHIFT IN USED CLIMATE DATA AFFECT THE RESULTS OF MODELING BIOMASS OF CONIFEROUS SPECIES?*

I. S. Tsepordey

Botanical Garden, Ural Branch of RAS
202a, 8 Marta Str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation
E-mail: ivan.tsepordey@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4747-5017>

Over the past decades, there has been a continuous global warming of the climate. In Russia, for every 10 years, the total increase in atmospheric temperature is 0.61 °C and the average monthly precipitation increase is 2.2 mm. In the available publications devoted to the modeling of forest phytomass under the influence of the simultaneous action of temperatures and precipitation, the contribution of these variables to the explanation of the variability of phytomass turns out to be either insignificant or zero, mainly due to the regional level of models. The purpose of this transcontinental study is to find out whether the patterns of forest aboveground and underground phytomass change when the calendar range of averaging temperatures and precipitation for the period 1970–2000 (WorldClim version 2.1) is replaced by the averaging period for 1997–2006 (World Weather Maps, 2007) in territorial climatic gradients using the example of five coniferous of Eurasia. As a result, it was found that the contribution of the binary variable encoding two different calendar periods of averaging climatic data to the explanation of the variation in the phytomass

* **Финансирование:** публикация подготовлена в рамках Государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

Благодарности: Автор благодарит проф. В. А. Усольцева за участие в подготовке публикации.

** **Funding:** the publication was prepared as part of the State Assignment of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

Acknowledgements: The author thanks Prof. V. A. Usoltsev for participation in the preparation of the work.

averaged about 1%, and its significance level according to the Student was 0.74, which is lower than the standard value $t_{05} = 1.96$. Thus, the hypothesis about the influence of the calendar period of averaging temperatures and precipitation on the value of the simulated aboveground and underground phytomass of conifers has not been confirmed.

Keywords: *databases, coniferous of Eurasia, phytomass of stands, regression model, binary variable, the contribution of variables to the explanation of phytomass variability.*

ВВЕДЕНИЕ

Изменение глобальных климатических характеристик в последние годы, таких, как температура и осадки, основано на инструментальных измерениях. На средних широтах (от 20° до 50°) с 1970 по 2010 годы доля территорий с превышением температур летних месяцев на одно стандартное отклонение по отношению к среднему значению выросла с 10 до 50 % [8]. За период с 1970 по 2018 годы глобальное среднегодовое повышение температуры составило 0,9 °C [7], в то время как на территории России за тот же период оно составило 1,6 °C [2]. Р. Валентини и М. Линднер [1] констатируют: «В течение последних 40 лет в России наблюдалась общая тенденция потепления климата со средним десятилетним увеличением на 0,61 °C, что примерно в 2,5 раза превышает среднемировой рост. В то же время по всей России наблюдается общее усиление гидрологического цикла с увеличением количества осадков (+2,2 мм в месяц за десятилетие)» (с. 51). В результате увеличивается продолжительность вегетационного периода и чистая первичная продуктивность лесов [3]. За период с 1982 по 1999 годы нормализованный относительный индекс растительности (NDVI) как показатель ее фотосинтетической активности в средних широтах Северной Евразии увеличился на 12,4 %, в то время как на северо-востоке России наблюдалось его снижение на 5 % [12].

Поскольку в течение десятилетий происходит непрерывное изменение климатических показателей, то логично предположить, насколько изменится результат моделирования фитомассы деревьев или древостоев в территориально распределенных градиентах температур и осадков, если в качестве независимых переменных используются климатические показатели, осредненные за разные календарные периоды? В этой связи в нашей предыдущей работе [5] была предпринята попытка выяснить, изменяются ли закономерности изменения фитомассы деревьев при замене календарного диапазона осреднения температур. Используя авторскую базу данных о фитомассе деревьев лесобразующих видов Евразии, на примере фитомассы хвои сосны было установлено, что замена периода осреднения среднеянварских температур за период с 1997 по 2006 годы [11] периодом осреднения с 2010 по 2019 годы [9] с 16-летним календарным сдвигом не оказала значимого влияния ($t = 1,61 < t_{05} = 1,96$) на закономерность изменения фитомассы хвои в градиентах температур и осадков Евразии. Представляет интерес проверить полученный вывод на нескольких древесных видах.

ЦЕЛЬ, МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель настоящего исследования – выяснить, изменяются ли закономерности надземной и подземной

фитомассы насаждений при замене календарного диапазона осреднения температур и осадков за период 1970–2000 годы [10] периодом осреднения за 1997–2006 годы [11] в территориальных климатических градиентах на примере пяти хвойных Евразии. На обозначенный календарный период с 1970 по 2006 годы приходится получение около 95 % имеющихся фактических данных о фитомассе древостоев на пробных площадях [4]. Методы и результаты моделирования фитомассы древостоев лесобразующих видов в климатических градиентах Евразии были изложены ранее [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем сравнительном анализе принята структура регрессионной модели [6], дополненная бинарной переменной

$$\ln P_i = a_0 + b_1 (\ln A_{cp}) + b_2 (\ln N) + b_3 (\ln M) + b_4 [\ln(T+50)] + b_5 (\ln PR) + b_6 [\ln(T+50)] \cdot (\ln PR) + b_7 X, \quad (1)$$

где P_i – фитомасса надземная и корней в абсолютно сухом состоянии, соответственно P_a и P_r , т/га; A_{cp} – средний возраст древостоя, лет; N – число стволов, 1000/га; M – запас стволовой древесины, м³/га; T – средняя температура января, град.; PR – среднегодовые осадки, мм; a_0 – свободный член и b_1 – b_7 – регрессионные коэффициенты модели; X – бинарная переменная, характеризующая один из периодов осреднения температур и осадков: $X = 1$ – для периода за 1970–2000 годы и $X = 0$ – для периода за 1997–2006 годы. С целью охвата всего евразийского диапазона температур и осадков анализ выполнен на уровне родов, представленность которых фактическими данными о фитомассе составляющих их видов была показана ранее [6].

В данном сообщении нет необходимости приводить ранее опубликованные модели (1) (без бинарной переменной). В соответствии с поставленной целью исследования можно ограничиться показом вкладов независимых переменных, включая бинарную, а также показом уровня значимости коэффициента b_7 при бинарной переменной X . Результаты такого анализа приведены в таблице.

В нашей предыдущей работе [6] было показано, что средние значения вкладов таксационных и климатических переменных в исходной модели (1) (без бинарной переменной) в объяснение изменчивости фитомассы ливня, ветвей и стволов составили соответственно 82 и 18 %. В упомянутой работе о влиянии замены календарного диапазона на величину моделируемой фитомассы хвои [5] названное соотношение составило 91 % к 9 %, т. е. вклад климатических переменных в объяснение изменчивости фитомассы хвои оказался существенно ниже, чем средние вклады, средние по всем фракциям фитомассы.

Вклады независимых переменных в объяснение изменчивости зависимых переменных и уровни значимости коэффициента b_7 модели (1)

Зависимая переменная	Вклад независимых переменных модели (1), %			Значимость коэффициента b_7 при бинарной переменной X по Стьуденту	adjR ² (**)
	Таксационные показатели	Климатические переменные	Бинарная переменная		
Подрод <i>Pinus</i> L. (двухвойные сосны)					
lnPa	93,7	6,0	0,3	0,72	0,95
lnPr	96,5	2,1	1,4	1,33	0,80
Род <i>Larix</i> Mill.					
lnPa	84,7	12,3	0,3	0,55	0,97
lnPr	94,7	5,2	0,1	0,04	0,72
Род <i>Picea</i> Dietr.					
lnPa	97,8	2,0	0,2	0,28	0,97
lnPr	87,9	11,4	0,7	0,49	0,88
Род <i>Abies</i> Mill.					
lnPa	90,6	8,1	1,3	1,35	0,97
lnPr	80,7	16,6	2,7	0,72	0,89
Подрод <i>Haploxydon</i> (Koehe) (пятихвойные сосны)					
lnPa	93,4	6,0	0,6	0,86	0,99
lnPr	64,7	33,0	2,3	1,01	0,94
В среднем по 5 родам (под родам)*					
lnPa	92,0±4,8	6,9±3,7	0,5±0,5	0,75±0,4	0,97±0,01
lnPr	84,9±12,9	13,7±12,2	1,4±1,1	0,72±0,49	0,85±0,09
В среднем по надземной и подземной фитомассе*					
—	88,5±9,9	10,3±9,2	1,0±0,9	0,74±0,42	0,91±0,09

Примечание: (*) – среднее значение ± стандартное отклонение; (**) – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных.

Судя по данным таблицы, вклад климатических показателей и бинарной переменной в объяснение фитомассы корней выше аналогичного вклада по отношению надземной фитомассы (13,7 % против 6,9 % и 1,4 % против 0,5 %), а вклад таксационных показателей соответственно ниже (84,9 % против 92,0 %).

В среднем вклад бинарной переменной в объяснение изменчивости фитомассы хвойных оказался равным примерно 1 %. Соответственно значимость коэффициента b_7 при бинарной переменной X по Стьюденту составила в среднем 0,74, варьируя в диапазоне от 0,04 до 1,35, что во всех случаях ниже стандартного уровня значимости $t_{05} = 1,96$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, гипотеза о влиянии календарного периода осреднения температур и осадков на величину моделируемой надземной и подземной фитомассы хвойных не подтвердилась (среднее фактическое значение $t = 0,74 < t_{05} = 1,96$), а вклад бинарной переменной, кодирующей два разных календарных периода осреднения климатических данных, в объяснение варьирования фитомассы хвойных составил в среднем около 1 %. Полученные результаты позволяют выполнять оценки углеродного потенциала лесов без привязки к конкретному календарному периоду осреднения климатических данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Ключевые тезисы // Леса России и изменение климата. Что нам может сказать наука / П. Лескинен,

М. Линднер, П. Й. Веркерк и др. (ред.). Европейский институт леса, 2020. С. 51–52.

2. Замолодчиков Д., Валентини Р. Наблюдаемые изменения климата России за последние десятилетия // Леса России и изменение климата. Что нам может сказать наука / П. Лескинен, М. Линднер, П. Й. Веркерк и др. (ред.). Европейский институт леса, 2020. С. 45–47.

3. Замолодчиков Д., Рейер К. Наблюдаемые воздействия изменения климата // Леса России и изменение климата. Что нам может сказать наука / П. Лескинен, М. Линднер, П. Й. Веркерк и др. (ред.). Европейский институт леса, 2020. С. 53–55.

4. Усольцев В. А. Биомасса и первичная продукция лесов Евразии. Электронная база данных. 4-е дополненное издание. Екатеринбург: Ботанический сад УрО РАН, Уральский государственный лесотехнический университет, 2023. (CD-ROM). URL: <https://clar.usfeu.ru/handle/123456789/12452>.

5. Усольцев В. А., Цепордей И. С., Норицин Д. В. Фитомасса хвой сосны в связи с выбором базы климатических данных // Лесное хозяйство: актуальные проблемы и пути их решения : сб. науч. ст. по материалам Всерос. (нац.) науч.-практ. конф. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА, 2022. С. 178–182.

6. Цепордей И. С. Биологическая продуктивность лесобразующих видов в климатическом контексте Евразии / под ред. В. А. Усольцева. Екатеринбург : Изд-во УМЦ УПИ, 2023. 450 с. URL: <https://clar.usfeu.ru/handle/123456789/12450>.

7. Framing and Context // Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global

warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty / V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner et al. (eds.), 2018. P. 49–91.

8. Cohen J., Screen J. A., Furtado J. C. et al. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather // *Nature Geoscience* (Advance Online Publication). 2014. www.nature.com/naturegeoscience. DOI: 10.1038/NGEO 2234.

9. Dark Sky – Hyperlocal Weather, версия 3.3.0. URL: <https://4pda.to/forum/index.php?showtopic=745166>.

10. WorldClim версии 2.1 за 1970–2000 годы. URL: <https://worldclim.org/data/index.html>.

11. World Weather Maps, 2007. URL: <https://www.mapsofworld.com/referrals/weather/> (дата обращения: 15.06.2018).

12. Zhou L., Tucker C. J., Kaufmann R. K. et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999 // *Journal of Geophysical Research*. 2001. Vol. 106. Article D17. P. 20,069–20,083.

REFERENCES

1. Klyuchev-yye tezisy // *Lesa Rossii i izmeneniye klimata. Chto nam mozhet skazat' nauka* / P. Leskinen, M. Lindner, P. Y. Verkerk i dr. (red.). Yevropeyskiy institut lesa, 2020. S. 51–52.

2. Zamolodchikov D., Valentini R. Nablyudayem-yye izmeneniya klimata Rossii za posledniye desyatiletiya // *Lesa Rossii i izmeneniye klimata. Chto nam mozhet skazat' nauka* / P. Leskinen, M. Lindner, P. Y. Verkerk i dr. (red.). Yevropeyskiy institut lesa, 2020. S. 45–47.

3. Zamolodchikov D., Reyher K. Nablyudayem-yye vozdeystviya izmeneniya klimata // *Lesa Rossii i izmeneniye klimata. Chto nam mozhet skazat' nauka* / P. Leskinen, M. Lindner, P. Y. Verkerk i dr. (red.). Yevropeyskiy institut lesa, 2020. S. 53–55.

4. Usol'tsev V. A. Biomassa i pervichnaya produktiya lesov Yevrazii. Elektronnyaya baza dannykh. 4-e dopolnennoye izdaniye. Yekaterinburg: Botanicheskiy sad URO RAN, Ural'skiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskii universitet, 2023. (CD-ROM). URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12452>.

5. Usol'tsev V. A., Tsepordey I. S., Noritsin D. V. Fitomassa khvoi sosny v svyazi s vyborom bazy klimaticheskikh dannykh // *Lesnoye khozyaystvo: aktual'n-yye problemy i puti ikh resheniya* : sb. nauch. st. po materialam Vseros. (nats.) nauch.-prakt. konf. Nizhniy Novgorod : Nizhegorodskaya GSKHA, 2022. C. 178–182.

6. Tsepordey I. S. Biologicheskaya produktivnost' lesoobrazuyushchikh vidov v klimaticheskom kontekste Yevrazii / pod red. V. A. Usol'tseva. Yekaterinburg : Izd-vo UMTS UPI, 2023. 450 s. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12450>.

7. Allen M. R., Dube O. P., Solecki W. et al. Framing and Context // *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* / V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner et al. (eds.), 2018. P. 49–91.

8. Cohen J., Screen J. A., Furtado J. C. et al. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather // *Nature Geoscience* (Advance Online Publication). 2014. www.nature.com/naturegeoscience. DOI: 10.1038/NGEO 2234.

9. Dark Sky – Hyperlocal Weather, версия 3.3.0. URL: <https://4pda.to/forum/index.php?showtopic=745166>.

10. WorldClim версии 2.1 за 1970–2000 годы. URL: <https://worldclim.org/data/index.html>.

11. World Weather Maps, 2007. URL: <https://www.mapsofworld.com/referrals/weather/> (дата обращения: 15.06.2018).

12. Zhou L., Tucker C. J., Kaufmann R. K. et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999 // *Journal of Geophysical Research*. 2001. Vol. 106. Article D17. P. 20,069–20,083.

© Цепордей И. С., 2024

Поступила в редакцию 15.04.2024
Принята к печати 22.07.2024

ВИДОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ БАЗИСНОЙ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ И КОРЫ ВДОЛЬ ПО СТВОЛУ ДЕРЕВА *

Н. И. Плюха¹, В. А. Усольцев^{1,2}, Е. М. Ангальт³

¹Уральский государственный лесотехнический университет
Российская Федерация, 620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

²Ботанический сад Уральского отделения РАН
Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 марта, 202а

³Оренбургский государственный аграрный университет
Российская Федерация, 460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18

E-mail: ¹nikcskript@mail.ru; ^{1,2}Usoltsev50@mail.ru;
²ivan.tsepordey@yandex.ru; ³elenaangalt@mail.ru

В исследованиях биологической продуктивности и углерод депонирующей способности насаждений важное значение имеют квалиметрические характеристики биомассы, в частности, влажность и базисная плотность (БП) древесины и коры ствола. БП как отношение массы абсолютно сухой древесины к ее объему в свежем состоянии является одной из важнейших квалиметрических характеристик древесного сырья. Она вносит существенный вклад в объяснение изменчивости биомассы ствола и надземной. Известно, что БП видоспецифична, однако данные о распределении БП древесины, и особенно коры, вдоль по стволу довольно редки. Цель нашего исследования состояла в анализе видовых особенностей изменения базисной плотности древесины и коры вдоль по стволу дерева. По данным 3849 дисков, взятых по относительным высотам ствола шести лесобразующих видов вдоль по уральскому меридиану, рассчитаны регрессионные модели смешанного типа, включающие в качестве независимых переменных возраст дерева и диаметр ствола, а также положение диска вдоль по стволу. Видовая принадлежность БП учтена вводом в модель фиктивных переменных. Установлено, что БП древесины у всех видов монотонно снижается в направлении от основания ствола к вершине, а БП коры монотонно возрастает в том же направлении. Наибольшая БП древесины присуща лиственнице и березе и наименьшая – пихте. Наибольшей БП коры обладает кедр сибирский и наименьшей – сосна обыкновенная.

Ключевые слова: базисная плотность вдоль по стволу, древесина и кора ствола, сосна обыкновенная, сосна кедровая, ель сибирская, пихта сибирская, береза повислая, регрессионные модели.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 4, P. 11–16

SPECIES FEATURES OF CHANGES IN THE BASIC DENSITY OF WOOD AND BARK ALONG THE STEM OF A TREE**

N. I. Plyukha¹, V. A. Usoltsev^{1,2}, E. M. Anhalt³

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin
19, Mira str., Yekaterinburg, 620002, Russian Federation

²Botanical Garden, Ural Branch of RAS
202a, 8 Marta Str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

³Orenburg State Agrarian University
18, Chelyuskintsev str., Orenburg, 460014, Russian Federation

E-mail: ¹nikcskript@mail.ru; ^{1,2}Usoltsev50@mail.ru;
²ivan.tsepordey@yandex.ru; ³elenaangalt@mail.ru

In studies of biological productivity and carbon deposition capacity of forests, the qualimetric characteristics of biomass, in particular, moisture and basic density (BD) of wood and bark of stems, are important. BD, as the ratio of the mass of dry matter of stems to their volume in a fresh state, is one of the most important qualimetric characteristics of wood raw materials. It makes a significant contribution to explaining the variability of stem and aboveground biomass. It is known that BD is species-specific, but data on the distribution of BD of wood, and especially of bark,

* Работа выполнена согласно государственному заданию Ботанического сада УрО РАН.

** The publication was prepared based on the results of the research carried out within the framework of the state task of the Botanical Garden, Ural Branch of RAS.

along the stem are quite rare. The purpose of our study was to analyze the specific features of changes in the basic density of wood and bark along the stem of the tree. According to the data of 3849 disks taken from the relative heights of stems for six forest-forming species along the Ural meridian, regression models of a mixed type were calculated, including as independent variables the age of the tree and the diameter of the stem, as well as the position of the disk along the stem. The species identity of the BD is taken into account by entering dummy variables into the model. It was found that the BF of wood in all species decreases monotonously in the direction from the base of the stem to the top, and the BD of the bark increases monotonously in the same direction. The largest BD of wood is inherent in larch and birch and the smallest one in fir. Siberian cedar has the highest bark density and Scots pine has the smallest one.

Keywords: *basic density along the stem, wood and bark of the stem, Scots pine, Siberian cedar pine, Siberian spruce, Siberian fir, silver birch, regression models.*

ВВЕДЕНИЕ

Базисная плотность (БП) как отношение массы абсолютно сухой древесины к ее объему в свежем состоянии является одной из важнейших квалитетических характеристик древесного сырья [6; 7]. БП древесины тесно связана с основными физико-механическими свойствами древесины, в частности, с ударной твердостью [4], пределом прочности при сжатии [3], а также с модулем упругости и модулем Юнга [23] и длиной волокон [12].

БП древесины изменяется в связи с таксационными и морфометрическими показателями дерева. Например, коэффициент корреляции БП с относительной высотой (отношением высоты ствола к диаметру на высоте груди) составляет от 0,49 у березы [21] до 0,58 у ели [20] и 0,33 у теневыносливых видов в Бангладеш [17]. Корреляционная связь БП древесины с диаметром ствола у трех видов в Бразилии варьирует от 0,50 до 0,83 [26]. БП древесины зависит также от возраста дерева [1; 5]. Знание БП древесины повышает точность оценки биомассы деревьев [16; 24].

У 80-летней сосны обыкновенной в Шотландии БП древесины снижается от 625 кг/м³ у основания ствола до 450 кг/м³ в верхней части [23]. Аналогичные закономерности установлены для БП древесины у сосны и лиственницы в Сибири [1]. Иная закономерность выявлена у 70-летних берез в Польше: снижение в направлении от основания ствола до уровня 20 % общей высоты с последующим увеличением в направлении вершины ствола [18]. Практически все исследования БП посвящены древесине и очень редко – коре. При этом положительная связь БП коры с диаметром ствола обнаружена у пихты и дугласии и отсутствие таковой – у ели [14].

При оценке качества деревянных конструкций большое внимание уделяется изменчивости плотности древесины [15]. Поэтому знание закономерностей изменения БП древесины вдоль по стволу дерева повышает точность оценки квалитетических характеристик заготавливаемых сортиментов и деревянных конструкций. Это связано с влиянием БП древесины как на технологию переработки древесного сырья, так и на качество конечного продукта [19]. При распиловке древесины БП существенно влияет на технологию производства пиломатериалов, а также на износ пил и других режущих инструментов [11].

Изменение БП коры вдоль по стволу влияет на величину БП всего ствола в коре, однако закономерности подобного изменения у большинства древесных видов неизвестны. Неизвестны также видовые осо-

бенности распределения БП древесины вдоль по стволу.

Цель нашего исследования состояла в анализе видовых особенностей изменения базисной плотности древесины и коры вдоль по стволу дерева.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Источником исходных материалов для регрессионного моделирования послужила база данных о квалитетии деревьев в лесах Евразии [25]. Эмпирические данные были получены путем взятия дисков по относительным высотам ствола. У каждого диска измеряли его толщину, а также диаметр в коре и без коры в двух взаимно перпендикулярных направлениях, и определяли объем древесины и коры. Древесину и кору раздельно сушили в термостате до достижения постоянной массы и рассчитывали их массу в абсолютно сухом состоянии. Путем деления массы на объем получали фактические значения базисной плотности древесины и коры по относительным высотам ствола.

Сформирована выборка исходных данных 3849 деревьев основных лесообразующих видов (табл. 1).

Поскольку целью работы является исследование видовых особенностей распределения БП вдоль по стволу на основе регрессионного моделирования, для корректного сопоставления закономерностей распределения БП вдоль по относительным высотам ствола различных видов в модели вводятся основные таксационные показатели, в частности, отмеченные выше возраст и диаметр ствола дерева. Применена структура модели смешанного типа [9], включающая в себя, наряду с численными переменными (возраст и диаметр ствола), также фиктивные переменные, кодирующие тот или иной вид (табл. 2). Тем самым сопоставление выполняется для деревьев, равновеликих по диаметру и одинаковых по возрасту.

Предполагается, что изменение БП древесины и коры вдоль по стволу по относительным высотам по аналогии с известными закономерностями изменения чисел сбег стволков [8] можно описать полиномом 3-го порядка, для чего в модель в качестве независимых переменных, наряду с возрастом и диаметром ствола, включили значения относительной высоты (в долях от общей высоты ствола) в первой, второй и третьей степени. В окончательную структуру моделей включили только независимые переменные, статистически значимые на уровне P₉₅ [2].

Таблица 1
Статистики исходных данных 3849 дисков модельных деревьев

Анализируемые показатели	Обозначение статистик					
	$X_{\text{ср}}$	$X_{\text{мин}}$	$X_{\text{макс}}$	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Число наблюдений
Сосна обыкновенная, Тургайский прогиб						
Возраст дерева, лет	27	9	110	17,9	67,5	3200
Диаметр ствола на высоте груди, см	7,0	0,3	34,5	5,3	75,4	3200
БП древесины, кг/м ³	384	255	619	54,1	14,1	3200
БП коры, кг/м ³	315	145	663	69,5	22,1	3200
Сосна обыкновенная, Средний Урал						
Возраст дерева, лет	24	15	32	6,6	27,5	108
Диаметр ствола на высоте груди, см	8,9	2,4	20,0	4,6	51,5	108
БП древесины, кг/м ³	341	262	447	33,0	9,7	108
БП коры, кг/м ³	286	151	362	37,9	13,2	108
Кедр сибирский (сосна кедровая сибирская), Средний Урал						
Возраст дерева, лет	88	50	146	32,4	36,6	34
Диаметр ствола на высоте груди, см	19,4	8,1	29,3	6,4	32,9	34
БП древесины, кг/м ³	356	319	426	26,5	7,5	34
БП коры, кг/м ³	447	265	746	116,2	26,0	33
Ель сибирская, Средний Урал						
Возраст дерева, лет	77	37	134	26,1	33,8	74
Диаметр ствола на высоте груди, см	21,0	6,1	37,9	9,3	44,5	74
БП древесины, кг/м ³	371	292	475	41,2	11,1	74
БП коры, кг/м ³	363	222	512	70,7	19,5	74
Пихта сибирская, Средний Урал						
Возраст дерева, лет	70	20	164	27,3	39,2	199
Диаметр ствола на высоте груди, см	14,0	0,8	40,3	8,5	60,6	199
БП древесины, кг/м ³	347	269	445	34,3	9,9	100
БП коры, кг/м ³	381	246	554	67,5	17,7	88
Береза повислая, Южный Урал						
Возраст дерева, лет	57	31	86	15,1	26,6	154
Диаметр ствола на высоте груди, см	15,3	7,0	26,3	5,3	34,6	154
БП древесины, кг/м ³	498	399	579	33,2	6,7	154
БП коры, кг/м ³	349	179	542	74,6	21,4	154
Лиственница Сукачева (культуры), Тургайский прогиб						
Возраст дерева, лет	40	40	40	–	–	80
Диаметр ствола на высоте груди, см	16,1	6,2	28,0	6,3	39,4	80
БП древесины, кг/м ³	462	360	607	48,9	10,6	80
БП коры, кг/м ³	319	184	510	76,4	24,0	80

Таблица 2
Схема кодирования исследуемых видов с указанием регионов, в которых определена БП древесины и коры по относительным высотам стволов деревьев

Вид	Регион	Блок фиктивных переменных					
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
Сосна обыкновенная	Тургайский прогиб	0	0	0	0	0	0
Сосна обыкновенная	Средний Урал	1	0	0	0	0	0
Кедр сибирский (сосна кедровая сибирская)	Средний Урал	0	1	0	0	0	0
Ель сибирская	Средний Урал	0	0	1	0	0	0
Пихта сибирская	Средний Урал	0	0	0	1	0	0
Береза повислая	Южный Урал	0	0	0	0	1	0
Лиственница Сукачева (культуры)	Тургайский прогиб	0	0	0	0	0	1

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В итоге расчетов получены модели:

– для БП древесины:

$$\ln(BD) = 5,1397 + 0,5280(\ln A) - 0,0562(\ln A)^2 - \\ - 0,1382(\ln D) + 0,0114(\ln D)^2 - 0,3534h_i + \\ + 0,3725h_i^2 - 0,2088h_i^3 - 0,0703X_1 - 0,0686X_2 -$$

$$- 0,0479X_3 - 0,1139X_4 + 0,2570X_5 + 0,2112X_6;$$

$$\text{adj}R^2 = 0,637; SE = 0,089; \quad (1)$$

– для БП коры:

$$\ln(BD) = 4,3146 + 0,7168(\ln A) - 0,0810(\ln A)^2 - \\ - 0,1264(\ln D) - 0,0132(\ln D)^2 + 1,1936h_i -$$

$$-1,4522h_i^2 + 0,6084h_i^3 - 0,0598X_1 + 0,2910X_2 + 0,2200X_3 + 0,2617X_4 + 0,1163X_5 + 0,0529X_6;$$

$$\text{adj}R^2 = 0,527; SE = 0,157; \quad (2)$$

где A – возраст дерева, лет; D – диаметр ствола на высоте груди, см; h_i – относительная высота, выраженная в долях общей высоты дерева; BD – базисная плотность (БП) древесины или коры, кг/м³. Свободный член моделей (1) и (2) скорректирован на логарифмическое преобразование [13]. Коэффициент детерминации $\text{adj}R^2$ скорректирован на количество переменных; SE – стандартная ошибка моделей (1) и (2).

После подстановки в модели (1) и (2) средних значений возраста (33 года) и диаметра ствола (8,7 см) путем табулирования моделей по задаваемым значениям относительной высоты в диапазоне от 0 до 0,9 построены для каждого вида зависимости, графическое изображение которых дано на рис. 1 и 2.

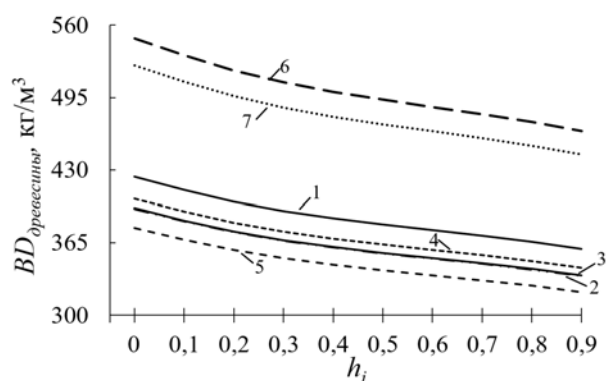


Рис. 1. Изменение БП древесины вдоль по стволу дерева согласно модели (1). Обозначения здесь и далее:

1 – сосна обыкновенная, Тургайский прогиб; 2 – сосна обыкновенная, Средний Урал; 3 – кедр сибирский, Средний Урал; 4 – ель сибирская, Средний Урал; 5 – пихта сибирская, Средний Урал; 6 – береза повислая, Южный Урал; 7 – лиственница Сукачева (культуры), Тургайский прогиб

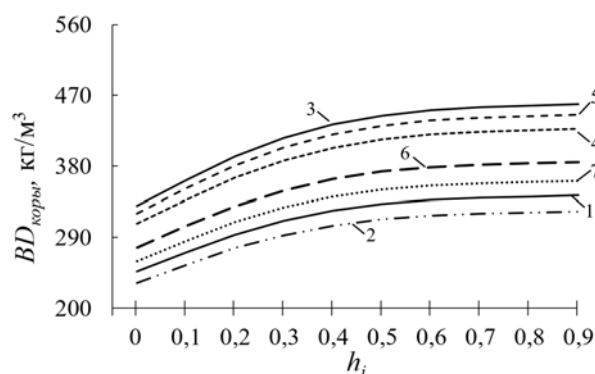


Рис. 2. Изменение БП коры вдоль по стволу дерева согласно модели (2)

Согласно рис. 1 БП древесины монотонно снижается в направлении от основания ствола к его вершине у всех видов, что согласуется с данными других источников [1; 23]. Закономерность, возможно, связана с тем, что на нижнюю часть ствола приходится наибольшее напряжение изгиба вследствие ветровой нагрузки [22]. С другой стороны, верхняя часть ствола имеет повышенную долю ювенильной древесины,

обладающей более низкой плотностью [10]. Наибольшая БП древесины присуща лиственнице и березе и наименьшая – пихте.

БП коры монотонно возрастает вдоль по стволу, что, видимо, связано с большой долей корки в нижней части и с отсутствием ее в верхней части ствола (рис. 2). Наибольшей БП коры обладает кедр сибирский и наименьшей – сосна обыкновенная.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, впервые разработаны регрессионные модели смешанного типа для БП древесины и коры вдоль по оси ствола деревьев 6 лесообразующих видов, данные по которым получены вдоль Уральского меридиана от средней тайги до степи. Модели для древесины и коры объясняют соответственно 64 и 58 % общей изменчивости фактических данных БП.

Установлено, что БП древесины у всех видов монотонно снижается в направлении от основания ствола к вершине. Наименьшими значениями БП древесины характеризуется пихта сибирская, а наибольшими – лиственница Сукачева и береза повислая.

БП коры монотонно возрастает от основания ствола к вершине, что связано с большой долей корки в нижней части и с отсутствием ее в верхней части ствола. Наибольшей БП коры обладает кедр сибирский и наименьшей – сосна обыкновенная.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- Исаева Л. Н. Метод расчета локальной и средней плотности абсолютно сухой древесины в стволах сосны и лиственницы // Лесоведение. 1978. № 4. С. 90–94.
- Леонтьев Н. Л. Техника статистических вычислений. М. : Лесная промышленность, 1966. 250 с.
- Мелехов В. И., Бабич Н. А., Корчагов С. А. Качество древесины сосны в культурах. Архангельск : АГТУ, 2003. 110 с.
- Мельник П. Г., Тишков А. С., Аксенов П. А. Продуктивность и качество древесины климатипов ели в условиях Подмосковья // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2020. Т. 24, № 3. С. 66–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-66-73.
- Молчанов А. А. Научные основы ведения хозяйства в дубравах лесостепи. М. : Наука, 1964. 255 с.
- Полубояринов О. И. Плотность древесины. М. : Лесная промышленность, 1976. 160 с.
- Полубояринов О. И. Лесохозяйственное значение плотности выращиваемой древесины // Лесное хозяйство. 1980. № 12. С. 20–22.
- Усольцев В. А. Оценка формы и полндревесности стволов с использованием множественных связей // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 1984. № 7. С. 75–79.
- Усольцев В. А., Цепордей И. С. Географические закономерности изменения базисной плотности древесины и коры лесообразующих пород Евразии // Сибирский лесной журнал. 2022. № 3. С. 59–68. DOI: 10.15372/SJFS20220307.
- Усольцев В. А., Цепордей И. С. Квалиметрия фитомассы лесных деревьев. Методы неразрушающего контроля, база данных и ее приложения : моногра-

фия. Уральский государственный лесотехнический университет; Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. 182 с. ISBN 978-5-94984-891-3 (<https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12715>).

11. Чернов В. Ю., Шарапов Д., Торопов С. Определение плотности древесины методом измерения сопротивления сверлению. Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2019. 200 с.

12. Ashwath M. N., Sathish B. N., Deepthi Dechamma N. L. et al. Geographic and within tree variation for wood properties in *Acrocarpus fraxinifolius* Wight and Arn. Populations // Journal of Scientific & Industrial Research. 2021. Vol. 80. P. 1049–1055.

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

14. Billard A., Bauer R., Mothe F. et al. Improving aboveground biomass estimates by taking into account density variations between tree components // Annals of Forest Science. 2020. Vol. 77. Article 103.

15. Bouslimi B., Koubaa A., Bergeron Y. Regional, site, and tree variations of wood density and growth in *Thuja occidentalis* L. in the Quebec forest // Forests. 2022. Vol. 13. Article 1984. <https://doi.org/10.3390/f13121984>.

16. Chave J., Andalo C., Brown S. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests // Oecologia. 2005. Vol. 145. P. 87–99. DOI 10.1007/s00442-005-0100-x.

17. Chowdhury Q., Sarker S. K., Ali B. et al. Accounting intra-tree radial wood density variation provides more accurate above ground mangrove biomass estimation in the Sundarbans // European Journal of Forest Research. 2024. (in press) <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3505676/v1>.

18. Dobrowolska E., Wroniszewska P., Jankowska A. Density distribution in wood of European birch (*Betula pendula* Roth.) // Forests. 2020. Vol. 11. Article 445. <http://dx.doi.org/10.3390/f11040445>.

19. Fedyukov V. I., Musikhina L. A., Chernova M. S. et al. A non-destructive prediction method for the wood density variations of silver birch trees growing in the Middle Volga region, Russia // South-East European forestry. 2020. Vol. 11, No 1. P. 85–90. DOI: <https://doi.org/10.15177/see-for.20-09>.

20. Giroud G., Schneider R., Fournier R. A. et al. Modeling black spruce wood fiber attributes with terrestrial laser scanning // Canadian Journal of Forest Research. 2019. Vol. 49, № 6. P. 661–669.

21. Giagli K., Vavrčík H., Fajstavr M. et al. Stand factors affecting the wood density of naturally regenerated young silver birch growing at the lower altitude of the Czech Republic region // Wood Research. 2019. Vol. 64, № 6. P. 1011–1022.

22. King D. A., Davies S. J., Tan S. et al. The role of wood density and stem support costs in the growth and mortality of tropical trees // Journal of Ecology. 2006. Vol. 94 (3). P. 670–680.

23. McLean P. Wood properties and uses of Scots pine in Britain. Forestry Commission Research Report. Forestry Commission, Edinburgh, 2019. 36 p.

24. Njana M. A., Meilby H., Eid T. et al. Importance of tree basic density in biomass estimation and associated uncertainties: a case of three mangrove species in Tanzania // Annals of Forest Science. 2016. Vol. 73. P. 1073–1087. DOI 10.1007/s13595-016-0583-0.

25. Usoltsev V. A. Stem taper, density and dry matter content in biomass of trees growing in Central Eurasia: CD-monograph. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020. Available at: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9649>.

26. Virgulino-Júnior P. C. C., Gardunho D. C. L., Silva D. N. C. et al. Wood density in mangrove forests on the Brazilian Amazon coast // Trees. 2020. Vol. 34. P. 51–60. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01896-5>.

REFERENCES

1. Isayeva L. N. Metod rascheta lokal'noy i sredney plotnosti absolyutno sukhoy drevesiny v stvolakh sosny i listvennitsy // Lesovedeniye. 1978. № 4. S. 90–94.

2. Leont'yev N. L. Tekhnika statisticheskikh vychisleniy. M. : Lesnaya promyshlennost', 1966. 250 s.

3. Melekhov V. I., Babich N. A., Korchagov S. A. Kachestvo drevesiny sosny v kul'turakh. Arkhangel'sk : AGTU, 2003. 110 s.

4. Mel'nik P. G., Tishkov A. S., Aksenov P. A. Produktivnost' i kachestvo drevesiny klimatipov yeli v usloviyakh Podmoskov'ya // Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin. 2020. T. 24, № 3. S. 66–73. DOI:10.18698/2542-1468-2020-3-66-73.

5. Molchanov A. A. Nauchn-yye osnovy vedeniya khozyaystva v dubravakh lesostepi. M. : Nauka, 1964. 255 s.

6. Poluboyarinov O. I. Plotnost' drevesiny. M. : Lesnaya promyshlennost', 1976. 160 s.

7. Poluboyarinov O. I. Lesokhozyaystvennoye znachenie plotnosti vyrashchivayemoy drevesiny // Lesnoye khozyaystvo. 1980. № 12. S. 20–22.

8. Usoltsev V. A. Otsenka formy i polnodrevesnosti stvolov s ispol'zovaniyem mnozhestvennykh svyazey // Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki Kazakhstana. 1984. № 7. S. 75–79.

9. Usoltsev V. A., Tsepordey I. S. Geograficheskiye zakonomernosti izmeneniya bazisnoy plotnosti drevesiny i kory lesoobrazuyushchikh porod Yevrazii // Sibirskiy lesnoy zhurnal. 2022. № 3. S. 59–68. DOI: 10.15372/SJFS20220307.

10. Usoltsev V. A., Tsepordey I. S. Kvalimetriya fitomassy lesnykh derev'yev. Metody nerazrushayushchego kontrolya, baza dannykh i yeye prilozheniya : monografiya. Ural'skiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskiy universitet; Botanicheskiy sad Ural'skogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk. Yekaterinburg : UGLTU, 2023. 182 s. ISBN 978-5-94984-891-3 (<https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12715>).

11. Chernov V. Yu., Sharapov D., Toropov S. Opredeleniye plotnosti drevesiny metodom izmereniya soprotivleniya sverleniyu. Yoshkar-Ola : Povolzhskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet, 2019. 200 s.

12. Ashwath M. N., Sathish B. N., Deepthi Dechamma N. L. et al. Geographic and within tree variation for wood properties in *Acrocarpus fraxinifolius* Wight and

Arn. Populations // Journal of Scientific & Industrial Research. 2021. Vol. 80. P. 1049–1055.

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

14. Billard A., Bauer R., Mothe F. et al. Improving aboveground biomass estimates by taking into account density variations between tree components // Annals of Forest Science. 2020. Vol. 77. Article 103.

15. Bouslimi B., Koubaa A., Bergeron Y. Regional, site, and tree variations of wood density and growth in *Thuja occidentalis* L. in the Quebec forest // Forests. 2022. Vol. 13. Article 1984. <https://doi.org/10.3390/f13121984>.

16. Chave J., Andalo C., Brown S. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests // Oecologia. 2005. Vol. 145. P. 87–99. DOI 10.1007/s00442-005-0100-x.

17. Chowdhury Q., Sarker S. K., Ali B. et al. Accounting intra-tree radial wood density variation provides more accurate above ground mangrove biomass estimation in the Sundarbans // European Journal of Forest Research. 2024. (in press) <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3505676/v1>.

18. Dobrowolska E., Wroniszewska P., Jankowska A. Density distribution in wood of European birch (*Betula pendula* Roth.) // Forests. 2020. Vol. 11. Article 445. <http://dx.doi.org/10.3390/f11040445>.

19. Fedukov V. I., Musikhina L. A., Chernova M. S. et al. A non-destructive prediction method for the wood density variations of silver birch trees growing in the Middle Volga region, Russia // South-East European forestry. 2020. Vol. 11, No 1. P. 85–90. DOI: <https://doi.org/10.15177/seefor.20-09>.

20. Giroud G., Schneider R., Fournier R. A. et al. Modeling black spruce wood fiber attributes with terrestrial laser scanning // Canadian Journal of Forest Research. 2019. Vol. 49, № 6. P. 661–669.

21. Giagli K., Vavrčik H., Fajstavr M. et al. Stand factors affecting the wood density of naturally regenerated young silver birch growing at the lower altitude of the Czech Republic region // Wood Research. 2019. Vol. 64, № 6. P. 1011–1022.

22. King D. A., Davies S. J., Tan S. et al. The role of wood density and stem support costs in the growth and mortality of tropical trees // Journal of Ecology. 2006. Vol. 94 (3). P. 670–680.

23. McLean P. Wood properties and uses of Scots pine in Britain. Forestry Commission Research Report. Forestry Commission, Edinburgh, 2019. 36 p.

24. Njana M. A., Meilby H., Eid T. et al. Importance of tree basic density in biomass estimation and associated uncertainties: a case of three mangrove species in Tanzania // Annals of Forest Science. 2016. Vol. 73. P. 1073–1087. DOI 10.1007/s13595-016-0583-0.

25. Usoltsev V. A. Stem taper, density and dry matter content in biomass of trees growing in Central Eurasia : CD-monograph. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020. Available at: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9649>.

26. Virgulino-Júnior P. C. C., Gardunho D. C. L., Silva D. N. C. et al. Wood density in mangrove forests on the Brazilian Amazon coast // Trees. 2020. Vol. 34. P. 51–60. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01896-5>.

© Плюха Н. И., Усольцев В. А.,
Ангальт Е. М., 2024

Поступила в редакцию 10.04.2024
Принята к печати 22.07.2024

ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЛАНДШАФТОВ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ

В. А. Безруких¹, Е. В. Авдеева², П. Г. Колесников², Н. А. Лигаева³, О. А. Кузнецова³

¹Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева
Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, ул. А. Лебедевой, 89

²Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

³Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660099, г. Красноярск, просп. Свободный, 79

В статье представлены результаты комплексной оценки земельных ресурсов западной части территории Красноярского края (Причулымье). Дана характеристика земельного фонда, урожайности, свойств почв их морфологические и химические свойства в зависимости от ландшафтных особенностей территории. Природно-климатические условия отличаются разнообразием, что связано с особенностями географического положения на стыке различных природных зон от тайги, подтайги до островных лесостепей и степей. Исследуемая территория характеризуется значительным разнообразием рельефа и располагается в трех физико-географических странах: большая часть Средне-Сибирского плоскогорья, восточная часть Западно-Сибирской низменности и предгорья Алтае-Саянской горной страны. Дается оценка почвенно-растительного покрова в зависимости от географического положения и влияния его на урожайность и хозяйственную деятельность людей. Для каждой почвенной зоны характерна комплексность и пестрота почечного покрова, что связано со сложным сочетанием факторов почвообразования. Общими чертами условий почвообразования являются: укороченный период активного биогеохимических процессов; своеобразие термического режима – резкие колебания температуры в течение сезона, года и суток; влияние холодного длительно-сезонно-мерзлого горизонта; своеобразие гидрологического режима, который связан с медленно оттаивающим горизонтом длительной мерзлоты; влияние этого горизонта на динамику питательных веществ в отдельные фазы развития растений. Наиболее плодородными и освоенными в сельскохозяйственном отношении является черноземы. На основании приведенных исследований установлено, что с каждым годом возрастают возможности воздействия человека на почву. Они не ограничиваются только сельскохозяйственным производством, а связано и с расширением площади добычи угля открытым способом, а значит больше будет разрушаться почв и покрываться вскрышными породами. ГРЭС, заводы, фабрики, тысячи автомашин и тракторов выделяют газы, сажу, пыль, которые в той или иной степени влияют на почвенные процессы. Большие площади земель около строительных площадок, вдоль дорог, около полевых станков остаются неиспользованными, подвергаются разрушению. Таким образом, решение проблем, связанных с охраной почв и рациональным их использованием, является весьма актуальной задачей.

Ключевые слова: Западно-Сибирская низменность, Средне-Сибирское плоскогорье, Алтае-Саянская горная страна, продуктивность почвенного покрова, земельные ресурсы, почвообразование, природные зоны, геологическое строение, тайга, подтайга, лесостепь, степь, черноземы, серые лесные почвы.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 4, P. 17–22

SOIL COVER PRODUCTIVITY OF LANDSCAPES OF THE BOREAL ZONE OF THE YENISEI SIBERIA

V. A. Bezrukikh¹, E. V. Avdeeva², P. G. Kolesnikov², N. A. Ligaeva³, O. A. Kuznetsova³

¹Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astaf'yev
89, A. Lebedevoy Str., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

²Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

³Siberian Federal University
79, Svobodny Av., Krasnoyarsk, 660099, Russian Federation

The article presents the results of a comprehensive assessment of land resources in the western part of the Krasnoyarsk Territory (Prichulymye). The characteristics of the land fund, productivity, soil properties, their morphological and chemical properties are given depending on the landscape features of the territory. Natural and climatic conditions are

diverse, which is due to the peculiarities of the geographical location at the junction of various natural zones from taiga, subtaiga to island forest-steppes and steppes. The study area is characterized by a significant diversity of relief and is located in three physical-geographical countries: most of the Central Siberian Plateau, the eastern part of the West Siberian Lowland and the foothills of the Altai-Sayan mountainous country. An assessment of soil and vegetation cover is given depending on the geographical location and its influence on the productivity and economic activities of people. Each soil zone is characterized by the complexity and diversity of the bud cover, which is associated with a complex combination of soil formation factors. The general features of soil formation conditions are: a shortened period of active biogeochemical processes; the uniqueness of the thermal regime – sharp fluctuations in temperature throughout the season, year and day; the influence of a cold, long-seasonally frozen horizon; the uniqueness of the hydrological regime, which is associated with the slowly thawing permafrost horizon; the influence of this horizon on the dynamics of nutrients in individual phases of plant development. The most fertile and agriculturally developed are chernozems. Based on the above studies, it has been established that the possibilities of human impact on the soil are increasing every year. They are not limited only to agricultural production, but are also associated with the expansion of the area of open-pit coal mining, which means more soil will be destroyed and covered with overburden. State district power plants, plants, factories, thousands of cars and tractors emit gases, soot, dust, which to one degree or another affect soil processes. Large areas of land near construction sites, along roads, near field camps remain unused and are subject to destruction. Thus, solving problems related to soil protection and their rational use is a very urgent task.

Keywords: West Siberian Lowland, Central Siberian Plateau, Altai-Sayan mountainous country, soil productivity, land resources, soil formation, natural zones, geological structure, taiga, subtaiga, forest-steppe, steppe, chernozems, gray forest soils.

Земли сельскохозяйственного фонда бореальной зоны при Приенисейской Сибири в основном сосредоточены в лесостепной и степной зонах и приурочены к равнинным территориям котловин (Ачинско-Боготольской, Назаровской, Красноярской, Канско-Рыбинской и Минусинской), почвенно-климатические условия которых, благоприятны для развития многоотраслевого сельского хозяйства. Земли сельскохозяйственных предприятий и организаций составляет 10278 тыс. га, что составляет 4,5 % от ПФ и 4,4 % ЗФ, в том числе сельскохозяйственные угодья (5498 тыс. га, 2,5 и 2,3%), пашня 3264 га (1,5 % ПФ и 1,4 % ЗФ), что намного меньше среднего по России [2].

Природные условия территорий отличаются разнообразием, что является результатом особенностей географического положения на стыке различных природных зон, от подтайги до островных лесостепей и степей. К условиям почвообразования относятся геологическое строение, рельеф, климат, воды, растительный и животный мир, а также хозяйственная деятельность человека.

В современных чертах рельефа Красноярского края отражена история длительного и сложного геологического развития этой обширной территории. В зависимости от характера и интенсивности тектонических движений здесь возникли различные соотношения суши и моря, областей тектонических поднятий и опусканий. При этом области поднятий являлись, как правило, ареной интенсивной денудации, а смежные с ними области опусканий – вместилищами мощной аккумуляции морских осадков и континентальных накоплений [8].

Исследуемая территория характеризуется большим разнообразием рельефа и располагается в трех физико-географических странах: Западной Сибири низменной, Средней Сибири плоскогорной и Алтае-Саянской горной странах. На юге края выделяются несколько эрозионно-денудационных уровней: первый 470–600 м, второй 380–470 м, третий 290–380 м и четвертый 240–270 м. Например, в долине р. Чулым севернее хр. Арга установлено восемь террас: 5–7, 8–12, 15–17, 20–22, 29–34, 43–48, 61–65 и 80–84 м,

а южнее хребта – четыре: 6–12, 15–20, 30–40 50–60 метров [7]. Микрорельеф представлен в основном буграми, западинами, ложбинами, которые оказывают влияние на перераспределение тепла и влаги. В микрорепонижениях в зимний период больше накапливается снега, и почва промерзает на меньшую глубину. В летнее время в них почвы больше увлажнены и меньше прогреваются. Разнообразные почвообразующие породы по происхождению и составу объединяются в следующие группы [4]:

- элювиальные и элювиально-делювиальные породы различных магматических, осадочных и метаморфических пород;
- делювиальные продукты различных пород, преимущественно красноцветные, красно-бурые и желто-бурые глины и суглинки;
- лессовидные суглинки и супеси;
- речные озерно-речные пески и супеси, переотложенные ветром;
- аллювиальные отложения современных долин.

Характерной особенностью влияния климата на почвообразовательные процессы является глубокое промерзание почв и формирование горизонта длительной сезонной мерзлоты, который оказывает большое влияние на водные, воздушные, термические и биохимические процессы. Мерзлый горизонт практически водонепроницаем. По мере оттаивания образуется холодный избыточно увлажненный горизонт, для которого характерны восстановительные процессы и оглеение. Влага мерзлого горизонта плохо усваивается растениями, корни распространены в верхней части почвы и тем самым имеют ограниченную мощность использования питательных веществ. Для территории распространения черноземов характерны растительные группировки степей и остепененных лугов с колками. Это наиболее обжитая часть территории, природа которой сильно изменена деятельностью человека. Некоторые данные об изменении растительного покрова под влиянием выпаса на черноземах Ужурской и Ачинско-Боготольской лесостепей представлены в таблице.

Изменение растительного покрова под влиянием выпаса скота

Растительные типы и ассоциации	Использование	Урожайность ц/га сухой массы
Ужурская лесостепь		
Злаково-ковыльная степь	Интенсивный выпас	15–25
Разнотравно-тырсово-типчаковая степь	Интенсивный выпас	12–20
Мелкодерново-злаковая степь	Интенсивный выпас	10–18
Тонконоговая и типчаковая степь	Интенсивный выпас	8–15
Осочковая степь	Интенсивный выпас	6–8
Ачинско-Боготольская лесостепь		
Разнотравный березовый лес	Сплошная вырубка	15–20
Кустарниково-вейниковый лесной луг	Умеренный выпас	23–30
Разнотравный остепненный лесной луг	Умеренный выпас	25–30
Остепненный разнотравно-простреловый луг	Интенсивный выпас	12–20

В центральных и южных районах Красноярского края почвообразование идет в двух почвенно-биоклиматических поясах: бореальном и суббореальном. В бореальном поясе южной тайги и подтайги распространены подзолистые, дерново-подзолистые, дерново-таежные, дерново-карботанные, подзолы и буро-таежные (районы: Большеулуйский, Тюхтетский, Бирилюсский, Большемурутинский, Сухобузимский, Дзержинский, Тасеевский, Иланский), а в суббореальном поясе лесостепной и степной зонах – серые лесные, темно-серые лесные, оподзоленные, выщелоченные и типичные черноземы (районы: Ачинский, Назаровский, Шарыповский, Ужурский, Козульский, Балахтинский, Новоселовский, Минусинский, Емельяновский, Березовский, Уярский, Канский), в горно-таежной зоне – дерново-подзолистые, дерново-таежные, серые лесные, дерново-карбонатные почвы (районы: Каратузский, Краснотуранский, Идринский, Партизанский, Манский, Саянский, Ирбейский, Курагинский, Ермаковский, Шушенский) [3].

Для каждой почвенной зоны характерна комплексность и пестрота почечного покрова, что связано со сложным сочетанием факторов почвообразования. Общими чертами условий почвообразования являются: укороченный период активных биогеохимических процессов; своеобразие термического режима – резкие колебания температуры в течение сезона, года и суток; влияние холодного длительно-сезонно-мерзлого горизонта; своеобразие гидрологического режима, который связан с медленно оттаивающим горизонтом длительной мерзлоты; влияние этого горизонта на динамику питательных веществ в отдельные фазы развития растений. Наиболее плодородными и освоенными в сельскохозяйственном отношении является черноземы.

Оподзоленный чернозем распространен преимущественно в Ачинско-Боготольской лесостепи, где занимает переходную полосу от выщелоченных черноземов к серым лесным почвам. На их долю приходится около 4 % площади черноземов. Они встречаются среди выщелоченных черноземов, занимая склоны северных экспозиций, а также среди темно-

серых лесных почв, где покрывают южные склоны. Мощность перегнойного горизонта 40–55 см. При этом горизонт А (20–30 см) темно окрашен, зернистой или комковато-зернистой структуры, которая в нижней части горизонта часто имеет кремнеземистую присыпку. Переход к горизонту В постепенный. Горизонт В имеет хорошо выраженную ореховатую структуру, переходящую в нижней части в ореховато-призматическую. Обычно поверхности структурных агрегатов покрыты коричневато-бурым налетом полуторных окислов железа, отражающих иллювиальность. По механическому составу оподзоленные черноземы тяжело-суглинистые и глинистые.

Химические анализы показывают высокий процент гумуса и емкость поглощения (49–69 мг/акв.) в почвах, но питательные вещества в оподзоленных черноземах содержатся в трудно растворимом состоянии. По данным [6] на слабокислую вытяжку приходится всего 4–7 % от общего количества фосфора и 80 % – на органические фосфаты. Такое состояние связывается, прежде всего, с относительно неблагоприятными термическими условиями, которые не стимулируют микробиологические процессы. Поэтому при сельскохозяйственном использовании этих почв необходимо учитывать их положение по рельефу. Замечено, что озимые по ложбинам и нижним частям склонов, как правило, выпревают, а яровые дают много соломы и низкое качество зерна. При использовании этих почв с высоким потенциальным плодородием необходимо обращать внимание на улучшение их гидротермического режима, внесение гранулированного суперфосфата, а также заражение семян фосфобактерином.

Выщелоченные черноземы – типичные и наиболее распространенные почвы лесостепи. Ими покрыто более 80 % изучаемой площади. В южной части территории эти почвы встречаются среди обыкновенных черноземов, занимая вершины и северные облесенные склоны высоких увалов или микропонижения.

В Назаровской котловине выщелоченные черноземы создают общий фон почвенного покрова, в котором пятнами встречаются оподзоленные черноземы, серые лесные и луговые почвы. Они развиваются на

делювиальных, делювиально-пролювиальных или лессовидных суглинках. Среди морфологических признаков общими характерными являются: интенсивно-черная окраска гумусового горизонта, постепенный переход горизонта А в горизонт В; заметно выделяющийся переходный горизонт В-С с признаками иллювиальности (вымывость полутонких окислов, ореховатая структура, отсутствие карбонатов в гумусовом горизонте). Вскипание с кислотой HCl начинается на глубине 100 см. Средняя мощность гумусового горизонта 45–55 см. Эти почвы часто имеют карманистый профиль и поэтому перегнойный горизонт местами опускается до 150–200 см и поднимается до 19–25 см.

По механическому составу черноземы различны, но подавляющее большинство их тяжелосуглинистые и глинистые. Структура обычно хорошо выражена, у черноземов на тяжелых суглинках и глинах она зернистая, а на лессовидных суглинках – комковатая [2]. Химические анализы выщелоченных черноземов показывают высокий запас питательных веществ, слабокислую реакцию почвенного раствора и высокую емкость поглощения. Но в них, как правило, малая подвижность фосфора и большая подвижность азота. Такое соотношение подвижных форм азота и фосфора благоприятствует развитию вегетативной массы (соломы), удлиняет период вегетации и вызывает полегание хлебов. Поэтому для получения устойчивых урожаев высокого качества необходимы мероприятия по регулированию водно-термического и питательного режима почв. Сезонная мерзлота в выщелоченных черноземах сохраняется на глубине от 120 до 200 см до конца июля, а скорость промерзания и оттаивания почти одинаковая.

Поверхностный характер распространения корней над сезонно-мерзлой толщей, связано с недостатком влаги. Промерзание имеет положительное значение, так как мерзлый горизонт создает условия непромывного типа водного режима и служит дополнительным источником влаги для растений при пленочно-капиллярном подтягивании ее кверху [5]. Чтобы полностью использовать возможности выщелоченных черноземов, необходимо провести ряд опытных (полевых и лабораторных) исследований по вопросам динамики гидротермических, биохимических режимов этих почв и как все это отражается на развитии растений, в качестве продукции.

В пределах Чулымо-Енисейской котловины и в южной части Назаровской широко распространены обыкновенные черноземы. Они покрывают различные элементы рельефа – водоразделы и склоны, холмы и ложбины, и различаются по мощности гумусового горизонта, по содержанию перегноя. Большое влияние на структуру и ее прочность оказывает механический состав почвообразующих пород: так на тяжелых делювиальных суглинках почвы имеют прочную комковатую структуру, а на лессовидных суглинках формируются с непрочной комковато-пылеватой структурой. Выделяется несколько разновидностей обыкновенных черноземов. Наиболее распространенными являются среднегумусные комковато-зернистые, покрывающие пологие склоны возвышенностей, нижние

части склонов предгорий тяжелых, делювиальных суглинках. Структура прочная зернистая и зернисто-комковатая. Мощность гумусового горизонта от 40 до 50 см. Окраска изменяется и переходит в бурый цвет в горизонте В₂ [6]. Вскипание с кислотой начинается обычно с глубины горизонта В₂ (35–45 см), но иногда горизонт вскипания располагается ниже гумусового, с разрывом 10–12 см. Карбонатные новообразования, как правило, представлены в виде мелких прожилок и лжегребней. По механическому составу большая часть этих почв глинистая и тяжелосуглинистая. Они обладают большой гигроскопичностью, общей свжажностью и влагоемкостью.

Обыкновенные черноземы содержат высокий процент гумуса (7–10 %), богаты валовым азотом и фосфором, обладают высокой емкостью поглощения. Хорошо выраженная структура обычно быстро разрушается при обработке. Особенно это относится к комковатым разновидностям, развивающимся на лессовидных суглинках. Средне-гумусовые среднемощные обыкновенные черноземы обладают более высоким эффективным плодородием, чем выщелоченные и оподзоленные черноземы, но лимитируют урожай недостатком влаги. Поэтому среди агрономических мероприятий на этих почвах должна важное место занимать борьба за влагу, а также противоэрозионные мероприятия. Среди других разновидностей обыкновенных черноземов, тучные среднемощные черноземы встречаются в пониженных элементах рельефа предгорий Кузнецкого Алатау и в предсолонской части Ужурского района. Эти почвы содержат много гумуса (более 12 %), азота (0,74 %) и фосфора (0,25 %), но обладают менее благоприятными водно-термическими условиями по сравнению со среднегумусными, на них затягивается период вегетации, растения полегают и попадают под осенние заморозки.

Обыкновенные черноземы маломощные среднегумусные комковато-зернистые покрывают плосковершинные холмы, а также пологие склоны восточной и западной экспозиции в южной части Ужурского района. У этих черноземов мощность горизонта А 12–15 см, а общая мощность гумусового горизонта превышает 30 см. Эти почвы имеют менее благоприятные водно-термические условия, так как зимой снег сдувается, почва глубоко промерзает и трескается. На юге Ужурского и Новоселовского районов по склонам на аллювиально-делювиальных отложениях встречаются малогумусные среднемощные комковатые обыкновенные черноземы. Эти почвы имеют непрочную структуру и обладают плохими водными свойствами. По южным склонам и по вершинам сопков, холмов встречаются пятна обыкновенного чернозема малогумусных и маломощных, которые используются исключительно под пастбище.

Южные черноземы встречаются в южной части Назаровской котловины, но большая часть их приурочена к Чулымо-Балахтинской котловине. Ими занято не больше 0,5% от общей части черноземов. Они имеют буроватую окраску гумусового горизонта, непрочную структуру, небольшое содержание перегноя. По механическому составу среди южных черноземов преобладают средне суглинистые. Залегают они

обычно по склонам, непригодным для земледелия, а при их использовании, наблюдается быстрое их распыление, дефляция и водная эрозия.

На свойства почв оказывают влияние как отдельные мероприятия, так и весь комплекс агрономических мер системы земледелия. Интересна сводка об изменении плодородия черноземов при их окультуривании. По данным Рудого Н. Г. урожайность зерновых культур на почвах сортоучастков, где вносились навоз и минеральные удобрения, в 1,5–2,0 раза выше, чем на аналогичных почвах в рядом находящихся хозяйствах с обычной агротехникой.

Рост урожая следует объяснить, наряду с организационными причинами, также повышением плодородия почв сортоучастков. За период существования государственных сортовых участков в почве увеличилось содержание гумуса на 0,2–0,97 от веса почв, а на почвах с бессменной монокультурой зерновых в пахотном слое произошло снижение содержания гумуса на 1,15–0,57 % от веса почвы. Эта разница объясняется в первую очередь тем, что на поля сортоучастников систематически вносился навоз. Удобрения обеспечивали на почвах сортоучастков большой прирост как надземной растительной массы, так и корней.

Накопление перегноя выражается небольшими величинами по сравнению с его общими запасами в почве, но при этом новообразованные гумусовые вещества играют большую роль в почвенных процессах и оказывают стимулирующее влияние на усвоение растениями минеральных питательных веществ. В выщелоченных черноземах и в темно-серых лесных содержание подвижного фосфора возросло в 3–4 раза. Существенному изменению подверглись и физические свойства почвы. Повысился удельный вес наиболее крупных фракций микроагрегатов и уменьшилась фракция пыли. Эти изменения в соотношении отдельных фракций микроагрегатного состава благоприятно отразились на физических свойствах. Таким образом, комплекс агрономических мероприятий (внесение минеральных и органических удобрений, хорошая обработка почв, использование районированных сортов сельскохозяйственных культур в системе севооборотов) повысили урожай на опытных полях, по сравнению с урожаями на аналогичных почвах ОАО и АО, применяющих обычную агротехнику в 1,5–2 раза. При этом устойчивость урожая при улучшении культуры земледелия меньше зависит от погодных условий, повышается эффективность осадков и суммы температур. Имеющиеся агрохимические анализы черноземов показывают на пониженное содержание в них подвижных форм фосфора, по сравнению с аналогичными почвами Красноярской и Канской лесостепей.

На основании опытов Л. П. Антипиной с фосфорными удобрениями на выщелоченных черноземах Боготольского опытного поля выделено по отзывчивости на них яровой пшеницы три группы почв: при содержании в почве P_2O_5 (по Треогу) до 5 мг/100 г – слабая обеспеченность, 5–10 мг/100 г почвы – средняя, и более 100 мг/100 г почвы – хорошая [1]. Установлено, что азотно-калийные удобрения увеличивают урожай зерна только на почвах с относительно

высоким содержанием подвижных фосфатов. Имеющиеся на территории опыты показывают, что в первом минимуме почв лесостепей находится фосфор, на втором – азот. При этом влияние фосфорных удобрений особенно эффективно на почвах бедных этим элементом, а азотные удобрения оправдываются в тех случаях, когда растения обеспечены фосфором.

Большое значение имеет правильное соотношение N/P которое оказывает влияние не только на повышение урожая, но и на качество зерна (белковость, хлебопекарные свойства). Оптимум этого соотношения колеблется в зависимости от многих конкретных причин (от культуры, сорта, предшественника, погодных условий).

Для Сибири большое значение в питании растений имеет горизонт длительный сезонной мерзлоты и заморозки поздне-весенние и ранне-осенние. Обычно по низким температурам понимают температуру почвы на 3–4° выше биологического поля той или иной культуры. Термический режим постоянно изменяется во времени и пространстве – в течение суток и по сезонам, с севера на юг и с поверхности в глубину почвы. Известно, что под влиянием недостатка тепла проростки слабо используют запасные вещества семян. При этом при низких температурах, поступление элементов минерального питания из почвы в проростки наступает только к моменту выхода их на дневную поверхность и происходит замедленно – азота в два-три раза, а фосфора в пять-шесть раз меньше, чем при оптимальных условиях.

Таким образом, холодная почва физиологически бедная питательными веществами с преобладанием азота над фосфором. Растения приспосабливаются тем, что у них значительная масса корней развивается близко к поверхности. Особенно большое влияние оказывают низкие температуры на поглощение и передвижение из корней в надземные органы фосфора и несколько меньше азота, в то время как поглощение серы, кальция и калия мало изменяется или даже несколько увеличивается. Низкие температуры почвы и заморозки, которым подвергается растение в начале вегетации, отрицательно сказываются на количестве и качестве урожая. Одной из важнейших проблем растениеводства в Приенисейской Сибири является изучение влияния длительно-сезонно-мерзлого горизонта почвы и заморозков на минеральное питание и развитие растений.

ВЫВОДЫ

На основании приведенных исследований установлено, что с каждым годом возрастают возможности воздействия человека на почву. Они не ограничиваются только сельскохозяйственным производством, а связано и с расширением площади добычи угля открытым способом, а значит, больше будет разрушаться почв и покрываться вскрышными породами. ГРЭС, заводы, фабрики, тысячи автомашин и тракторов выделяют газы, сажу, пыль, которые в той или иной степени влияют на почвенные процессы. Большие площади земель около строительных площадок, вдоль дорог, около полевых станций остаются неиспользуемыми, подвергаются разрушению. Все это стоит

ряд проблем, связанных с охраной почв и рациональным их использованием.

В южной части территории лес уничтожен на больших площадях и на землях отдельных хозяйств отмечается активная эрозия. Например, в Назаровской котловине в некоторых местах за 5 лет выдуло 12 см пахотного слоя и более 30 га стали непригодными для сельского хозяйства. В настоящее время принимаются меры по борьбе с дефляцией: безотвальная вспашка, оставление стерни, буферные полосы и др. Большое значение придается полезащитным лесным полосам. В Назаровском районе было 431 га лесополос, но содержатся они в плохом состоянии. Их губят животные, заносит землей, давят сорняки.

Черноземы Ачинско-Боготольской лесостепи подвергаются водной эрозии. До сих пор ветровая и водная эрозия систематически не изучалась. Развивающаяся промышленность оказывает большое влияние на компоненты ландшафтов, которые находятся во взаимосвязи и взаимодействии. С каждым годом возрастает добыча угля открытым способом, все больше разрушается почва, и вскрышные породы будут покрывать ее. Поэтому проблема рекультивации земель на этой территории представляет большое народнохозяйственное значение. Остается недостаточно изученным вопрос влияния на растительность (культурную и естественную) горизонта длительной сезонной мерзлоты и заморозков, влияния их на динамику и режим минерального питания растений. Остаются важной проблемой изучение рационального использования минеральных и органических удобрений на различных типах почв (черноземов, серых лесных и др.). Нами указаны только некоторые проблемы. При этом следует иметь в виду, что при изучении любого из вопросов использования почв, необходимо учитывать их разнообразие с присущими им свойствами, составом и строением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Антипина Л. П. Эффективность фосфатных удобрений в связи с содержанием подвижных фосфатов в черноземах лесостепной зоны Красноярского края : канд. дисс. М., 1966. 28 с.
2. Безруких В. А. Территориальная организация аграрного природопользования в условиях Приенисейской Сибири : монография / Краснояр. гос. пед. ун-т В. П. Астафьева. Красноярск, 2008. 204 с.
3. Безруких В. А. Агроприродный потенциал Приенисейской Сибири: оценка и использование : монография / Краснояр. гос. пед. ун-т В. П. Астафьева. Красноярск, 2010. 68 с.
4. Брицина М. П. Рельеф и почвообразующие породы центральной части Красноярского края // Природное районирование центральной части Красноярского края. М. : Наука, 1962. С. 27–47.

5. Вередченко Ю. П. Агрофизическая характеристика почв центральной части Красноярского края. Изд-во АН СССР, 1961. С. 29–75.

6. Градобоев Н. Д. Природные условия и почвенный покров левобережной части Минусинской впадины // Почвы Минусинской впадины. М. : Изд-во АН СССР, 1954. 148 с.

7. Зяткова Л. К., Раковец О. А. Минусинская впадина // Алтай-Саянская горная область. М. : Наука, 1969. 185 с.

8. Средняя Сибирь / ред. колл. И. П. Герасимов. М. : Наука, 1964. 480 с.

9. Рудой Н. Г. Результаты полевых опытов зональной агрохимической лаборатории // Агрохимическая характеристика почв СССР. Средняя Сибирь. М. : Наука, 1971. С. 63–67.

REFERENCES

1. Antipina L. P. Effektivnost' fosfatnykh udobreniy v svyazi s soderzhaniyem podvizhnykh fosfatov v chernozemakh lesostepnoy zony Krasnoyarskogo kraya : kand. diss. M., 1966. 28 s.
2. Bezrukikh V. A. Territoriyaal'naya organizatsiya agrarnogo prirodopol'zovaniya v usloviyakh Priyeniseyskoy Sibiri : Monografiya / Krasnoyar. gos. ped. un-t V. P. Astaf'yeva. Krasnoyarsk, 2008. 204 s.
3. Bezrukikh V. A. Agroprirodnyy potentsial Priyeniseyskoy Sibiri: otsenka i ispol'zovaniye : monografiya / Krasnoyar. gos. ped. un-t V. P. Astaf'yeva. Krasnoyarsk, 2010. 168 s.
4. Britsina M. P. Rel'yef i pochvoobrazuyushchiye porody tsentral'noy chasti Krasnoyarskogo kraya // Prirodnoye rayonirovaniye tsentral'noy chasti Krasnoyarskogo kraya. M. : Nauka, 1962. S. 27–47.
5. Veredchenko Yu. P. Agrofizicheskaya kharakteristika pochv tsentral'noy chasti Krasnoyarskogo kraya. Izd-vo AN SSSR, 1961. S. 29–75.
6. Gradoboyev N. D. Prirodnyye usloviya i pochvennyy pokrov levoberezhnoy chasti Minusinskoy vpadiny // Pochvy Minusinskoy vpadliny. M. : Izd-vo AN SSSR, 1954. 148 s.
7. Zyat'kova L. K., Rakovets O. A. Minusinskaya vpadina // Altaye-Sayanskaya gornaya oblast'. M. : Nauka, 1969. 185 s.
8. Srednyaya Sibir' / red. koll. I. P. Gerasimov. M. : Nauka, 1964. 480 s.
9. Rudoy N. G. Rezul'taty polevykh opytov zonal'noy agrokhimicheskoy laboratorii // Agrokhimicheskaya kharakteristika pochv SSSR. Srednyaya Sibir'. M. : Nauka, 1971. S. 63–67.

© Безруких В. А., Авдеева Е. В., Колесников П. Г., Лигаева Н. А., Кузнецова О. А., 2024

ОБРАЗУЮЩАЯ, ФОРМА И ОБЪЕМ СТВОЛОВ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛИ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ***Н. Н. Дубенок, А. В. Лебедев, В. В. Гостев**

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

Образующая древесного ствола традиционно используется для прогнозирования значений диаметра на любой высоте от коля до вершины. Предсказанные по модели значения диаметров могут применяться для установления таксационных характеристик стволов. Ель является важной лесообразующей породой, поэтому для повышения точности определения объёмных показателей древостоев и их сортиментной структуры требуются работы, направленные на совершенствование существующих нормативов для таксации лесов. В результате полевых работ и по архивным данным получено 21296 измерений диаметра на различной высоте для 1686 деревьев ели, произрастающих в Костромской области. По данным анализа древесных стволов произведена оценка качества применения трёхпараметрической модели образующей с одним уравнением для расчёта показателей формы, полндревесности и объёма древесных стволов в еловых древостоях Костромской области с использованием общепринятых в статистике метрик качества. Установлено, что применение рассматриваемого уравнения образующей для расчёта основных таксационных показателей древесных стволов и их объёмов в еловых древостоях Костромской области будет способствовать увеличению точности лесоучётных работ и повышению рентабельности проведения лесохозяйственных мероприятий. Требуются дальнейшие исследования, направленные на разработку алгоритма внедрения данной модели в механизм сортиментации отдельных стволов и древостоев, формирование новых региональных нормативов для таксации лесов.

Ключевые слова: форма ствола, образующая ствола, объём ствола, регрессионные модели, еловые древостои, Костромская область.

*Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 4, P. 23–32***STEM TAPER, SHAPE AND VOLUME OF SPRUCE TREE TRUNKS
OF THE KOSTROMA OBLAST******N. N. Dubenok, A. V. Lebedev, V. V. Gostev**

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russian Federation
E-mail: v.gostev@rgau-msha.ru

The stem taper is traditionally used to predict diameter values at any height from the butt to the top. The diameter values predicted by the model can also be used to establish taxation characteristics of trunks. Spruce is an important forest-forming species, therefore, to improve the accuracy of determining the volumetric characteristics of forest stands and their wood assortment structure, work is required to improve existing standards for forest taxation. As a result of field work and assortment data, 21296 diameter measurements were obtained at various heights for 1686 spruce trees growing in the Kostroma Oblast. Based on the analysis of tree trunks, the quality of using a three-parameter generatrix model with one equation for calculating indicators of shape, full woodiness and volume of tree trunks in spruce stands of the Kostroma Oblast was assessed using quality metrics generally accepted in statistics. It has been established that the use of the considered generatrix equation for calculating the main taxation indicators of tree trunks and their volumes in spruce stands in the Kostroma Oblast will help to increase the accuracy of forest accounting work and increase the profitability of forestry activities. Further research is required aimed at developing an algorithm for introducing this model into the mechanism for sorting individual trunks and tree stands, and the formation of new regional standards for forest taxation.

Keywords: trunk shape, steam taper, trunk volume, regression models, spruce stands, Kostroma Oblast.

* **Финансирование:** исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-01016, <https://rscf.ru/project/23-76-01016/>.

** **Funding:** This study has been supported by the grants of the Russian Science Foundation, RSF 23-76-01016, <https://rscf.ru/en/project/23-76-01016/>.

ВВЕДЕНИЕ

При проведении таксации насаждений наиболее часто измеряются диаметры на высоте груди и высота отдельных деревьев [1]. Установление таксационного диаметра на высоте 1,3 м не представляет трудностей, в отличие от измерения диаметров на различных высотах по мере продвижения от комля к вершине дерева [2]. Изменение диаметра ствола по его длине представляет собой образующую, уравнение которой является наиболее известной математической моделью сбег [3]. Его применение позволяет интерпретировать древесный ствол как тело вращения, обладающее центральной осью, и предоставляет возможность перехода от объёмной пространственной модели к двухмерной. Использование образующей относится к одному из наиболее широко применяемых способов расчета объема ствола дерева [4]. Уравнения образующей древесного ствола в качестве зависимых переменных, как правило, включают диаметр на высоте 1,3 м (D), высоту дерева (H), а также высоту ствола, для которой прогнозируется значение диаметра (h) [5; 6].

Форма древесного ствола изменяется в зависимости от практики ведения лесного хозяйства и условий окружающей среды, поэтому оценка объема ствола по измерению диаметра на высоте 1,3 м и высоты дерева может приводить к значительным расхождениям [7]. К основным причинам наличия изменчивости формы древесных стволов относится конкуренция между деревьями в насаждении и социальное положение дерева в различных возрастах в процессе индивидуального развития [8]. Изучение формы и полндревесности стволов способствует увеличению точности учёта древесины и выхода сортиментов [9; 10]. Для характеристики формы ствола применяются коэффициенты формы, показателем полндревесности выступает видовое число [11]. Определение этих показателей возможно производить как по стандартной методике, после проведения необходимых измерений, так и расчётным путём с использованием уравнения образующей ствола [12].

Существует необходимость совершенствования моделей объёма через включение дополнительных параметров, отражающих изменение диаметра с высотой [13]. Вычисление объёма древесины методом интегрирования функций образующей стволов позволяет оценивать как объём всего ствола, так и отдельных сортиментов [14–17], производить процедуру сортиментации, не прибегая к классическим таблицам [4]. Модели образующей позволяют установить объём коры и сортиментную структуру стволов любой сбежистости и высоты [18], обеспечивают оптимизацию использования ствола и сокращение объёмов отходов [17].

Ель (*Picea* sp. *L.*) является важной лесообразующей породой как для Костромской области, так и для европейской части России в целом [19], поэтому для повышения точности определения объёмных характеристик древостоев требуются работы, направленные на внедрение моделей образующей древесного ствола в цикл инвентаризации лесных массивов [20]. Цель исследования – оценка точности применения модели образующей с одним уравнением для расчёта показателей формы, полндревесности и объёма древесных стволов в еловых древостоях Костромской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве материалов исследования послужили результаты измерений стволов деревьев ели, произрастающих в Костромской области, относящейся к южнотаёжному району европейской части России. В условиях региона еловые древостои преимущественно сформированы гибридными формами ели (*Picea* × *fennica*) с различной степенью проявления морфологических признаков ели обыкновенной (*P. abies*) и сибирской (*P. obovata*) [21; 22]. По материалам полевых работ и архивным данным получены 21296 измерений для 1686 деревьев ели. На рис. 1 представлен график рассеяния относительной высоты (h / H) по относительному диаметру (d / D) для еловых стволов.

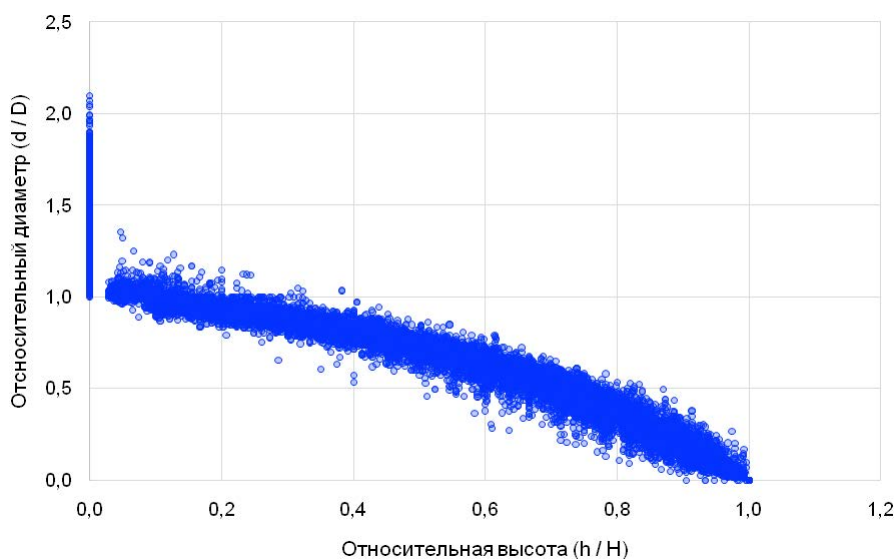


Рис. 1. График рассеяния относительной высоты (h / H) по относительному диаметру (d / D) для еловых стволов

Таблица 1

Описательные статистики таксационных показателей модельных деревьев

	mean	min	max	std	CV
Таксационный диаметр, см	18,9	3,2	44,7	8,5	45,0
Высота, м	19,6	4,1	36,0	6,9	35,3
Возраст, лет	62,3	10,0	126,0	25,1	40,3
Диаметр на высоте 0,00h	26,3	4,0	75,0	13,2	50,3
Диаметр на высоте 0,25h	16,9	3,4	40,0	7,3	43,0
Диаметр на высоте 0,50h	13,6	0,9	30,9	6,0	44,4
Диаметр на высоте 0,75h	8,2	0,7	19,1	3,9	47,0
Коэффициент формы q0	1,4	0,4	2,1	0,2	13,5
Коэффициент формы q1	0,9	0,2	1,2	0,0	4,7
Коэффициент формы q2	0,7	0,1	0,9	0,1	7,8
Коэффициент формы q3	0,4	0,2	0,7	0,1	17,0
Видовое число	0,5	0,2	0,8	0,0	8,9
Объем, м3	0,4	0,0	2,5	0,5	106,3

Примечание: *mean* – средняя арифметическая; *min* – минимальное значение; *max* – максимальное значение; *std* – средне-квадратическое отклонение; *CV* – коэффициент вариации, %.

На основании полевых данных рассчитывались коэффициенты формы, видовые числа и объёмы стволов. Описательная статистика показателей объёма и формы стволов приводится в табл. 1. Диаметры на высоте 1,3 м расположены в диапазоне от 3,2 до 44,7 см, высоты – от 4,1 м до 36,0 м. Возраст обмеренных деревьев от 10 до 126 лет. Коэффициенты формы q_0 – q_3 характеризуются коэффициентом вариации от 4,7 % для q_1 до 17 % для q_2 , для старого видового числа коэффициент вариации составил 8,9 %. Наибольшей изменчивостью из всех

представленных таксационных показателей характеризуется объём ствола с коэффициентом вариации 106,3 %.

Для аппроксимации значений диаметра на любой высоте древесных стволов ели применялась трёхпараметрическое уравнение образующей, разработанное О. Garcia [6], которое показало хорошую согласованность предсказанных значений с фактическими данными для других древесных пород [12] и имеет следующий вид:

$$d_i = \sqrt{D^2 \frac{H - h_i - b_0 + b_0 \exp\left(-\frac{(H - h_i)}{b_0}\right) + b_1 (H - h_i) \exp\left(-\frac{h_i}{b_2}\right)}{H - 1,3 - b_0 + b_0 \exp\left(-\frac{(H - 1,3)}{b_0}\right) + b_1 (H - 1,3) \exp\left(-\frac{1,3}{b_2}\right)}},$$

где d_i – диаметр дерева на высоте h_i , см; D – диаметр дерева на высоте 1,3 м, см; H – высота дерева, м; b – параметры модели.

Параметры модели и соответствие предсказанных значений формы и объёма ствола фактическим данным оценивалось с применением общепринятых критериев: квадратный корень из среднеквадратической ошибки (*RMSE*), средний процент абсолютной ошибки (*MAPE*), средняя абсолютная ошибка (*MAE*), ошибка среднего смещения (*MBE*) и коэффициент детерминации (R^2). Расчёты производились в Microsoft Excel, а также в Python.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате оценивания параметров трёхпараметрического уравнения образующей на данных анализа еловых стволов получены следующие оценки: $b_0 = 2,000$; $b_1 = 0,784$; $b_2 = 0,182$. Все параметры оказались статистически значимы на 5 % уровне. Значения метрик соответствия $RMSE = 1,521$; $MAPE = 10,184$; $MAE = 0,911$; $MBE = -0,071$; $R^2 = 0,975$ указывают на хорошую согласованность рассчитанных по модели значений с фактическими данными.

Анализ графической визуализации остатков рассматриваемой модели (рис. 2) позволяет отметить их независимость и постоянство дисперсии. Большинство точек выстроено вдоль оси абсцисс, что говорит о близости остатков к нулю. Соотношение между фактическими и предсказанными диаметрами ели представлено на рис. 3. Зависимость фактических и полученных значений для уравнения образующей аппроксимируется линией тренда с уравнением $y = 1,01x - 0,0857$, вдоль которой сконцентрирована основная часть точек.

С применением регрессионной модели образующей были рассчитаны значения диаметров на 0 %, 25 %, 50 %, 75 % высоты ствола, коэффициентов формы q_0 – q_3 , видовых чисел и объёма. Метрики соответствия полученных с помощью уравнения значений таксационных показателей фактическим данным представлены в табл. 2. Наибольшая величина *RMSE* соответствует диаметру на нулевом срезе. Наименьшими значениями *RMSE* характеризуются значения таких признаков, как коэффициент формы q_1 , объём и

видовое число. Расхождения (MAPE) от 3,33 до 7,31 % характеризуют признаки диаметр на 25 и 50 % высоты, коэффициенты формы q_1 и q_2 . Такие показатели, как диаметр на 75 % высоты и коэффициент формы q_3 обладают более высоким значением MAPE, которое составляет 14,20 %. Наибольший R^2 отмечен для значений признаков диаметр на 25 % высоты и объем. Минимальная доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью, получена для коэффициентов формы q_0 – q_3 и видового числа, что свидетельствует об отсутствии линейной связи между фактическим и предсказанным значением этих признаков [23].

На рис. 4 приводится зависимость диаметров ствола от таксационного диаметра по относительным высотам (0, 25, 50 и 75 %) для фактических и предсказанных при помощи модели значений. Рассчитанные по модели значения диаметра хорошо согласуются с фактическими данными как для тонких деревьев с небольшим таксационным диаметром, так и для крупномерных. Для диаметров на 0,25 высоты (рис. 4, б) характерно меньшее расхождение, чем на нулевом срезе (рис. 4, а). Значения диаметров на относительной высоте 0,5 (рис. 4, в) задают тренд к увеличению расхождения с фактическими данными, сохраняющийся по мере дальнейшего продвижения к вершине до относительной высоты 0,75 (рис. 4, г). Таким образом, наиболее точно при помощи рассматриваемой модели аппроксимируются диаметры на относительных высотах ствола 0,25 и 0,5. Эта часть ствола наиболее часто относится к деловой древесине и содер-

жит сортименты, относящиеся к крупным и средним, а значит, играет значимую роль в формировании ликвидного запаса древесины.

На рис. 5 представлена зависимость видового числа от высоты ствола. Для данных признаков прослеживается нелинейный характер связи, что не позволяет сопоставлять фактические и предсказанные по модели образующей значения. Для линейаризации существующей зависимости произведено выполнение перехода от видового числа к видовой высоте. Точность определения объема ствола и запаса древостоя в значительной степени зависит от данного показателя [11], поэтому необходимо произвести оценивание качества моделирования видовой высоты с использованием предсказанных рассматриваемым уравнением образующей значений. Зависимость видовой высоты от высоты ствола деревьев ели представлена на рис. 6. О хорошей согласованности фактических и предсказанных значений говорят значения метрик соответствия $RMSE = 1,02$; $MAPE = 7,99$; $MBE = 0,58$; $MAE = 0,81$; $R^2 = 0,943$.

Для практического применения, например, при построении объемных таблиц, важное значение имеет зависимость между видовым числом и диаметром ствола, получившая название видовой диаметр [11; 24]. Зависимость между предсказанными и фактическими значениями данного признака от высоты деревьев ели представлены на рис. 7. Метрики соответствия $RMSE = 0,92$; $MAPE = 7,94$; $MBE = 0,50$; $MAE = 0,74$ и $R^2 = 0,965$ говорят о хорошем качестве моделирования.

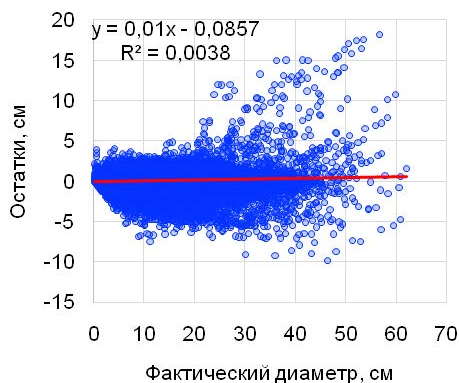


Рис. 2. Зависимость остатков от фактических значений диаметра

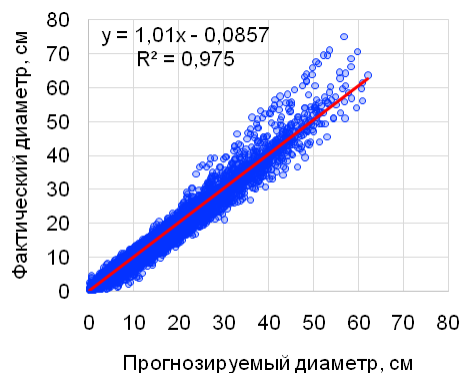


Рис. 3. Зависимость фактических значений диаметра ствола от предсказанных по модели

Таблица 2

Метрики соответствия значений таксационных показателей, рассчитанных по модели, фактическим данным

Показатель	$RMSE$	$MAPE$	MAE	MBE	R^2
Диаметр на 0 % высоты	4,01	13,92	3,02	–0,53	0,920
Диаметр на 25 % высоты	0,78	3,33	0,50	0,26	0,990
Диаметр на 50 % высоты	1,06	7,31	0,84	0,51	0,976
Диаметр на 75 % высоты	1,28	14,20	0,96	–0,09	0,899
Коэффициент формы q_0	0,23	13,92	0,18	–0,08	0,038
Коэффициент формы q_1	0,04	3,33	0,03	0,02	0,228
Коэффициент формы q_2	0,06	7,31	0,05	0,03	0,000
Коэффициент формы q_3	0,07	14,20	0,06	0,00	0,076
Видовое число	0,05	7,99	0,04	0,03	0,106
Объем, m^3	0,04	7,99	0,03	0,02	0,992

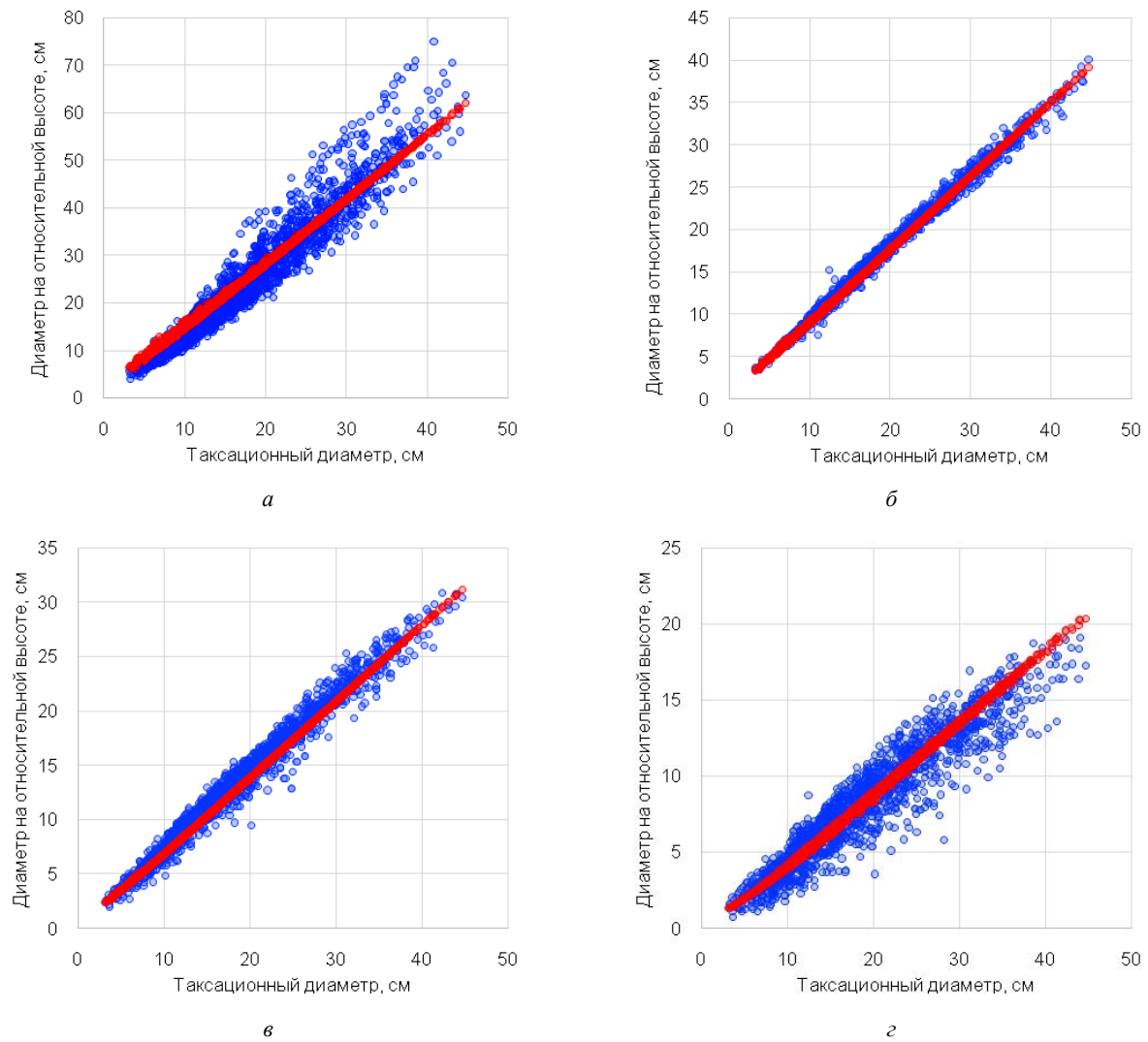


Рис. 4. Зависимость диаметров ствола от таксационного диаметра по относительным высотам
(синие точки – фактические, красные – рассчитанные по модели):
a – 0,0 высоты; *б* – 0,25 высоты; *в* – 0,5 высоты; *г* – 0,75 высоты

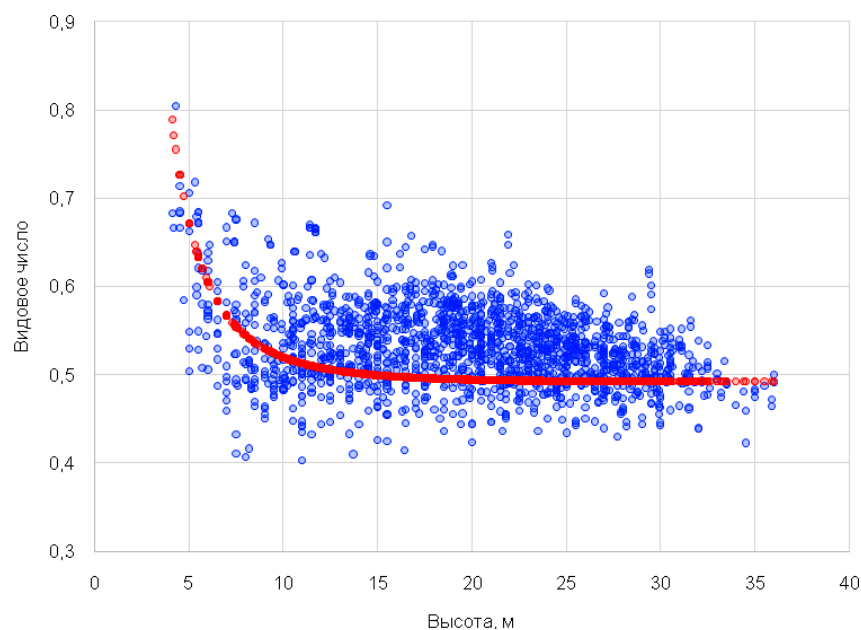


Рис. 5. Зависимость видового числа от высоты ствола ели
(синие точки – фактические, красные – рассчитанные по модели)

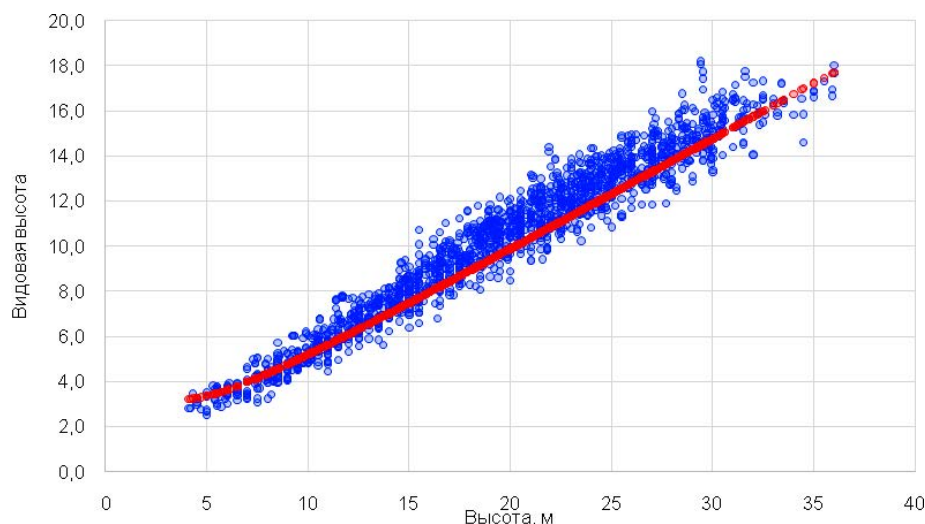


Рис. 6. Зависимость видовой высоты от высоты ствола ели
(синие точки – фактические, красные – рассчитанные по модели)

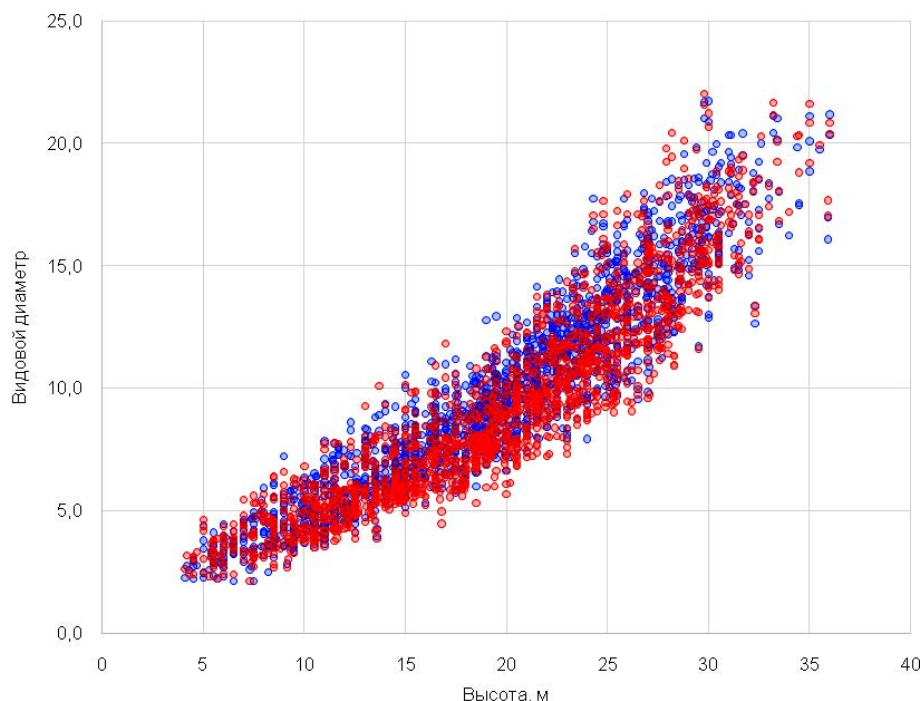


Рис. 7. Зависимость видового диаметра от высоты ствола ели
(синие точки – фактические, красные – рассчитанные по модели)

На рис. 8 приведено соответствие объемов стволов, рассчитанных по модели образующей, фактическим данным. Связь между рассматриваемыми переменными характеризуется линией тренда $y = 1,0045x + 0,0149$, вдоль которой располагается основная масса точек. Рассматриваемое уравнение образующей с достаточной точностью способно аппроксимировать объем стволов ели, что подтверждается долей объясняемой изменчивости объемов, составляющей 99,2 %. Для крупных деревьев при определении объема возникают незначительные расхождения между фактическими и предсказанными значениями, не превышающие 8 %.

С использованием модели образующей древесного ствола была составлена объемная таблица для стволов ели, входом в которую являются диаметр и высота.

Для удобства таблица была условно разделена на три части по классам диаметра на высоте 1,3 м. В первую часть таблицы (табл. 3) вошли стволы с диаметром от 8 до 20 см, во вторую (табл. 4) – диаметром от 24 до 48 см и в третью (табл. 5) – от 52 до 80 см.

Полученные данные были сопоставлены с объемными таблицами, приведенными в справочнике В. В. Загреева и соавт. [25], которые по настоящее время широко применяются для таксации лесов. Расчет метрик соответствия приводится в табл. 6. Анализ метрик показывает, что применение модели будет способствовать увеличению точности определения объемов стволов по двум измерениям (диаметр на 1,3 м и высота) на величину до 5% по сравнению с действующими нормативами.

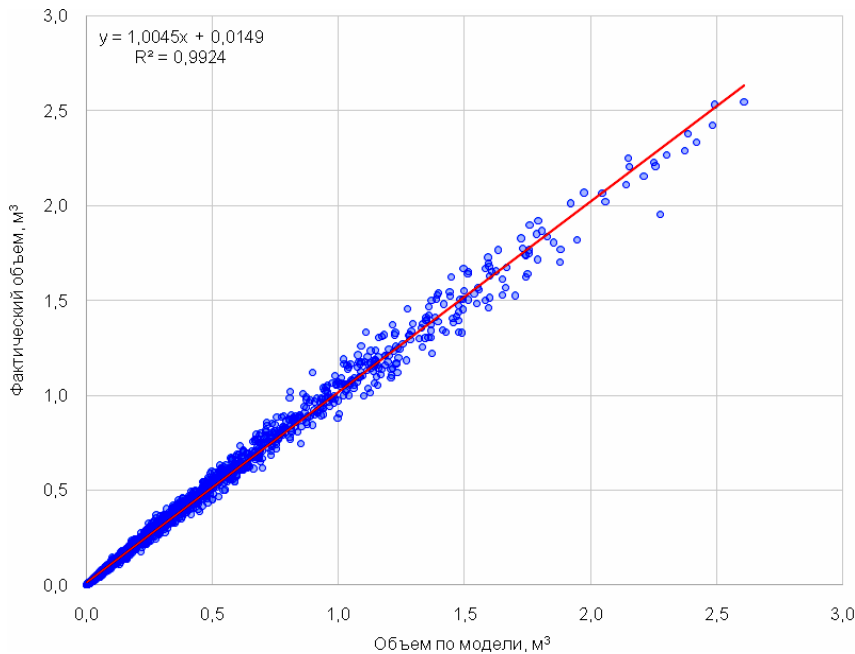


Рис. 8. Соответствие объемов стволов, рассчитанных по модели образующей, фактическим данным

Таблица 3
Объёмы стволов ели по диаметру на высоте 1,3 м (от 8 до 20 см) и высоте

Диаметр на высоте 1,3 м, см	Объём ствола, м ³ , при высоте, м																		
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
8	0,022	0,024	0,026	0,028	0,031	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10	0,034	0,037	0,041	0,044	0,048	0,051	0,055	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
12	—	—	0,059	0,064	0,069	0,074	0,079	0,085	0,090	0,095	—	—	—	—	—	—	—	—	
14	—	—	—	0,087	0,094	0,101	0,108	0,115	0,123	0,130	0,137	0,145	—	—	—	—	—	—	
16	—	—	—	—	—	0,132	0,141	0,151	0,160	0,170	0,179	0,189	0,199	0,209	—	—	—	—	
18	—	—	—	—	—	—	0,179	0,191	0,203	0,215	0,227	0,239	0,252	0,264	0,276	0,289	—	—	
20	—	—	—	—	—	—	—	0,235	0,250	0,265	0,280	0,295	0,311	0,326	0,341	0,356	0,372	0,387	

Таблица 4
Объёмы стволов ели по диаметру на высоте 1,3 м (от 24 до 48 см) и высоте

Диаметр на высоте 1,3 м, см	Объём ствола, м³, при высоте, м																		
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
24	0,382	0,404	0,425	0,447	0,469	0,491	0,513	0,535	0,557	0,579	0,602	—	—	—	—	—	—	—	—
28	—	—	0,579	0,609	0,639	0,669	0,698	0,729	0,759	0,789	0,819	0,849	0,879	0,909	—	—	—	—	—
32	—	—	—	0,795	0,834	0,873	0,912	0,952	0,991	1,030	1,070	1,109	1,148	1,188	1,227	—	—	—	—
36	—	—	—	—	1,056	1,105	1,155	1,204	1,254	1,304	1,354	1,404	1,453	1,503	1,553	1,604	1,654	—	—
40	—	—	—	—	—	1,364	1,425	1,487	1,548	1,610	1,671	1,733	1,794	1,856	1,918	1,980	2,041	2,103	—
44	—	—	—	—	—	—	—	—	1,873	1,948	2,022	2,097	2,171	2,246	2,321	2,395	2,470	2,545	2,620
48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,318	2,406	2,495	2,584	2,673	2,762	2,851	2,940	3,029	3,118

Таблица 5
Объёмы стволов ели по диаметру на высоте 1,3 м (от 52 до 80 см) и высоте

Диаметр на высоте 1,3 м, см	Объём ствола, м³, при высоте, м									
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
52	2,824	2,928	3,033	3,137	3,241	3,346	3,450	3,555	3,659	3,764
56	—	—	3,517	3,638	3,759	3,880	4,001	4,123	4,244	4,365
60	—	—	4,037	4,176	4,315	4,454	4,593	4,733	4,872	5,011
64	—	—	—	—	—	5,068	5,226	5,385	5,543	5,702
68	—	—	—	—	—	5,721	5,900	6,079	6,258	6,436
72	—	—	—	—	—	6,414	6,614	6,815	7,015	7,216
76	—	—	—	—	—	—	—	7,593	7,816	8,040
80	—	—	—	—	—	—	—	—	8,661	8,909

Таблица 6

Метрики соответствия значений объёмов стволов, взятых из таблиц В. В. Загребеева [1992] и рассчитанных по модели

Класс диаметра	RMSE	MAPE	MBE	MAE
8-20	0,091	4,894	-0,074	0,074
24-48	0,243	5,008	-0,233	0,233
52-80	0,005	2,833	0,000	0,003

Уравнение образующей древесного ствола, аппроксимированное по региональным данным, может войти в основу разработки местных лесотаксационных нормативов, применение которых позволит увеличить точность учёта древесины при проведении материально-денежной оценки лесосек и будет способствовать увеличению поступлений в федеральный и региональный бюджеты от использования лесов за счёт привлечения ранее не взимаемых платежей по ставкам платы от арендаторов, использующих леса для заготовки спелой и перестойной древесины, более точному установлению ущерба лесному фонду от проведения незаконных рубок. Помимо повышения доходности ведения лесного хозяйства, увеличение точности расчёта объёмных характеристик еловых древостоев будет иметь значение и для научных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Апробированная на региональных данных модель образующей обеспечивает достаточно точную аппроксимацию значений диаметра на любой высоте и может применяться для расчёта таксационных показателей формы и объёма стволов деревьев ели, произрастающих в Костромской области, с большей точностью, чем при использовании ныне существующих нормативов. Предложенное уравнение может войти в основу моделей сортиментной структуры древостоев и послужить для разработки новых региональных нормативов таксации лесов. Рассмотренная методика позволяет выполнить аналогичные исследования для других древесных пород, лесорастительных районов и уравнений образующей стволов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- Sumida A., Miyaura T., Torii H. Relationships of tree height and diameter at breast height revisited: analyses of stem growth using 20-year data of an even-aged *Chamaecyparis obtusa* stand // *Tree Physiol.* 2013. № 33(1). P. 106–118. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tps127>.
- Predicting the upper stem diameters and volume of a tropical dominant tree species / S. Ulak, K. Ghimire, R. Gautam, S. Bhandari, K. Poudel, Y. Timilsina, D. Pradhan, T. Subedi // *Journal of Forestry Research.* 2022. № 33. P. 1725–1737. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01458-5>.
- Забавская Л. Н., Вайс А. А. Параметры образующей функции “Harris” и форма нижней части деревьев сосны // *Хвойные бореальной зоны.* 2021. Т. 39, № 2. С. 95–101.
- Петровский В. С., Малышев В. В., Мурзинов Ю. В. Моделирование параметров древесных стволов в насаждении // *Лесотехнический журнал.* 2012. № 4(8). С. 18–22.

5. Zapata M., Bullock B., Montes C. A Taper Equation for Loblolly Pine Using Penalized Spline Regression // *Forest Science.* 2021. № 67. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1093/forsci/fxaa037>.

6. Garcia O. Dynamic modelling of tree form // *Mathematical and Computational Forestry and Natural-Resource Sciences.* 2015. № 7. P. 39–15.

7. Re-calibrating stem volume models – is there change in the tree trunk form from the 1970s to the 2010s in Finland? / A. Kangas, H. M. Henttonen, T. P. Pitkänen, S. Sarkkola, J. Heikkinen // *Silva Fennica.* 2020. № 54 (4). Article id 10269. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.10269>.

8. Evaluation of taper functions for diameter estimated of commercial forest species in amazon matogrossense biome / L. R. Lansanova, J. A. Ubiali, J. Arce, A. Pelissari, C. Favalessa, R. Drescher // *Floresta.* 2013. № 43. P. 205–214.

9. Гурский А. А., Гурский А. А. Изучение формы и определение объёмов древесных стволов на основе их математических моделей // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета.* 2004. № 4(4). С. 68–69.

10. Каштальянов П. А., Вайс А. А. Сбег нижней части стволов сосны в условиях Бирюсинского участка лесничества // *Хвойные бореальной зоны.* 2022. Т. 40, № 2. С. 121–127. DOI 10.53374/1993-0135-2022-6-121-127.

11. Уфимцева Е. А., Шевелев С. Л. Закономерности изменения формы стволов подростка сосны в условиях северного склона Восточного Саяна // *Вестник КрасГАУ.* 2014. № 4(91). С. 194–198.

12. Дубенок Н. Н., Лебедев А. В., Гостев В. В. Модель образующей древесного ствола сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в Костромской области // *Лесотехнический журнал.* 2023. Т. 13, № 4.1(52). С. 5–22. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.4/3.

13. Stenman V., Kangas A., Holopainen M. Upper stem diameter and volume prediction strategies in the National Forest Inventory of Finland // *Silva Fennica.* 2023. № 57 (3). DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.23021>.

14. Демаков Ю. П. Ствол дерева как деформированный конус // *Эко-потенциал.* 2014. № 2(6). С. 72–81.

15. Alkan O., Ozelik R. Stem taper equations for diameter and volume predictions of *Abies cilicica* Carr. in the Taurus Mountains, Turkey // *Journal of Mountain Science.* 2020. № 17. P. 3054–3069. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11629-020-6071>.

16. Development of Volume Function for Final Felling of *Pinus brutia* Ten in Kurdistan Iraq / M. H. Sagvan, S. Ibrahim, K. Hakeem, K. Kamziah Abd Kudus // *Environmental Analysis & Ecology Studies.* 2018. № 3. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.31031/EAES.2018.03.000554>.

17. Generalized stem taper and tree volume equations applied to eu-calyptus of varying genetics in Brazil / H. Scolforo, J. McTague, H. Burkhart, J. Roise, R. Carneiro, J. Stape // *Canadian Journal of Forest Research*. 2018. № 49. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0276>.
18. Variable-Exponent Taper Equation Based on Multilevel Nonlinear Mixed Effect for Chinese Fir in China / S. Zhang, J. Sun, A. Duan, J. Zhang // *Forests*. 2021. № 12 (2) P. 126. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12020126>.
19. Дубенок Н. Н., Лебедев А. В., Чистяков С. А. Динамика основных показателей земель лесного фонда Костромской обл. и биосферного резервата «Кологривский лес» // *Лесохозяйственная информация*. 2023. № 3. С. 26–36. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.3.02.
20. Батурин К. В., Стариков А. В. Анализ математических моделей образующих древесных стволов // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2015. Т. 3, № 5-4(16-4). С. 23–26. DOI 10.12737/16198.
21. Морфология шишек и продуктивность ели в Костромской области / Н. В. Рыжова, В. В. Шутов, И. А. Коренев, В. А. Малышев, О. Ю. Лебедев // *Лесоведение*. 2003. № 5. С. 61–64.
22. Лебедев А. В., Гемонов А. В., Селиверстов А. М. Фенотипическая структура и разнообразие популяций ели заповедника «Кологривский лес» // *Природообустройство*. 2022. № 1. С. 109–116. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-1-109-116.
23. Дубенок Н. Н., Лебедев А. В., Гостев В. В. Образующая, форма и объем стволов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в лесах Костромской области // *Научные труды государственного природного заповедника «Кологривский лес» : сборник научных трудов. Кологрив : Государственный природный заповедник «Кологривский лес» им. М. Г. Синицына*, 2023. С. 39–49.
24. Шевелев С. Л., Ефремова М. Н. Особенности объемообразующих показателей в древостоях Красноярско-Ачинско-Канской лесостепи // *Хвойные бореальной зоны*. 2018. Т. 36, № 1. С. 97–101.
25. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В. В. Загреев, В. И. Сухих, А. З. Швиденко, Н. Н. Гусев, А. Г. Мошкалева. М. : Колос, 1992. 495 с.
26. sosny // *Khvoynyye boreal'noy zony*. 2021. Т. 39, № 2. С. 95–101.
27. Petrovskiy V. S., Malyshev V. V., Murzinov Yu. V. Modelirovaniye parametrov drevesnykh stvolov v nasazhdenii // *Lesotekhnicheskii zhurnal*. 2012. № 4(8). С. 18–22.
28. Zapata M., Bullock B., Montes S. A Taper Equation for Loblolly Pine Using Penalized Spline Regression // *Forest Science*. 2021. № 67. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1093/forsci/fxaa037>.
29. Garcia O. Dynamic modelling of tree form // *Mathematical and Computational Forestry and Natural-Resource Sciences*. 2015. № 7. P. Z9–15.
30. Re-calibrating stem volume models – is there change in the tree trunk form from the 1970s to the 2010s in Finland? / A. Kangas, H. M. Henttonen, T. P. Pitkanen, S. Sarkkola, J. Heikkinen // *Silva Fennica*. 2020. № 54 (4). article id 10269. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.10269>.
31. Evaluation of taper functions for diameter estimated of commercial forest species in amazon matogrossense biome / L. R. Lansanova, J. A. Ubialli, J. Arce, A. Pelissari, C. Favalessa, R. Drescher // *Floresta*. 2013. № 43. P. 205–214.
32. Gurskiy A. A., Gurskiy A. A. Izucheniye formy i opredeleniye ob'yemov drevesnykh stvolov na osnove ikh matematicheskikh modeley // *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2004. № 4(4). С. 68–69.
33. Kashtal'yanov P. A., Vays A. A. Sbeg nizhney chasti stvolov sosny v usloviyakh Biryusinskogo uchastkovogo lesnichestva // *Khvoynyye boreal'noy zony*. 2022. Т. 40, № 2. С. 121–127. DOI 10.53374/1993-0135-2022-6-121-127.
34. Ufimtseva Ye. A., Shevelev S. L. Zakonomernosti izmeneniya formy stvolov podrosta sosny v usloviyakh severnogo sklona Vostochnogo Sayana // *Vestnik KraS-GAU*. 2014. № 4(91). С. 194–198.
35. Dubenok N. N., Lebedev A. V., Gostev V. V. Model' obrazuyushchey drevesnogo stvola sosny obyknovennoy (*Pinus sylvestris* L.), proizrastayushchey v Kostromskoy oblasti // *Lesotekhnicheskii zhurnal*. 2023. Т. 13, № 4.1(52). С. 5–22. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.4/3.
36. Upper stem diameter and volume prediction strategies in the National Forest Inventory of Finland / V. Stenman, A. Kangas, M. Holopainen // *Silva Fennica*. 2023. № 57 (3). DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.23021>.
37. Demakov Yu. P. Stvol dereva kak deformirovanny konus // *Eko-potentsial*. 2014. № 2(6). С. 72–81.
38. Alkan O., Ozcelik R. Stem taper equations for diameter and volume predictions of *Abies cilicica* Carr. in the Taurus Mountains, Turkey // *Journal of Mountain Science*. 2020. № 17. P. 3054–3069. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11629-020-6071>.
39. Development of Volume Function for Final Felling of *Pinus brutia* Ten in Kurdistan Iraq / M. H. Sagvan, S. Ibrahim, K. Hakeem, K. Kamziah Abd Kudus // *Environmental Analysis & Ecology Studies*. 2018. № 3. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.31031/EAES.2018.03.000554>.
40. Generalized stem taper and tree volume equations applied to eu-calyptus of varying genetics in Brazil / H. Scolforo, J. McTague, H. Burkhart, J. Roise, R. Carneiro,

REFERENCES

1. Sumida A. Relationships of tree height and diameter at breast height revisited: analyses of stem growth using 20-year data of an even-aged *Chamaecyparis obtusa* stand / A. Sumida, T. Miyaura, H. Torii // *Tree Physiol*. 2013. № 33(1). P. 106–118. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tps127>.
2. Predicting the upper stem diameters and volume of a tropical dominant tree species / S. Ulak, K. Ghimire, R. Gautam, S. Bhandari, K. Poudel, Y. Timilsina, D. Pradhan, T. Subedi // *Journal of Forestry Research*. 2022. № 33. P. 1725–1737. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01458-5>.
3. Zabavskaya L. N., Vays A. A. Parametry obrazuyushchey funktsii "Harris" i forma nizhney chasti derevyev

J. Stape // Canadian Journal of Forest Research. 2018. № 49. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0276>.

18. Variable-Exponent Taper Equation Based on Multilevel Nonlinear Mixed Effect for Chinese Fir in China / S. Zhang, J. Sun, A. Duan, J. Zhang // Forests. 2021. №12 (2). P. 126. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12020126>.

19. Dubenok N. N., Lebedev A. V., Chistyakov S. A. Dinamika osnovnykh pokazateley zemel' lesnogo fonda Kostromskoy obl. i biosfernogo rezervata "Kologrivskiy les" // Lesokhozyaystvennaya informatsiya. 2023. № 3. S. 26–36. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.3.02.

20. Baturin K. V., Starikov A. V. Analiz matematicheskikh modeley obrazuyushchikh drevesnykh stvolov // Aktual'n-yye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. T. 3, № 5-4(16-4). S. 23–26. DOI 10.12737/16198.

21. Morfologiya shishek i produktivnost' yeli v Kostromskoy oblasti / N. V. Ryzhova, V. V. Shutov, I. A. Korenev, V. A. Malyshev, O. Yu. Lebedev // Lesovedeniye. 2003. № 5. S. 61–64.

22. Lebedev A. V., Gemonov A. V., Seliverstov A. M. Fenotipicheskaya struktura i raznoobraziye populyatsiy yeli zapovednika "Kologrivskiy les" // Prirodoobustroystvo. 2022. № 1. S. 109–116. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-1-109-116.

23. Dubenok N. N., Lebedev A. V., Gostev V. V. Obrazuyushchaya, forma i ob'yem stvolov sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris) v lesakh Kostromskoy oblasti // Nauchn-yye trudy gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Kologrivskiy les" : sbornik nauchnykh trudov. Kologriv : Gosudarstvennyy prirodnyy zapovednik "Kologrivskiy les" im. M. G. Sinitsyna, 2023. S. 39–49.

24. Shevelev S. L., Yefremova M. N. Osobennosti ob'yemoobrazuyushchikh pokazateley v drevostoyakh Krasnoyarsko-Achinsko-Kanskoy lesostepi // Khvoynyye boreal'noy zony. 2018. T. 36, № 1. S. 97–101.

25. Obshchesoyuzn-yye normativy dlya taksatsii lesov / V. V. Zagreyev, V. I. Sukhikh, A. Z. Shvidenko, N. N. Gusev, A. G. Moshkalev. M. : Kolos, 1992. 495 s.

© Дубенок Н. Н., Лебедев А. В., Гостев В. В., 2024

Поступила в редакцию 20.12.2023
Принята к печати 22.07.2024

**ИССЛЕДОВАНИЕ СЕМЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ
LARIX SIBIRICA И LARIX GMELINII В СИБИРИ*****А. М. Шемберг, И. Н. Третьякова**

Институт леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук –
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН)
Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок 50/28

Анализ генеративных органов *Larix sibirica* и *Larix gmelinii*, произрастающих в естественных и искусственных насаждениях Сибири, проведенный с целью изучения семенной продуктивности и качества семян лиственниц, представлен в данной работе. Сбор шишек *L. gmelinii*, произрастающей в естественных условиях, производился на северных (Эвенкийский ОЭП) и восточных (г. Бодайбо) границах ареала. В искусственных насаждениях образцы шишек *L. sibirica* и *L. gmelinii* были взяты из дендрария Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН (Красноярск). На основании информации о длине и ширине шишек и количестве семенных чешуй была рассчитана семенная продуктивность генеративных органов лиственниц. Исследование структуры урожая *L. gmelinii* на северной (Эвенкийский ОЭП и восточной границе ареала. (г. Бодайбо) показало, что шишки данного вида формируются более мелкими по сравнению с деревьями из дендрария ($16,07 \pm 0,4$ мм против $19,53 \pm 0,3$ мм). Семенная продуктивность женской шишки *L. sibirica* выше, чем у *L. gmelinii*. Было выявлено, что при достаточно высокой семенной продуктивности женских шишек у видов лиственниц образование полнозернистых семян у *L. sibirica* и *L. gmelinii* чрезвычайно низкое. Большая часть семян повреждается конобионтами. Для сохранения генофонда лиственницы необходимо использовать современные биотехнологии размножения. Одной из таких технологий является биотехнология соматического эмбриогенеза в культуре *in vitro*.

Ключевые слова: лиственница сибирская, лиственница Гмелина, семенная продуктивность, качество семян.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 4, P. 33–37

STUDY OF SEED PRODUCTIVITY OF LARIX SIBIRICA AND LARIX GMELINII IN SIBERIA****A. M. Schemberg, I. N. Tretyakova**

V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS – Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences” – separate division
50/28, Akademgorodok str., 660036, Krasnoyarsk, Russian Federation

The analysis of generative organs of *Larix sibirica* and *Larix gmelinii* growing in natural and artificial plantings of Siberia is presented in this work. The collection of cones of Gmelin larch growing in the natural plantings in the northern (Evenkiysky Field station) and in the eastern (Bodaybo) range boundaries. In artificial plantings, samples of cones of *L. sibirica* and *L. gmelinii* were taken in the arboretum of Sukachev Institute of Forest SB RAS (Krasnoyarsk). Based on information about the length and width of cones and the number of seed scales, the seed productivity of the generative organs of larches was calculated. The study of the structure of the *L. gmelinii* crop on the northern (Evenkiysky Field station) and the eastern border of the area (Bodaybo) showed that cones of this species are formed smaller than trees from the arboretum (16.07 ± 0.4 mm versus 19.53 ± 0.3 mm). The seed productivity of the female cone of *L. sibirica* is higher than that of *L. gmelinii*. It was found that with a sufficiently high seed productivity of female cones in larch species, the formation of full-grain seeds in *L. sibirica* and *L. gmelinii* is extremely low. Most of the seeds are damaged by conobionts. In order to preserve the larch gene pool, it is necessary to use modern reproduction biotechnologies. One of these technologies is the biotechnology of somatic embryogenesis in *in vitro* culture.

Keywords: siberian larch, gmelinii larch, seed productivity, seed quality.

* **Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности в рамках научного проекта № 22-14-20008.

** **Acknowledgements.** This work was supported by financial support from the Russian Foundation for Basic Research, the Government of Krasnoyarsk Territory and the Krasnoyarsk Regional Fund for Support of Scientific and Technical Activities in scientific project № 22-14-20008.

ВВЕДЕНИЕ

Лиственничные леса занимают площадь (по разным оценкам) – от 263 до 278 млн. га, что составляет порядка 35–40 % территории Российской Федерации, отведённой лесам [Макаров и др., 2021]. За формирование лиственничных лесов страны ответственны 7 видов рода *Larix*, 6 из которых произрастают в Сибири и на Дальнем Востоке. К основным лесообразователям относят лиственницу сибирскую (*Larix sibirica*) и лиственницу Гмелина (*Larix gmelinii*) [Абаимов, Коропачинский, 1984; Ирошников, 2004].

Лиственница, как и другие виды хвойных, размножается семенами. Исследования генеративных органов лиственниц проводились Абаимовым, Коропачинским [1984], Макаровым [2010, 2021, 2022], Барченковым и Милютиным [2007а; 2012] и другими. В работе Абаимова и Коропачинского представлено крупномасштабное исследование изменчивости генеративных органов лиственниц Гмелина и Каяндера, в том числе – на северной и восточной частях ареала лиственницы Гмелина [Абаимов, Коропачинский, 1984]. В восточном Забайкалье изучались размеры (длина и ширина шишек), а также форма семенных чешуй [Макаров и др., 2010, Макаров и др., 2022]. Барченковым и, Милютиным [2007б] исследовались особенности изменчивости шишек лиственницы сибирской, произрастающей в северных и южных популяциях Средней Сибири. Подобные исследования проводились также и в Восточной Сибири [Барченков и др., 2012]. Генеративные органы лиственницы сибирской, произрастающей в искусственных насаждениях Красноярска, исследовались Ковылиной и др. [Ковылина и др., 2012; Ковылина и др., 2016].

Для проведения лесокультурных и гибридизационных работ крайне необходимо владеть информаци-

ей о качестве семян лиственницы. За последние годы, в связи с потеплением климата и усиления антропогенной нагрузки, репродуктивный потенциал и качество семян у лиственницы, так же, как и других хвойных видов, значительно снизилось [Третьякова, и др., 2022].

Цель данной работы заключалась в изучении семенной продуктивности и качества семян лиственницы сибирской и лиственнице Гмелина, произрастающих в естественных и искусственных насаждениях Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Генеративные органы лиственницы сибирской и лиственницы Гмелина были собраны в искусственных насаждениях дендрария Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН с середины июля по конец августа 2023 года. Расположение дендрария – лесопарковая зона Академгородка г. Красноярска (55°59' с. ш., 92°45' в. д.). Климат региона – резко континентальный, дендрарий относится к восточносибирскому варианту южно-таёжной подзоны (Квитко, 2010).

Кроме того, проводился сбор шишек лиственницы Гмелина на северной границе ареала в естественных древостоях на территории Эвенкийского ОЭП, Красноярский край (64°17' с. ш., 100°11' в. д.). Стационар расположен недалеко от пос. Тура Красноярского края в подзоне северной тайги Средней Сибири, в низовьях реки Кочечум (Плясечник, 2012). Кроме того, шишки лиственницы Гмелина были собрана в районе г. Бодайбо, Иркутская область (восточная граница ареала). Город Бодайбо расположен в 1095 км к северо-востоку от Иркутска. Всего было собрано 52 шишки с 14 деревьев.



а



б

Рис. 1. Генеративные органы *L. gmelinii* на территории Эвенкийского ОЭП, Красноярский край (а) и в районе г. Бодайбо, Иркутская обл. (б)

Рис. 2. Шишки (а) и семенные чешуи (б) *L. sibirica*Рис. 3. Шишки (а) и семенные чешуи (б) *L. gmelinii*

У шишек были измерены длина, и ширина, подсчитано количество развитых и неразвитых семенных чешуй, число развитых семян. На основе полученных данных была рассчитана семенная продуктивность по формуле [Минина, Третьякова, 1983]:

$$A = \left(\frac{n}{2N} \right) \cdot 100 \%,$$

где A – семенная продуктивность женской шишки, %; n – число семян (всех или развитых); N – число всех семенных чешуй. Статистическая обработка проводилась при помощи пакета Microsoft Excel 2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование структуры урожая лиственницы сибирской и лиственницы Гмелина в искусственных насаждениях дендрария Института леса (Академгородок г. Красноярск) показало, что размеры шишек по длине их не отличаются. Шишки лиственницы Гме-

лина имеют меньшую ширину по сравнению с лиственницей сибирской. У лиственницы Гмелина закладывается меньшее число чешуй и семян по сравнению с лиственницей сибирской (табл. 1). В то же время семенная продуктивность женской шишки лиственницы сибирской выше, чем у лиственницы Гмелина (табл. 2). Семян в шишке, в том числе полнозернистых, формируется больше у лиственницы Гмелина. У лиственницы сибирской семена очень сильно повреждаются конобионтами.

Исследование структуры урожая лиственницы Гмелина на северной (Эвенкийский ОЭП и восточной границе ареала (г. Бодайбо) показало, что шишки данного вида формируются более мелкими по сравнению с деревьями из дендрария ($16,07 \pm 0,4$ мм против $19,53 \pm 0,3$ мм). По данным Ковылиной с соавторами (Ковылина и др., 2016) в искусственных насаждениях лиственницы сибирской женские шишки достигают $27,9 \pm 0,52$ мм. В литературе также сообщается о срав-

нительно небольших размерах генеративных органов лиственницы Гмелина в Восточном Забайкалье ($17,0 \pm 0,2$ мм и $17,3 \pm 0,3$ мм) [Макаров и др., 2022] и в районе пос. Тура – 17,4 мм [Абаимов, Коропачинский, 1984]. По семенной продуктивности женских шишек лиственницы Гмелина в рассматриваемых насаждениях различий нет. Однако полнозернистых семян образуется очень мало. Большая часть семян повреждена конобионтами. Таким образом, при достаточно высо-

кой семенной продуктивности женских шишек у лиственницы сибирской и лиственницы Гмелина, образование полнозернистых семян чрезвычайно низкое. Большая часть семян повреждается конобионтами.

Для сохранения генофонда лиственницы необходимо использовать современные биотехнологии размножения. Одной из таких технологий является биотехнология соматического эмбриогенеза в культуре *in vitro*.

Таблица 1
Анализ генеративных органов исследуемых видов лиственницы

Вид / местопроизрастание	Размеры шишек		Число чешуй		Число семян		
	Длина, мм	Ширина, мм	Неразвитых	Развитых	Общее	Полнозернистых	Повреждённых
	$X_{cp} \pm m_x$						
<i>L. sibirica</i> – Дендрарий	$19,83 \pm 0,8$	$15 \pm 0,4$	$11 \pm 0,6$	$22,83 \pm 1,6$	$45,66 \pm 3,2$	$7,83 \pm 2,2$	$37,83 \pm 3,4$
<i>L. gmelinii</i> – Дендрарий	$19,53 \pm 0,3$	$13,92 \pm 0,4$	$4,76 \pm 0,4$	$15,84 \pm 0,7$	$31,84 \pm 1,5$	$21,2 \pm 2,8$	$10,61 \pm 2,4$
<i>L. gmelinii</i> – Тура	$16,07 \pm 0,4$	$12,15 \pm 0,3$	$4,84 \pm 0,6$	$14,84 \pm 0,5$	$29,69 \pm 1,1$	$15,61 \pm 3,06$	$14,07 \pm 3,7$
<i>L. gmelinii</i> – Бодайбо	$15,69 \pm 0,4$	$15,46 \pm 0,5$	$3,46 \pm 0,2$	$15,69 \pm 0,9$	$25 \pm 4,2$	$1,69 \pm 0,5$	$23,30 \pm 4,3$

Таблица 2
Семенная продуктивность женских шишек лиственницы сибирской и лиственницы Гмелина

Вид / местопроизрастание	Семенная продуктивность, %
<i>L. sibirica</i> – Дендрарий	67,0
<i>L. gmelinii</i> – Дендрарий	77,5
<i>L. gmelinii</i> – Тура, стационар	72,2
<i>L. gmelinii</i> – Бодайбо	72,2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение структуры урожая лиственницы сибирской и лиственницы Гмелина в естественных и искусственных насаждениях показало, что семенная продуктивность женских шишек высокая. Однако семена образуются низкого качества. Большая часть семян повреждается конобионтами. Для создания лиственничных лесов необходимо применение новых технологий. Наиболее перспективной является биотехнология соматического эмбриогенеза *in vitro*, с помощью которой можно масштабировать создание высокопродуктивных плантаций лиственницы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Абаимов А. П., Коропачинский И. Ю. Лиственницы Гмелина и Каяндера. Новосибирск : Наука, 1984. 121 с.
2. Барченков А. П., Милютин Л. И. Изменчивость генеративных органов лиственниц Гмелина и Каяндера в Восточной Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2007а. Т. 25, № 1–2. С. 37–43.
3. Барченков А. П., Милютин Л. И. Морфологическая изменчивость лиственницы в Средней Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2007б. Т. 24, № 4–5. С. 367–372.
4. Барченков А. П., Милютин Л. И., Жамъянсунен С. Морфологическая изменчивость генеративных органов лиственницы сибирской в Восточной Сибири и

Северо-Восточной Монголии // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. 29, № 1–2. С. 16–20.

5. Ирошников А. И. Лиственницы России. Биоразнообразие и селекция. М. : ВНИИЛМ, 2004. 182 с.

6. Ковылина О. П., Ковылин Н. В., Познахирко П. Ш., Юркевич О. В. Особенности семеношения лиственницы сибирской в искусственных фитоценозах лесостепи // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2012. № 31. С. 36–39.

7. Ковылина О. П., Сергиякова Ю. Т., Кеня Е. С. Биометрические и весовые показатели шишек и семян лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) в озеленительных насаждениях г. Красноярска // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2016. № 44. С. 111–115.

8. Макаров В. П., Борзенко С. В., Помазкова Н. В., Желибо Т. В. Особенности накопления химических элементов в хвое лиственницы Гмелина, произрастающей в районе Удоканского месторождения меди // Химия растительного сырья. 2021. № 2. С. 191–200.

9. Макаров В. П., Малых О. Ф., Желибо Т. В. Изменчивость признаков генеративных органов лиственницы Гмелина в условиях Восточного Забайкалья // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2022. № 4. С. 70–90.

10. Макаров В. П., Малых О. Ф., Захаров А. А., Желибо Т. В. Полиморфизм лиственницы в бассейне р. Хилок (Восточное Забайкалье) // Вестник Красно-

ярского государственного аграрного университета. 2010. № 7. С. 71–77.

11. Минина Е. Г., Третьякова И. Н. Геотропизм и пол у хвойных. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1983. 198 с.

12. Пляшечник М. А. Химический состав эфирного масла *Ledum palustre* L. (Ericaceae) при увеличении содержания доступного азота в почве криолитозоны (центральная Эвенкия) // Химия растительного сырья. 2012. № 2. С. 139–144.

13. Третьякова И. Н., Пак М. Э., Орешкова Н. В., Падутов В. Е. Регенерационная способность клеточных линий лиственницы сибирской в культуре *in vitro* // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2022. № 6. С. 585–596.

REFERENCES

1. Abaimov A. P., Koropachinskiy I. Yu. Listvennicy Gmelina I Kayandera. Novosibirsk : Nauka. 1984. 121 s.

2. Barchenkov A. P., Milyutin L. I. Izmenchivost' generativnyh organov listvennic Gmelina i Kayandera v Vostochnoj Sibiri // Hvojnye boreal'noj zony. 2007a. T. 25, № 1–2. S. 37–43.

3. Barchenkov A. P., Milyutin L. I. Morfologicheskaya izmenchivost' listvennicy v Srednej Sibiri // Hvojnye boreal'noj zony. 2007b. T. 24, № 4–5. S. 367–372.

4. Barchenkov A. P., Milyutin L. I., Zham'yansuren S. Morfologicheskaya izmenchivost' generativnyh organov listvennicy sibirskoj v Vostochnoj Sibiri i Severo-Vostochnoj Mongolii // Hvojnye boreal'noj zony. 2012. T. 29, № 1–2. S. 16–20.

5. Iroshnikov A. I. Listvennicy Rossii. Bioraznoobrazie i selekciya. M. : VNIILM, 2004. 182 s.

6. Kovylyna O. P., Kovylin N. V., Poznahirko P. Sh., Yurkevich O. V. Osobennosti semenosheniya listvennicy

sibirskoj v iskusstvennyh fitocenozah lesostepi // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. 2012. № 31. S. 36–39.

7. Kovylyna O. P., Sergiyakova Yu. T., Kenya E. S. Biometricheskie i vesovye pokazateli shishek i semyan listvennicy sibirskoj (*Larix sibirica* Ledeb.) v ozelenitel'nyh nasazhdeniyah g. Krasnoyarska // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. 2016. № 44. S. 111–115.

8. Makarov V. P., Borzenko S. V., Pomazkova N. V., Zhelibo T. V. Osobennosti nakopleniya himicheskikh elementov v hvoe listvennicy Gmelina, proizrasta-yushchej v rajone Udokanskogo mestorozhdeniya medi // Himiya rastitel'nogo syr'ya, 2021. № 2. S. 191–200.

9. Makarov V. P., Malyh O. F., Zhelibo T. V. Izmenchivost' priznakov generativnyh organov listvennicy Gmelina v usloviyah Vostochnogo Zabajkal'ya // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. 2022. № 4. S. 70–90.

10. Makarov V. P., Malyh O. F., Zaharov A. A., Zhelibo T. V. Polimorfizm listvennicy v bassejne R. Hilok (Vostochnoe Zabajkal'e) // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2010. № 7. S. 71–77.

11. Minina E. G., Tret'yakova I. N. Geotropizm i pol u hvojnyh. Novosibirsk : Nauka, Sib. otd-nie, 1983. 198 s.

12. Plyashechnik M. A. Himicheskij sostav efirnogo masla *Ledum palustre* L. (Ericaceae) pri uvelichenii soderzhaniya dostupnogo azota v pochve kriolitozony (central'naya Evenkiya) // Himiya rastitel'nogo syr'ya, 2012. № 2. S. 139–144.

13. Tret'yakova I. N., Pak M. E., Oreshkova N. V., Padutov V. E. Regeneracionnaya sposobnost' kletochnyh linij listvennicy sibirskoj v kul'ture in vitro // Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya biologicheskaya. 2022. № 6. S. 585–596.

© Шемберг А. М., Третьякова И. Н., 2024

Поступила в редакцию 01.04.2024

Принята к печати 22.07.2024

КАЧЕСТВО СЕЯНЦЕВ В ПОСТОЯННЫХ ПИТОМНИКАХ ОТКРЫТОГО ГРУНТА СЕВЕРОТАЕЖНОГО ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНОГО РАЙОНА*

О. Н. Тюкавина^{1,2}, Н. А. Демина¹, Д. Х. Файзулин¹

¹ФБУ «СевНИИЛХ»

Российская Федерация, 163062, г. Архангельск, ул. Никитова, 13

²ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова» (САФУ)

Российская Федерация, 163002, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, 17

E-mail: o.tukavina@narfu.ru, monitoringlesov@sevniilh-arh.ru

В статье приведены результаты обследования постоянных питомников открытого грунта северотаежного лесного района Архангельской области. Установлен высокий уровень засоренности полей. Густота сеянцев составляет от 6 до 69 шт/м², с долей здоровых – 29–91 %. Выявлено положительное влияние на выживаемость сеянцев присутствия среди сорной растительности представителей семейства бобовых. Люпин многолистный положительный эффект оказывает только при произрастании в куртинах. Выявлена высокая значимая теснота связи доли здоровых сеянцев с суммой осадков в июне и июле при сильной засоренности посевов. Несмотря на высокое проективное покрытие сорной растительности на полях, сеянцы на сильногумусированной почве характеризуются большими размерами по сравнению с другими полями. Различие составляет 34 %. Индикатором лучшего азотного питания является длина хвоинки, которая возрастает на 36 % при увеличении доступного азота в почве в 2 раза. В условиях сильной засоренности полей стабильно соотношение длины надземной и подземной части сеянцев, которое составляет у двухлетних сеянцев ели 0,48, а у трехлетних – 0,77. Повышенное содержание гумуса способствует развитию боковых корней. По соотношению тонких корней к надземной части сеянцы в данных условиях формируются высокого качества. Индекс качества Диксона сеянцев в условиях повышенной засоренности полей ниже в 10 раз по сравнению с сеянцами нормативных размеров и указывает на необходимость доращивания сеянцев еще как минимум три года.

Ключевые слова: постоянный питомник открытого грунта; качество; сеянцы; ель; сорняки.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 4, P. 38–44

THE QUALITY OF SEEDLINGS IN FIELD PERMANENT NURSERY OF THE NORTH TAIGA FOREST GROWING AREA

Olga N. Tyukavina^{1,2}, Nadezhda A. Demina¹, Danyal Kh. Fayzulin¹

¹Northern Research Institute of Forestry

13, Nikitova St., Arkhangelsk, 163062, Russian Federation

²Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov

17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russian Federation

E-mail: o.tukavina@narfu.ru, monitoringlesov@sevniilh-arh.ru

The article presents the results of a survey of field permanent nursery of the North taiga forest district of the Arkhangelsk Oblast. The density of seedlings ranges from 6 to 69 pcs / m², with a healthy proportion of 29–91 %. A positive effect on the survival of seedlings of the presence of representatives of the legume family among weeds was revealed. Polyleaf lupin has a positive effect only when growing in kurtins. A high significant closeness of the relationship between the proportion of healthy seedlings and the amount of precipitation in June and July with severe contamination of crops was revealed. Despite the high projective coverage of weed vegetation in the fields, seedlings on heavily humusized soil are characterized by large sizes compared to other fields. The difference is 34 %. The indicator of the best nitrogen nutrition is the length of the needles, which increases by 36 % with a 2-fold increase in available nitrogen in the soil. In conditions of severe field contamination, the ratio of the length of the aboveground and underground part of seedlings is stable, which is 0.48 for two-year-old spruce seedlings, and 0.77 for three-year-olds. The increased content of humus contributes to the development of lateral roots. According to the ratio of thin roots to

* Работа проведена по результатам исследований, выполненных в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований. Регистрационный номер темы: 122020100292-5. Статья подготовлена с использованием базы данных «Биометрические характеристики сеянцев ели при выращивании в открытом грунте на легких суглинках в условиях северо-таежного лесного района европейской части Российской Федерации». Номер свидетельства RU 2023623521.

the aboveground part, seedlings of high quality are formed under these conditions. The Dixon quality index of seedlings in conditions of increased field contamination is 10 times lower compared to seedlings of standard sizes and indicates the need to grow seedlings for at least three more years.

Keywords: field permanent nursery, seedlings, quality, spruce, weeds.

ВВЕДЕНИЕ

В современный период возрастает потребность в посадочном материале как для лесовосстановления с ориентацией на получение древесного сырья, так и для восстановления природной среды, создания и расширения насаждений для депонирования углерода [1, 2]. Успешность лесокультурного производства в значительной мере определяется качеством посадочного материала, обеспечивающим высокий лесокультурный эффект, отвечающим целевому назначению культивируемой площади [3–6].

Жизнеспособность посадочного материала на лесокультурной площади можно повысить за счет учета ее лимитирующих факторов и направлений преодоления их при управлении технологией выращивания семян. Устойчивость посадочного материала к ограничивающим факторам на лесокультурной площади можно сформировать не только методами подготовки участка, но и изменяя морфологические признаки семян, применяя разные программы выращивания посадочного материала [7]. В связи с этим за рубежом активно разрабатывается концепция «целевое растение» или «целевой лес или сеянец» [8; 9]. Концепция целевого растения (ТРС) начинается с трех ключевых элементов, которые определяют циклический процесс улучшения: питомники должны работать вместе с клиентами, целевые растения определяются на месте посадки, а качество, а не внешний вид, определяет успех [10]. Высота побега, диаметр корневой шейки, корневые системы и соотношение побега к корню являются показателями для прогнозирования потенциала роста в полевых условиях [11], поскольку они снижают уязвимость растений к стрессу за счет регулирования водообмена. Большой диаметр корневой шейки и размер корневой системы повышают вероятность выживания и роста [8]. Для создания целевых программ выращивания семян под конкретные условия их пересадки необходим каталог (база) закономерностей влияния антропогенно трансформируемых факторов на качественные характеристики посадочного материала. В современных условиях не во всех питомниках открытого грунта полностью реализуются агротехнические приемы, что обусловлено изно-

шенностью парка машин, отсутствием или частичным финансированием государства данных питомников. Следовательно, современный период позволяет создать научную базу по влиянию разных комплексов агротехнических приемов или их отсутствия на морфологические характеристики семян с целью дифференцированного выращивания посадочного материала, адаптированного к конкретным условиям культурной площади и целенаправленного использования выращиваемого в современный период посадочного материала согласно их характеристикам.

Цель работы – оценка качества семян ели, выращенных в постоянных питомниках открытого грунта северотаежного лесорастительного района Архангельской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в постоянных питомниках открытого грунта с механическим составом почв легкий суглинок и с механическим составом почв средний суглинок северотаежного лесорастительного района Архангельской области. В питомниках выращивают семена ели европейской (*Picea abies* (L.) Н. Karst.) разного возраста. Технология выращивания посадочного материала в изучаемых питомниках схожа и включала следующие производственные операции: вспашка почвы, боронование навесной фрезой, внесение фонового полного удобрения, пятистрочный посев, борьба с сорняками – в процессе вегетации системные гербициды с широким спектром действия разбрасываются в межленточное пространство. Характеристика химического состава почв питомников на полях с одно-двух и трехлетними сеянцами приведена в табл. 1.

В большинстве случаев почва слабокислая, с низким содержанием обменного фосфора, обменного калия, с очень низким – щелочногидролизующего азота, слабогумусированная. Исключение составляет поле с легким суглинком с сеянцами 2019 года посева. Почва характеризуется средним содержанием подвижного фосфора, высоким содержанием подвижного калия, низким содержанием щелочногидролизующего азота, сильногумусирована, по водородному показателю близка к нейтральной.

Таблица 1
Характеристика почв питомников

Показатели	Годы посева				Рекомендовано Б. А. Мочаловым [12]
	2020	2019	2021	2020	
Дата обследования	31 мая		23 июня		–
Механический состав почв	Легкий суглинок		Средний суглинок		–
pH солевой вытяжки	5,2	5,8	5,2	5,4	4,7–5
Фосфор, мг/кг	114	79	74	68	100–200
Калий, мг/кг	62	235	66	53	100–250
Щелочногидролизующий азот, мг/кг	54	114	49	57	90 и более
Содержание органического вещества почвы, %	1,3	4,9	1	1,4	3–4 и более

Проводили агрохимический анализ почв в лесных питомниках. Определение гранулометрического состава почвы производили полевым методом [13]. Отбор почвенных проб производили по ГОСТ Р 58595–2019 [14]. Определение агрохимических показателей проводилось в Федеральном государственном бюджетном учреждении станция агрохимической службы «Архангельская».

Обследование питомников на всех полях по наличию сорной растительности: их видового состава, проективного покрытия, жизненному состоянию сорных растений, их высоты, степени засоренности полей проводили согласно методике А. В. Захаренко [15].

Учет семян проводили в начале вегетационного периода. Случайной выборкой отбирали до 100 семян с поля. В камеральных условиях измеряли штангенциркулем диаметр стволика у шейки корня с точностью до 0,1 мм; линейкой – высоту семени с точностью до 0,1 см, длину осевого прироста первого, второго года (см), длину корня (см), длину главного корня (см), длину боковых корней (см). Семя разделяли на фракции: хвоя, ствол, корни с диаметром менее 1 мм, корни с диаметром более 1 мм. Фракции сушили в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянного веса, охлаждали в эксикаторе с хлористым кальцием и взвешивали на электронных весах AF-220CE (точность ± 0,001 г).

Индекс качества Диксона (DQI) [16] рассчитывали по формуле

$$DQI = \frac{A}{B + C} \cdot 100,$$

где А – масса растения в воздушно-сухом состоянии, г; В – отношение высоты дерева (см) к диаметру стволика у шейки корня (мм); С – отношение массы надземной части растения к подземной части растения в воздушно-сухом состоянии (г).

Метеоданные для получены на сайте: http://www.pogodaiklimat.ru/history/28367_3.htm.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Питомники характеризуются очень низкой густотой семян ели (табл. 2). Из сохранившихся семян менее половины имеют стандартные для посадки на лесокультурную площадь размеры на третий, четвертый год роста. Причем в питомнике со средними суглинистыми почвами на третий год роста отмечается всего лишь 9,3 % семян со стандартными размерами. При этом наибольшая доля здоровых семян (82–91 %) отмечается в питомнике со средними суглинистыми почвами по сравнению с питомником на легких суглинистых почвах.

Выращивание семян хвойных в лесных питомниках рекомендовалось и рекомендуется на легких суглинках. Почвы средней плотности характеризуются оптимальным водным, воздушным, тепловым и питательным режимом, в результате здесь меньше развивается болезнетворных микроорганизмов [17]. В наших исследованиях на легких суглинистых почвах по сравнению с средними суглинистыми почвами густота семян снизилась при посеве в 2019 г на 66 % ($t = 3,3$ при $t_{st} = 2,6$ и $p = 0,99$), 2020 г – на 91 % ($t = 8,8$ при $t_{st} = 2,6$ и $p = 0,99$); доля здоровых семян снизилась при посеве в 2019 г на 32,8 %, в 2020 г. – на 61,9 %.

Таблица 2
Характеристика семян и условий их произрастания

Показатели	Питомник с легкими суглинистыми почвами			Питомник со средними суглинистыми почвами			
	2018	2019	2020	2017	2019	2020	2021
Год посева	2018	2019	2020	2017	2019	2020	2021
Густота семян, шт/м ²	13,4±2,0	6,2±1,7	6,0±1,5	34,0±2,7	18,0±3,1	69,0±7,0	11,6±2,7
Процент выхода стандартных семян, %	42,0±6,3	37,0±4,1	0	51,3±4,1	9,3±2,0	0	0
Доля здоровых семян, %	58,4±4,0	58,1±12,1	29,4±9,3	82,8±6,5	90,9±1,7	91,3±0,2	86,1±5,5
Проективное покрытие сорной растительности (%), из них:	89,5±7,5	90,0±5,2	95,0±4,7	65,0±9,1	89,5±7,7	70,0±8,8	90,0±5,9
сем. Мятликовые (<i>Poaceae</i>)	60,0±4,4	25,6±3,2	53,0±5,6	20,0±2,2	48,6±9,5	40,0±5,3	41,7±6,8
сем. Бобовые (<i>Fabaceae</i>)	0,5±0,2	5,6±2,8	0,5±0,2	30,7±9,6	23,3±9,3	24,2±5,3	18,3±4,2
сем. Сложноцветные (<i>Asteraceae</i>)	10,5±4,3	24,7±6,2	13,5±4,6	11,7±1,8	11,6±2,1	6,3±2,4	0,6±0,1
Для года посева							
Среднесуточная температура июня, °С	12,7±0,4	14,1±0,3	14,8±0,4	11,6±0,3	14,3±0,4	14,2±0,4	18,1±0,4
Сумма осадков за июнь, мм	5,5	1,7	25,6	3,1	3,8	3,4	3,2
Среднесуточная температура за июль, °С	19,6±0,3	13,6±0,3	17,2±0,2	18,0±0,3	14,4±0,3	17,2±0,3	17,8±0,4
Сумма осадки за июль, мм	5,2	2,3	86,3	5,9	3,3	5,2	2,2
Гидротермический коэффициент июня	0,43	0,12	1,7	0,27	0,27	0,24	0,18
После первого года роста семян							
Продолжительность устойчивого снежного покрова, дни	151	163	144	178	148	124	163
Средняя высота снежного покрова	44,9±1,9	22,4±0,8	25,3±1,3	42,7±1,5	30,9±1,3	34,6±1,2	55,2±1,6

Не выявлено значимого влияния на густоту семян погодных условий. Однако при низком гидротермическом коэффициенте (отношение суммы осадков к средней температуре за тот же период) отмечается наименьшая густота семян (табл. 2). Пониженный гидротермический коэффициент определяется как недостаточным количеством осадков, так и более высокими температурами воздуха. Погодные условия усугубляются высоким проективным покрытием сорных растений, которые активно забирают из почвы влагу.

Низкая густота семян связана с отсутствием системной борьбы с сорняками. Засоренность полей очень сильная. Теснота связи густоты семян с проективным покрытием сорных растений обратная высокая значимая ($r = -0,82$ при $t = 7,0$). Но проективное покрытие сорных растений в посевах 2019 года значимо не различаются, а густота семян разнится приблизительно в 3 раза. Существенное различие в густоте семян или на данных полях может быть обусловлено присутствием среди сорняков растений семейства Бобовых (*Fabaceae*). Теснота связи густоты семян с проективным покрытием растений семейства *Fabaceae* высокая значимая ($r = 0,75$ при $t = 4,6$). В питомнике с легкими суглинистыми почвами встречаемость горошка мышиного (*Vicia cracca* L.) составляет от 10 до 50 %; горошка заборного (*Vicia sepium* L.) – от 0 до 10 %; клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) – от 10 до 50 %; клевера гибридного (*Trifolium hybridum* L.) – от 0 до 50 %; клевера ползучего (*Trifolium repens* L.) – от 0 до 75 %. В питомнике со средними суглинистыми почвами встречаемость горошка мышиного (*Vicia cracca* L.) составляет от 10 до 100 %; горошка заборного (*Vicia sepium* L.) – от 0 до 10 %; чины луговой (*Lathyrus pratensis* L.) – от 0 до 70 %; клевера среднего (*Trifolium medium* L.) – от 0 до 30 %; клевера гибридного (*Trifolium hybridum* L.) – от 0 до 30 %; клевера ползучего (*Trifolium repens* L.) – от 0 до 80 %; язвенника лекарственного (*Anthyllis vulneraria* L.) – от 0 до 70 %; люпина многолистного (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) – от 40 до 100 %. В питомнике со средними суглинистыми почвами в отличие от предыдущего встречается люпин многолистный (*Lupinus polyphyllus* Lindl.). Причем наибольшая густота семян отмечается на участках с куртинным произрастанием люпина. При сплошном покрытии территории люпином семена встречаются единично.

В лесном питомнике на легких суглинистых почвах доминируют по покрытию сорные растения семейств Мятликовые (*Poaceae*), Сложноцветные (*Asteraceae*) и на поле с сильногумусированными, близкими по водородному показателю к нейтральным почвами добавляется еще семейство Капустные (*Brassicaceae*) (проективное покрытие $23,3 \pm 3,7$, встречаемость 100 %). В лесном питомнике на средних суглинистых почвах доминируют по покрытию сорные растения семейств Мятликовые (*Poaceae*), Бобовые (*Fabaceae*), Сложноцветные (*Asteraceae*). На всех полях отмечается доминирование по проективному покрытию многолетних сорных растений, что указывает на отсутствие в агротехнике выращивания семян парования полей. Это приводит к высокой

доле злаков среди сорных растений, доминантом среди которых является пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski). Сорные растения способствуют переносу заболеваний шютте. Злаки распространяют такие заболевания как инфекционное полегание, инфекционное выпревание. Выявлена высокая значимая теснота связи доли здоровых семян с проективным покрытием растений семейства Бобовые (*Fabaceae*) ($r = 0,86$ при $t = 8,4$). Наибольшая доля больных семян отмечается на поле, в год посева которого наблюдалось повышенное количество осадков в июне и июле. Теснота связи доли здоровых семян с осадками июня и июля обратная высокая значимая ($r = -0,79$ при $t = 6,2$). Обычно в питомниках сталкиваются с противоположной проблемой – недостатка влаги, который ослабляет защитные механизмы растения и способствует заболеванию растений, повреждению их вредителями. Сорные растения, затеняя семена, мешают их правильному росту. Культурные растения вытягиваются, становятся менее прочными и полегают вследствие сильного дождя [18]. Сорные растения способствуют накоплению и поддержанию повышенной влажности в приземном пространстве, создавая благоприятные условия для распространения инфекционных болезней, в вегетационный период с повышенным количеством осадков. Даже достаточное содержание фосфора в почве не способствует в данных условиях повышению стойкости семян к инфекционным заболеваниям. Согласно Н. В. Фоминой [19], основное перемещение фосфора к корням растений происходит при диффузии ионов и в сухой почве. Без чередования периодов увлажнения – иссушения потребление фосфора замедляется. Корневые системы сорняков выделяют в почву значительное количество органических кислот, которые вытесняют подвижные формы фосфора из почвенного поглощающего комплекса [18].

В питомнике с легкими суглинистыми почвами, несмотря на низкую густоту семян и большую их заболеваемость, посадочный материал характеризуется большими габаритами (табл. 3).

Высота двухлетних и трехлетних семян или из лесного питомника с легкими суглинистыми почвами значимо больше по сравнению с питомником на средних суглинистых почвах на 21 % и 34 % соответственно.

Первый год роста наиболее экстремальный для семян. Они подвергаются воздействию биологических, климатических стрессоров. Размер линейного прироста однолетних семян в разных питомниках на разных полях находится на одном уровне в среднем 1,5 см. Линейные приросты семян или с каждым последующим годом увеличиваются, что указывает на возрастание у них с каждым годом ассимилирующей поверхности. Увеличение линейных приростов составляет от 13 до 67 %. При анализе линейных приростов второго года развития семян на всех полях с разными годами посева отмечается высокая значимая теснота связи прироста с гидротермическим коэффициентом и июня, и июля ($r = 0,79$ при $t = 6,2$; $r = 0,75$ при $t = 5,2$ соответственно). Наибольшие линейные приросты семян отмечаются на поле с максимальным содержанием гумуса (4,9 %) и потенциально доступного для растений азота (114 мг/кг).

Таблица 3
Биометрические показатели двухлетних и трехлетних семян ели

Показатели		Год посева					
		2019			2020		
		ЛС**	СС***	t****	ЛС	СС	t
Высота сеянца*, см		7,5±0,35	5,6±0,14	5,1	3,4±0,17	2,8±0,08	3,2
Приросты, см	2021	3,5±0,19	2,3±0,07	6,2	1,8±0,11	1,5±0,05	2,7
	2020	2,5±0,17	1,9±0,05	3,6	1,6±0,09	1,3±0,05	3,2
	2019	1,5±0,06	1,5±0,03	0,6	—	—	—
Длина однолетней хвои		12,2±0,40	9,0±0,15	7,5	9,0±0,29	8,5±0,23	1,4
Отношение длины надземной части к длине корня		0,79±0,03	0,74±0,02	1,3	0,48±0,03	0,49±0,02	0,3
Отношение длины главного корня к суммарной длине боковых корней		0,43±0,03	1,13±0,05	12,0	1,12±0,09	0,89±0,05	2,2
Отношение массы тонких корней к массе надземной части		1:4,0±0,57	1:3,7±0,15	0,5	1:2,7±0,19	1:3,7±0,18	3,8
Индекс качества Диксона, %		2,2±0,20	1,7±0,09	2,3	0,6±0,03	0,6±0,03	0

* Высота сеянца без учета прироста 2022 г.; ** ЛС – легкие суглинистые почвы; *** СС – средние суглинистые почвы; ****t – значимость различия при $t_{st} = 2,6$ и $p = 0,99$.

Большее содержание азота приводит к разрастанию надземной части, а особенно ассимиляционного аппарата. Сеянцы в данных условиях формируют более крупную хвою. Так при увеличении содержания гумуса в почве в 3,6 раз, азота в 2 раза длина хвоинки возросла на 36 % ($t = 7,5$ при $t_{st} = 2,6$ и $p = 0,99$).

Существенное различие содержания в почве обменного фосфора (для 2020 года посева), подвигного калия и щелочногидролизуемого азота (для 2019 года посева) не привело к изменению соотношения длины надземной части сеянца к длине корня. Отношение длины надземной части сеянца к длине корня достаточно стабильно для определенного возраста. В питомниках с почвами разными по механическому и химическому составу у двухлетних сеянцев данный показатель составляет 0,48, у трехлетних – в среднем 0,77. Увеличение данного показателя с возрастом обусловлено более интенсивным верхушечным приростом надземной части по сравнению с подземной.

Отношение длины главного корня к суммарной длине боковых корней у сеянцев, произрастающих на поле с сильногумусированной почвой, в 2,6 раз меньше по сравнению с другими полями. Следовательно, повышенное содержание органики в почве способствовало развитию боковых корней.

Потенциал роста сеянцев отражает соотношение массы надземной части и корневой системы. Особое внимание уделяется тонким физиологически активным корням с диаметром до 1 мм, осуществляющим ионный обмен катионами и анионами с почвенным раствором, в которых синтезируется активные вещества, необходимые для роста всех частей растений. Для характеристики потенциальной возможности приживания растений допустимо использовать отношение массы тонких корней к массе надземной части или хвои. Так приживаемость сеянцев 90 % при массе надземной части у одного растения в воздушно-сухом состоянии около 1 г отмечается при соотношении массы тонких корней к массе надземной части у ели 1:13; приживаемость 70 % – у ели 1:29 [20]. По соотношению массы тонких корней к массе надземной части формирующиеся в данных экстремальных условиях сеянцы ха-

рактеризуются высоким качеством, способных произрастать в экстремальных условиях [16]. Данное соотношение составляет от 1:2,7 до 1:4. Значимо отличается соотношение массы тонких корней к массе надземной части (1:2,7) у сеянцев, выросших на поле с большим содержанием обменного фосфора по сравнению с другими полями. Фосфор в почве способствует хорошему развитию корневой системы [21].

Для оценки жизнеспособности сеянцев при пересадке на культурную площадь используется индекс качества Диксона [16; 22–25]. При увеличении содержания гумуса в почве в 3 раза индекс качества Диксона увеличился на 29 %. По сравнению с питомником, характеризующимся эффективной технологией выращивания сеянцев, в анализируемых условиях, заглушения сеянцев сорной растительностью, значения индекса качества Диксона ниже в 10 раз и в 7 раз ниже по сравнению с сеянцами, выращиваемыми в Финляндии [25]. С увеличением возраста сеянцев на один год индекс качества Диксона вырос в 2,8 раз ($t = 11,6$ при $t_{st} = 2,6$ и $p = 0,99$). Следовательно, если ориентироваться на индекс качества Диксона сеянцев в вышеупомянутых питомниках, сеянцам в данных условиях необходимо расти еще три года. Данный прогноз совпадает с действительностью. В анализируемых питомниках наибольшая доля сеянцев достигает нормативных размеров на пятый год роста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Питомники открытого грунта в северотаежном лесорастительном районе Архангельской области характеризуются регрессионной технологией выращивания сеянцев. При высоком уровне засоренности полей густота сеянцев составляет от 6 до 69 шт/м², с долей здоровых – 29–91 %. Положительное влияние на сохранность сеянцев оказывает присутствие среди сорной растительности представителей семейства бобовых. При этом стоит учитывать, что люпин многолистный благоприятный эффект оказывает только при произрастании в куртинах. Выявлена высокая теснота связи доли здоровых сеянцев с суммой осадков в июне и июле при сильной засоренности посевов. Несмотря на высокое проективное покрытие сорной

растительности на полях, сеянцы на сильногумусированной почве характеризуются большими размерами по сравнению с другими полями. Различие составляет 34 %. Индикатором лучшего азотного питания является длина хвоинки, которая возрастает на 36 % при увеличении доступного азота в почве в 2 раза.

В условиях сильной засоренности полей стабильно соотношение длины надземной и подземной части сеянцев, которое составляет у двухлетних сеянцев ели 0,48, а у трехлетних – 0,77. Повышенное содержание гумуса способствует развитию боковых корней. По соотношению тонких корней к надземной части сеянцы в данных условиях формируются высокого качества. Индекс качества Диксона сеянцев в условиях повышенной засоренности полей ниже в 10 раз по сравнению с сеянцами нормативных размеров и указывает на необходимость доращивания сеянцев еще как минимум три года.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Haase D. L., Davis A. S. Developing and supporting quality nursery facilities and staff are necessary to meet global forest and landscape restoration needs // *Reforesta*, 2017. Vol. 4. P. 69–93.

2. Silva L. N., Freer-Smith P., Madsen P. Production, restoration, mitigation: A new generation of plantations // *New For.* 2019. Vol. 50. P. 153–168.

3. Маркова И. А., Жигунов А. В. Лесные культуры: агротехника выращивания посадочного материала в лесных питомниках. СПб. : СИНЭЛ : СПбГЛТУ, 2021. 134 с.

4. Наквасина Е. Н. Ритмика роста сеянцев сосны и ели. Биоэкологическое обоснование агротехники выращивания. Архангельск, 2016. 158 с.

5. Сунгурова Н. Р., Дрочкова А. А. Биометрические характеристики посадочного материала как тест-показатель успешности культур *Pinus silvestris* L. // *Известия вузов. Лесной журнал*. 2021. № 4. С. 107–116.

6. Тишков А. С., Мерзленко М. Д., Мельник П. Г., Наумов Е. Г. Показатели культур ели европейской при разной густоте посадки // *Хвойные бореальной зоны*. 2022. XL, № 1. С. 59–64.

7. Davis A. S., Pinto J. R. The Scientific Basis of the Target Plant Concept: An Overview // *Forest*. 2021. Vol. 12. P. 1293. Doi: 10.3390/f12091293.

8. Grossnickle S. C., MacDonald J. E. Seedling quality: history, application, and plant attributes // *Forests*. 2018. Vol. 9(5). P. 283–305.

9. Perumal M., Wasli M. E. Target Plant Concept (TPC): A Holistic Framework for Seedling Quality within a Forest Restoration Programme // *Bulletin Institut Ekosains Borneo*. 2023. Vol. 2, Iss. 1. P. 35–40.

10. Dumroese K. R., Landis T. D., Pinto J. R., Haase D. L., Wilkinson K. W., Davis A. S. Meeting forest restoration challenges: using the target plant concept // *Reforesta*. 2016. Vol. 1. P. 37–52.

11. Pinto J. R., Marshall J. D., Dumroese R. K., Davis A. S., Cobos D. R. Establishment and growth of container seedlings for reforestation: a function of stocktype and edaphic conditions // *Forest Ecology and Management*. 2011. Vol. 261(11). P. 1876–1884.

12. Мочалов Б. А. Научное обоснование и разработка интенсивной технологии выращивания посадочного материала хвойных пород для лесовосстановления на Европейском Севере России : автореф. дис. ... д-ра с-х. наук. Архангельск, 2009. 40 с.

13. Наквасина Е. Н. Агрохимические свойства почв. Архангельск, 2009. 101 с.

14. ГОСТ Р 58595–2019. Почвы. Отбор проб. М. : Стандартинформ, 2019. 6 с.

15. Захаренко А. В. Регулирование взаимоотношений культурных и сорных растений в агрофитоценозах. Уфа : БГАУ, 2000. 400 с.

16. Ivetić V., Grossnickle S., Škorić M. Forecasting the field performance of Austrian pine seedlings using morphological attributes // *iForest*. 2016. Vol. 10. P. 99–107. Doi: 10.3832/for1722-009.

17. Лесные культуры / А. Р. Родин, С. А. Родин, Е. А. Калашников, С. Б. Васильев. Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. 209 с.

18. Носников В. В., Юренин А. В., Наукович Е. А. Влияние сорняков на условия роста и биометрические показатели сеянцев в посевном отделении сосны обыкновенной // *Труды БГТУ*. 2013. № 1. С. 162–164.

19. Фомина Н. В. Микробиологическая диагностика почв лесных питомников Красноярского края. Красноярск, 2008. 145 с.

20. Калинин Н. П., Писаренко А. И., Смирнов Н. А. Лесовосстановление на вырубках. М. : Экология, 1991. 384 с.

21. Беловолова А. А., Громова Н. В., Сигида М. С. Физиологические основы применения удобрений и регуляторов роста растений. Ставрополь, 2018. 68 с.

22. Bian Z., Liu L., Ding S. Analysis of forest landscape restoration based on landscape connectivity: A case study in the Yi river basin, China, during 2015–2020 // *Land*. 2021. Vol. 10 (9). P. 904. Doi: 10.3390/land10090904.

23. Köster E., Pumpanen J., Palviainen M., Zhou X., Köster K. Effect of biochar amendment on the properties of growing media and growth of containerized Norway spruce, Scots pine, and silver birch seedlings // *Can. J. For. Res.* 2020. Vol. 51. P. 31–40. Doi: 10.1139/cjfr-2019-0399.

24. Lin K.-H., Wu C.-W., Chang Y.-S. Applying Dickson quality index, chlorophyll fluorescence, and leaf area index for assessing plant quality of *Pentas lanceolata* // *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2018. Vol. 47(1). P. 169–176. Doi: 10.15835/nbha47111312.

25. Tsakalidimi M., Ganatsas P., Jacobs D. F. Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology // *New Forests*. 2012. Vol. 44. P. 327–339.

REFERENCES

1. Haase D. L., Davis A. S. Developing and supporting quality nursery facilities and staff are necessary to meet global forest and landscape restoration needs. *Reforesta*, 2017, vol. 4, pp. 69–93.

2. Silva L. N., Freer-Smith P., Madsen P. Production, restoration, mitigation: A new generation of plantations. *New For.* 2019, vol. 50, pp. 153–168.

3. Markova I. A., Zhigunov A. V. Lesn'yye kul'tury: agrotehnika vyrashchivaniya posadochnogo materiala v lesnykh pitomnikakh. SPb. : SIN·EL : SPBGLTU, 2021. 134 s.
4. Nakvasina Ye. N. Ritmika rosta seyantsev sosny i yeli. Bioekologicheskoye obosnovaniye agrotekhniki vyrashchivaniya. Arkhangel'sk, 2016. 158 s.
5. Sungurova N. R., Drochkova A. A. Biometricheskiye kharakteristiki posadochnogo materiala kak test-pokazatel' uspehnosti kul'tur Pinus silvestris L. // Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal. 2021. № 4. S. 107–116.
6. Tishkov A. S., Merzlenko M. D., Mel'nik P. G., Naumov Ye. G. Pokazateli kul'tur yeli yevropeyskoy pri raznoy gustote posadki // Khvoyn'yye boreal'noy zony. 2022. XL, № 1. S. 59–64.
7. Davis A. S., Pinto J. R. The Scientific Basis of the Target Plant Concept: An Overview. Forest. 2021, vol. 12, p. 1293. Doi: 10.3390/f12091293.
8. Grossnickle S. C., MacDonald J. E. Seedling quality: history, application, and plant attributes // Forests. 2018, vol. 9(5), pp. 283–305.
9. Perumal M., Wasli M. E. Target Plant Concept (TPC): A Holistic Framework for Seedling Quality within a Forest Restoration Programme. Bulletin Institut Ekosains Borneo. 2023, vol. 2, iss. 1, pp. 35–40.
10. Dumroese K. R., Landis T. D., Pinto J. R., Haase D. L., Wilkinson K. W., Davis A. S. Meeting forest restoration challenges: using the target plant concept. Reforesta. 2016, vol. 1, pp. 37–52.
11. Pinto J. R., Marshall J. D., Dumroese R. K., Davis A. S., Cobos D. R. Establishment and growth of container seedlings for reforestation: a function of stocktype and edaphic conditions // Forest Ecology and Management. 2011, vol. 261(11), pp. 1876–1884.
12. Mochalov B. A. Nauchnoye obosnovaniye i razrabotka intensivnoy tekhnologii vyrashchivaniya posadochnogo materiala khvoynykh porod dlya lesovosstanovleniya na Yevropeyskom Severe Rossii : avtoref. dis. ... d-ra s-kh. nauk. Arkhangel'sk, 2009. 40 s.
13. Nakvasina Ye. N. Agrokhimicheskiye svoystva pochv. Arkhangel'sk, 2009. 101 s.
14. GOST R 58595–2019. Pochvy. Otbor prob. M. : Standartinform, 2019. 6 s.
15. Zakharenko A. V. Regulirovaniye vzaimootnosheniy kul'turnykh i sornykh rasteniy v agrofytotsenozakh. Ufa : BGAU, 2000. 400 s.
16. Ivetić V., Grossnickle S., Škorić M. Forecasting the field performance of Austrian pine seedlings using morphological attributes. iForest. 2016, vol. 10, pp. 99–107. doi: 10.3832/for1722-009
17. Lesn'yye kul'tury / A. R. Rodin, S. A. Rodin, Ye. A. Kalashnikov, S. B. Vasil'yev. Moskva : Izd-vo MGTU im. N. E. Bauman, 2020. 209 s.
18. Nosnikov V. V., Yurenaya A. V., Naukovich Ye. A. Vliyaniye sornyakov na usloviya rosta i biometricheskiye pokazateli seyantsev v posevnom otdelenii sosny obyknovvennoy // Trudy BGTU. 2013. № 1. S. 162–164.
19. Fomina N. V. Mikrobiologicheskaya diagnostika pochv lesnykh pitomnikov Krasnoyarskogo kraya. Krasnoyarsk, 2008. 145 s.
20. Kalinichenko N. P., Pisarenko A. I., Smirnov N. A. Lesovosstanovleniye na vyrubkakh. M. : Ekologiya, 1991. 384 s.
21. Belovolova A. A., Gromova N. V., Sigida M. S. Fiziologicheskiye osnovy primeneniya udobreniy i regulyatorov rosta rasteniy. Stavropol', 2018. 68 s.
22. Bian Z., Liu L., Ding S. Analysis of forest landscape restoration based on landscape connectivity: A case study in the Yi river basin, China, during 2015–2020. Land. 2021, vol. 10 (9), pp. 904. Doi: 10.3390/land10090904.
23. Köster E., Pumpanen J., Palviainen M., Zhou X., Köster K. Effect of biochar amendment on the properties of growing media and growth of containerized Norway spruce, Scots pine, and silver birch seedlings. Can. J. For. Res. 2020, vol. 51, pp. 31–40. Doi: 10.1139/cjfr-2019-0399.
24. Lin K.-H., Wu C.-W., Chang Y.-S. Applying Dickson quality index, chlorophyll fluorescence, and leaf area index for assessing plant quality of Pentas lanceolata // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2018, vol. 47(1), pp. 169–176. Doi: 10.15835/nbha47111312.
25. Tsakalidimi M., Ganatsas P., Jacobs D. F. Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. New Forests, 2012, vol. 44, pp. 327–339.

© Тюкавина О. Н., Демина Н. А.,
Файзулин Д. Х., 2024

Поступила в редакцию 20.11.2023
Принята к печати 22.07.2024

ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНАЯ ЦЕННОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ**Е. В. Авдеева, А. И. Рудо**

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

Сибирский регион – его освоение, заселение и развитие связаны с разнообразными личностями: от ссыльных как политических, так и криминальных; от казаков 17 века до императоров 19 в., известных писателей и первооткрывателей разных исторических эпох. В городе проходили исторические события, его посещали известные российские и зарубежные представители, и в настоящее время есть сибирские выдающиеся люди, жизнь и деятельность которых связана с природными местами и даже отдельными уникальными растениями как местной флоры, так и интродуцентами. В настоящее время в г. Красноярске деятельность по выявлению уникальных деревьев, интересных в историческом и биологическом плане, приданию им официального статуса, сохранению и защите практически не проводится. При этом на территории Красноярского края в соответствии с Федеральным законом «Об особо охраняемых природных территориях», выделены региональные особо охраняемые природные комплексы. Всего 114 объектов, самый крупный это природный парк Ергаки, 41 – заказник, 72 – памятника природы, из которых 22 ботанических. В настоящее время России комитетами Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации в 2010 году учреждена Всероссийская программа «Деревья – памятники живой природы». Целью Программы является поиск и сохранение уникальных старовозрастных деревьев, представляющих собой природную, культурную и историческую ценность для Российской Федерации, придание им статуса охраняемых государством природных объектов, формирование единого Национального реестра старовозрастных деревьев России, экологическое и патриотическое воспитание подрастающего поколения. В статье представлены деревья-победители данного конкурса разных лет. Красноярский край не участвует в данной программе. Для Красноярского края также важно провести поиск уникальных деревьев и придать им статус охраняемого природного объекта, имеющего природную, культурную и даже историческую ценность. В г. Красноярске можно выделить четыре типа объектов: старовозрастные аборигенные виды, произрастающие в естественных и искусственных насаждениях; растения-интродуценты, родина которых другие ландшафтные зоны не характерные для нашего города. Они представляют природоохранную биологическую ценность; деревья, представляющие историко-культурную ценность; деревья, представляющие современную историко-культурную ценность.

Ключевые слова: уникальные деревья, историко-культурная ценность.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 4, P. 45–54

HISTORICAL AND CULTURAL VALUE OF WOODY PLANTS**E. V. Avdeeva, A. I. Rudo**

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

The exploration, settlement and development of the Siberian region are associated with a variety of personalities: from exiles, both political and criminal; from the Cossacks of the 17th century to the emperors of the 19th century, famous writers and discoverers of different historical eras. Historical events took place in the city, it was visited by famous Russian and foreign representatives, and now there are outstanding Siberian people whose life and activities are connected with natural places and even individual unique plants, both local flora and introduced species. Currently, in Krasnoyarsk, there is practically no activity to identify unique trees of historical and biological interest, to give them official status, to preserve and protect them. At the same time, on the territory of Krasnoyarsk Krai, in accordance with the Federal Law “On Specially Protected Natural Territories,” regional specially protected natural complexes have been identified. There are 114 objects in total, the largest is Ergaki Nature Park, 41 are nature reserves, 72 are natural monuments, of which 22 are botanical. Currently, in 2010, in Russia, the committees of the Federation Council of the Federal Assembly of the Russian Federation established the All-Russian program “Trees – Monuments of Living Nature”. The goal of the Program is to search and preserve unique old-growth trees that are of natural, cultural and historical value for the Russian Federation, giving them the status of state-protected natural

objects, forming a unified National Register of old-growth trees in Russia, environmental and patriotic education of the younger generation. The article presents the winning trees of this competition from different years. Krasnoyarsk Krai does not participate in this program. It is also important for the Krasnoyarsk Krai to search for unique trees and give them the status of a protected natural object that has natural, cultural and even historical value. In Krasnoyarsk, four types of objects can be distinguished: old-growth native species growing in natural and artificial plantings; introduced plants, which homeland is in other landscape zones not typical for our city. They are of environmental biological value; trees of historical and cultural value; trees of modern historical and cultural value.

Keywords: unique trees, historical and cultural value.

Природная уникальность г. Красноярска состоит в том, что он располагается на территории, на которой соединились 8 ландшафтных зон от темной тайги до сухой степи. Антропогенная нагрузка на природно-территориальные комплексы очень неоднородна и изменяется от удовлетворительной до критической. Сибирский регион – его освоение, заселение и развитие связаны с разнообразными личностями: от ссыльных как политических, так и криминальных; от казаков 17 века до императоров 19 в., известных писателей и первооткрывателей разных исторических эпох (рис. 1). В городе проходили исторические события, его посещали известные российские и зарубежные представители, и в настоящее время есть сибирские выдающиеся люди, жизнь и деятельность которых связана с природными местами и даже отдельными уникальными растениями как местной флоры, так и интродуцентами.

«После краткого молебствия в соборе Его Высочество отбыл в квартиру Н. Г. Гадалова, который капитально обновил свой громадный дом для временной остановки в нем Его Высочества. Затем был предпринят объезд учебных заведений, начатый от мужского духовного училища. Из училища Его Высочество изволил направиться в женскую гимназию, после того было посещение мужской гимназии. При входе Его Высочества в новое, только что освященное здание гимназии, директор гимназии имел счастье рапортовать о благосостоянии гимназии и передать почетный рапорт. На дворе выстроились ученики гимназии, семинарии, а также в числе 400 человек, городского 3-х классного, 5-ти начальных училищ, воспитанники Владимирского приюта, Синельниковского благотворительного общества и приюта арестантских детей и ремесленного. Госу-

дарь Наследник обошел все ряды, отправившись, затем, по просьбе директора гимназии, в гимназический сад. Государь соизволил посадить там кедр» [1]. Кедр, посаженный Цесаревичем, к сожалению, не сохранился, а лиственницы, растущие вдоль фасада «мужской гимназии», с 1930 г. корпус Сибирского лесотехнического института (сейчас СибГУ им. М. Ф. Решетнева), в настоящее время корпус Сибирского федерального университета, по ул. Ленина растут до сих пор и представляют историко-культурную ценность (рис. 2).

В настоящее время в г. Красноярске деятельность по выявлению уникальных деревьев, интересных в историческом и биологическом плане, приданию им официального статуса, сохранению и защите практически не проводится. При этом на территории Красноярского края в соответствии с Федеральным законом «Об особо охраняемых природных территориях» от 14.03.1995 № 33-ФЗ, выделены региональные особо охраняемые природные комплексы [3; 4]. Всего 114 объектов, самый крупный это природный парк Ергаки, 41 – заказник, 72 – памятника природы, из которых 22 ботанических – такие как: Дендрарий СибГТУ – памятник природы образован в 1984 г. в целях сохранения дендрария, заложенного в 1949 году профессором В. Э. Шмидтом, в научно-исследовательских и учебных целях [5–7]; «Дендрарий в районе Старого скита «Памятник природы образован в 1981 г. в целях сохранения дендрария, заложенного более ста лет назад. Расположен в границах муниципального образования г. Дивногорск; «Красивая березка» – образован в 1993 г. с целью сохранения объекта охраны памятника природы. Однако в Красноярском крае – памятников природы со статусом историко-культурный – нет (рис. 3, табл. 1).

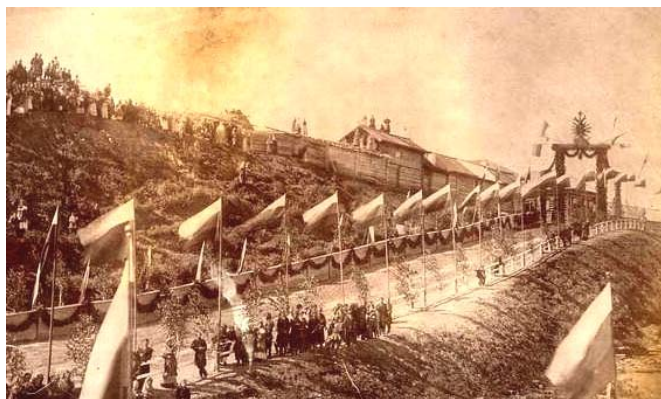


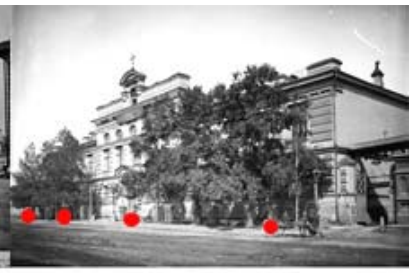
Рис. 1. Пребывание в Красноярске будущего императора Российской империи Николая II. 1890 г.



Новое здание Красноярской мужской гимназии. 1893 г. (Бакай Н.Н. Двадцатипятилетие красноярской губернской гимназии (1868—1893 годы))



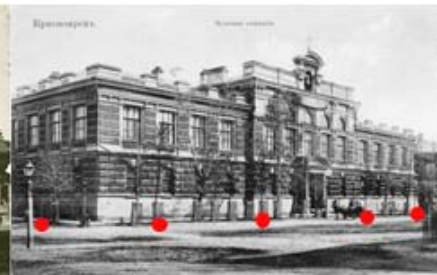
Здание Мужской гимназии в Красноярске. 1900-е гг. (НЕГ 10898. Негатив стеклянный. Балуев И.И. – копия. Из фондов ККМ).
● Лиственница сибирская (*Larix sibirica* L.)



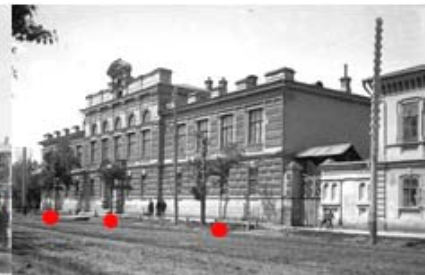
Здание мужской гимназии. 24 июля 1907 г. Из фондов ККМ – копия



Мужская гимназия. Сибирский лесотехнический институт. 1930-е гг. Из фондов ККМ – копия



Здание мужской гимназии. Из фондов ККМ – копия



Мужская гимназия по ул. Благовещенской. 1930 г. Из фондов ККМ – копия



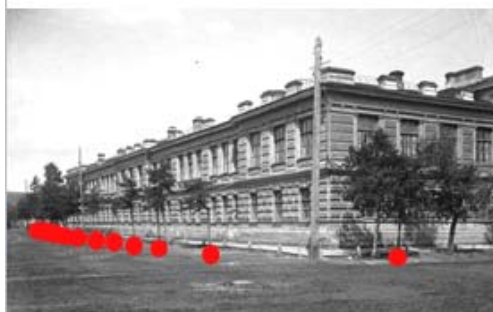
Старое здание Красноярской мужской гимназии, 1893 г. (Бакай Н.Н. Двадцатипятилетие красноярской губернской гимназии (1868—1893 годы. Типография Е.Ф. Кудрявцева, 1893. - С. 16-17).



Мужская гимназия. Угол ул. Ленина и ул. Вейнбаума. 1907 г. Из фондов ККМ – копия



Здание мужской гимназии. Угол Вейнбаума и Ленина. 1920-1930-е гг. (НЕГ 9150. Негатив стеклянный – копия. Из фондов ККМ).



Здание Дома рабочей молодежи (бывшая мужская гимназия)
1920-1930 гг. Из фондов ККМ копия НЕГ 6643



Бывшая мужская гимназия 2022 г.

Рис. 2. Исторические и современные фотографии здания Мужской гимназии по улице Ленина в г. Красноярске, уникальные историко-культурном плане деревья лиственницы сибирской

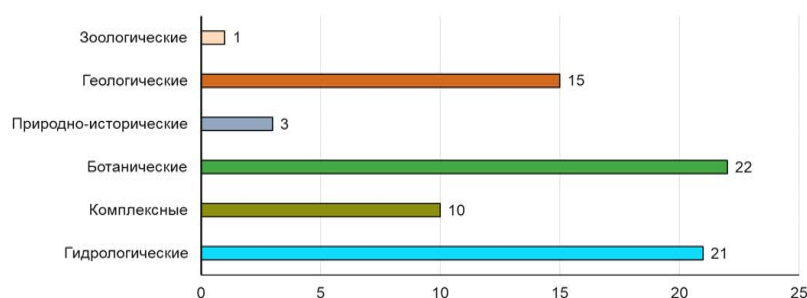


Рис. 2. Памятники природы Красноярского края

Таблица 1

Ботанические памятники природы Красноярского края

Дендрарий СибГТУ, г. Красноярск, 1949 г.			
Дендрарий в районе Старого скита, г. Дивногорск, 1981 г.			
«Красивая березка», Абанский район Красноярского края, 1993 г.			

Помимо ботанических памятников природы на территории Красноярского края выделены три региональные особо охраняемые природно-исторические комплексы:

- Обь-Енисейский соединительный водный путь – памятник природы образован в 1991 г. с целью сохранения природных и культурно-исторических комплексов, имеющих научно-исследовательскую и культурно-просветительскую ценность, расположен в Енисейском районе Красноярского края на землях лесного и водного фондов и является частью

Обь-Енисейского соединительного водного пути, созданного в конце XIX века с целью соединения рек Оби и Енисея на территории Томской области и Красноярского края [12];

- лесополоса вдоль дороги Назарово–Ильинка–Медведск – памятник природы организован в 1987 г. с целью сохранения лесополосы, посаженной в честь исторического события – 100-летнего юбилея В. И. Ленина. Расположен на территории муниципальных образований г. Назарово, Сахаптинский, Преображенский и Степновский сельсоветы Назаровского района.

Лесополоса представляет собой линейное древесное насаждение общей протяженностью 26,8 км и состоит из 3 участков, разделенных заболоченными участками лесов в пойме р. Сerez;

– географический центр Российской Федерации – памятник природы образован в 1993 г. в целях сохранения в естественном состоянии природных и историко-культурных комплексов. Расположен на территории Эвенкийского муниципального района. Южная часть озера Виви. Плато Сыверма Средне-Сибирского плоскогорья (табл. 2) [13]. При этом в настоящее время памятников природы со статусом историко-культурный на территории Красноярского края – нет.

В настоящее время России комитетами Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации в 2010 году учреждена Всероссийская программа «Деревья – памятники живой природы». Целью Программы является поиск и сохранение уникальных старовозрастных деревьев, представляющих собой природную, культурную и историческую ценность для Российской Федерации, придание им статуса охра-

няемых государством природных объектов, формирование единого Национального реестра старовозрастных деревьев России, экологическое и патриотическое воспитание подрастающего поколения. На сегодняшний день Программа является российским масштабным проектом, который позволяет привлекать к старовозрастным деревьям внимание органов государственной власти, специалистов и широкой общественности, обеспечивать необходимую заботу и сохранность деревьев для будущих поколений.

За время существования Программы 216 деревьев получили статус «дерево – памятник живой природы», а в 40 субъектах Российской Федерации проведены торжественные открытия деревьев – памятников живой природы с участием официальных лиц российских регионов. Также создан Национальный реестр старовозрастных деревьев России – из 76 субъектов Российской Федерации в него включены более 900 деревьев, создана база данных и интерактивная карта, судя по которой Красноярский край не участвует в данной программе (рис. 3).

Таблица 2
Природно-исторические памятники природы Красноярского края



Обь-Енисейский соединительный водный путь, Томская область, Красноярский край, 1991 г.



Лесополоса вдоль дороги Назарово–Ильинка–Медведск, Назаровский район, Красноярский край, 1987 г.



Географический центр Российской Федерации, Эвенкийского муниципального района, 1993 г.



Рис. 3. А – Схема регионов, участвующих во Всероссийской программе «Деревья – памятники живой природы», зеленый цвет обозначает, что в данном регионе есть деревья, получившие статус «памятника живой природы», серый – нет деревьев со статусом «памятник живой природы»; Б – Национальный реестр уникальных деревьев России

Первым деревом победителем Всероссийской программы в 2010 г. был дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), была признана его природноохранный ценность. В 2010 г. в г. Одинцово Московской области, в рамках Всероссийской программы «Деревья – памятники живой природы», состоялось торжественное открытие памятной таблички у растущего в центре города старовозрастного дуба. Дереву предварительно была проведена санитарная обрезка, оно было инструментально обследовано Центром Древесных Экспертиз на наличие скрытых гнилей. Определён точный возраст дуба – 115 лет (табл. 3).

С годами при проведении конкурса все больше уделялось внимание историко-культурной ценности деревьев. В 2022 г. – деревом года стала Величественная «Шалыпинская ель» (*Picea abies*). Дерево произрастает на территории литературно-музыкального музея «Дача Шалыпина» [14], неподалеку от входа в главное здание, возведенное в стиле эклектики в 1902 г. по проекту известного архитектора Эммануила Багдасаровича Ходжаева для купца Михаила Ивановича Ушакова. В 1911 г. в этом здании останавливался известный композитор Сергей Сергеевич Прокофьев, а летом 1917 г., когда зданием владел генерал казачьего подразделения Г. Н. Абрезов, здесь отдыхал всемирно известный певец Федор Иванович Шалыпин. Величаво возвышающаяся над домом и окрестностями ель не только «видела» Федора Ивановича, но и «слышала» его восхитительный голос. Возраст дерева 133 лет, высота – 27 м, диаметр ствола на высоте 1,3 м – 0,99 м. Место произрастания: Ставропольский край, г. Кисловодск, ул. Шалыпина, д. 1, литературно-музыкальный музей «Дача Шалыпина» (табл. 3).

Также во Всероссийский реестр входят деревья, получившие статус «памятник живой природы»:

2013 год – Дуб Пугачева – могучее раскидистое дерево, расположено в Кленовогорском лесничестве национального парка «Марий Чодра» в дубняке лещиновом. Возраст – 422 года, высота – 31 м, диаметр ствола на высоте 1,3 м – 1,46 м. По преданию, в 1774

году возле дуба останавливался на ночлег один из отрядов Емельяна Пугачева, возвращавшийся после поражения из сгоревшей Казани. Легенда гласит, что сам Пугачев с этого дерева наблюдал за пожаром оставленного города. В 1974 году возле дерева в канун 200-летия восстания Емельяна Пугачева установлен памятный камень с надписью.

2021 год – Тургеневский дуб (дуб черешчатый (*Quercus robur* L.)), возраст – 198 лет, высота – 28 м, диаметр ствола на высоте 1,3 м – 1,35 м. Место произрастания: Орловская обл., Мценский район, с. Спасское-Лутовиново, ул. Музейная, д. 3, ФГБУК «Государственный мемориальный и природный музей-заповедник И. С. Тургенева «Спасское-Лутовиново». По преданиям, дуб посажен великим русским писателем, предположительно, осенью 1831 года. Ивану Тургеневу тогда было 13 лет. Летом 1882 года писатель В. Гаршин, поправляя здоровье, по приглашению Тургенева гостил в Спасском в отсутствие хозяина. Он пишет своей невесте: «...а какие здесь деревья! По сто и двести лет. Дуб, посаженный собственными руками Ивана Сергеевича 50 лет тому назад, совсем мальчик перед ними».

На основе данных этого письма и установлен возраст посадки дерева. В повести «Фауст», над которой Тургенев начал работать в 1856 году, мы находим такие строки: «Мой любимый дубок стал уже молодым дубом. Вчера, среди дня, я более часа сидел в его тени на скамейке». На склоне жизни, видимо, предчувствуя смертельное заболевание, вскоре постигшее его, находящийся за границей писатель в 1882 году обращается в письме к семье своего друга Я. Полонского: «Когда вы будете в Спасском, поклонитесь от меня дому, саду, моему молодому дубу, Родине поклонитесь, которую я уже, вероятно, никогда не увижу». Периодически дуб дает урожай желудей. Из урожая 1996 года учащимися Спасско-Лутовиновской школы выращены саженцы, которые были в 1999 году высажены у памятника И. С. Тургеневу в г. Мценске. Два саженца были отправлены в Москву и сейчас

растут во внутреннем дворике дома-музея писателя на Остоженке.

2018 год – Шишкинская сосна (Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.)). Возраст – 360 лет, высота – 18 м, диаметр ствола на высоте 1,3 м – 1,6 м. Место произрастания: Республика Карелия, Ладожское озеро, остров Валаам. Легенда: Сосна произрастает в историческом и священном для христиан месте – острове Валаам. Остров неоднократно посещали императоры Александр I и Александр II, а также другие члены императорской фамилии. Природа и красота Валаама вдохновляла известнейших гениев творчества и науки: художники И. И. Шишкин, Ф. А. Васильев, А. И. Куинджи, Н. К. Рерих, писатели и поэты Н. С. Лесков, Ф. И. Тютчев, А. Н. Апухтин, И. С. Шмелёв, Б. К. Зайцев, А. Дюма-старший, композиторы П. И. Чайковский, А. К. Глазунов, учёные Н. Н. Миклухо-Маклай, Д. И. Менделеев и многие другие. Считается, что именно эту сосну в 1858 г. изобразил на своей картине «Сосна на Валааме» всемирно известный художник И. И. Шишкин.

2018 год – Пушкинская лиственница – Лиственница европейская (*Larix decidua* Mill.) Возраст – 324 года, высота – 20 м, диаметр ствола на высоте 1,3 м – 0,65 м. Место произрастания: Нижегородская область, Большеболдинский район, село Большое Болдино, ул. Пушкинская, 144, Государственный литературно-мемориальный и природный Музей-заповедник А. С. Пушкина «Болдино». По преданию, эта лиственница, произрастающая перед главным зданием усадьбы и служащая его природным украшением, посажена самим Александром Сергеевичем Пушкиным осенью 1833 года. Усадьба Болдино является родовым имением Пушкиных с 1612 года. Самый известный представитель рода – А. С. Пушкин – посещал усадьбу Болдино трижды: в 1830, 1833 и 1834 годах. Здесь им написано большое количество стихотворений, сказок, завершена работа над «Евгением Онегиным», «Повестями Белкина», «Маленькими

трагедиями», «Историей Пугачева», сочинены знаменитые «Медный всадник» и «Пиковая дама». Впервые великий русский поэт приехал в Болдино в 1830 году перед свадьбой с Натальей Гончаровой. Он собирался провести здесь всего несколько дней, чтобы оформить документы на владения, выделяемые ему отцом. Однако в Нижегородской губернии началась эпидемия холеры, и поэт из-за карантина был вынужден задержаться в селе на три месяца. Этот весьма плодотворный в творческом плане период жизни Александра Сергеевича известен под названием «Болдинская осень». Из всех имений пушкинской семьи только Болдинская усадьба не была разрушена во время революций и войн. В настоящее время здесь расположен Государственный литературно-мемориальный и природный Музей-заповедник А. С. Пушкина «Болдино» (табл. 3).

Для Красноярского края также важно провести поиск уникальных деревьев и придать им статус охраняемого природного объекта, имеющего природную, культурную и даже историческую ценность. В г. Красноярске можно выделить четыре типа природных объектов: старовозрастные аборигенные виды, произрастающие в естественных и искусственных насаждениях – Сосна сибирская – в Центральном парке, Тополь черный на острове Татышев и в Юдинском сквере, Лиственница сибирская в Юдинском саду и др. Для популяризации озеленения в Красноярске с конца XIX века весной проходил праздник древонасаждения, которое представлялось мерой общественного значения. Этим решалось сразу несколько задач по благоустройству города и качестве меры противопожарной безопасности. Если в 1896 году в газете писали «...таким образом, половина Театральной площади покрылась прекрасно разросшимися сквериками», то к 1913 году в «Спутнике по городу Красноярску» говорилось о той же площади: «на площади разведены два небольших садика, напоминающие собой время увлечения древонасаждением».

Таблица 3

Деревья-победители Всероссийской программы «Деревья – памятники живой природы»



2010 г. – старовозрастный Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), природноохранный объект, г. Одинцово Московской области

Окончание таблицы 3

	
2022 г. – «Шалаяпинская ель» (<i>Picea abies</i>) – историко-культурная ценность, Ставропольский край, г. Кисловодск, литературно-музыкальный музей «Дача Шалаяпина»	
	
2013 год – «Дуб Пугачева» (<i>Quercus robur</i> L.) – историко-культурная ценность, Кленовогорское лесничество национального парка «Марий Чодра»	2018 год – «Шишкинская сосна» (<i>Pinus sylvestris</i> L.) – историко-культурная ценность, о. Валаам
	
2018 год – «Пушкинская лиственница» (<i>Larix decidua</i> Mill.) – историко-культурная ценность, с. Большое Болдино	2021 год – Тургеневский дуб (<i>Quercus robur</i> L.) – историко-культурная ценность, Орловская обл., Мценский район, с. Спасское-Лутовиново

Губернатор В. А. Смирнов принимал непосредственное участие в посадке деревьев в городе, работал над созданием Общества древонасаждения.

Растения-интродуценты, родина которых другие ландшафтные зоны не характерные для нашего города [15–21]. Они представляют природоохранную биологическую ценность, такие как Дуб черешчатый на Николаевском проспекте, ради сохранения которого изменили конфигурацию автотрассы, Каштан конский на просп. Мира, Тополь бальзамический на просп. Свободный; деревья, представляющие историко-

культурную ценность – Лиственницы, изображенные на картине внушки Вс. М. Крутовского (общественный деятель, публицист, один из основоположников сибирского садоводства, ученый-помолог, им создана полярная стелющая форма плодовых деревьев), произрастающие возле его дачи, которые сохранились до наших дней в Ботаническом саду, яблони им же селекционно созданные и высаженные в этом же саду, носящим его имя; лиственницы возле здания мужской гимназии на ул. Ленина; деревья, представляющие современную историко-культурную ценность –

Каштан конский на пр. Мира, посаженные мэром г. Красноярска П. И. Пимашковым, Ель колючая (форма голубая), посаженные ветеранами Великой отечественной войны, возле госпиталя ВОВ; посадки возле Аэрокосмического университета – Чермуха виргинская, посаженные 2021 г. космонавтом Александром Лазуткиным (с автором статьи) в честь 60-летия полета в космос Ю. Гагарина, Сосна сибирская кедровая, посаженная в честь Ю. А. Гарина, так как его позывной в полете был «Кедр».

Таким образом, в городе Красноярске необходимо провести работу по выявлению уникальных деревьев, интересных в историческом и биологическом плане, приданию им официального статуса, сохранению и защите. Данная программа будет способствовать охране, сохранению и популяризации природно-исторического наследия нашего города и региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Красное место. URL: <https://www.krasplace.ru/prebyvaniya-v-krasnoyarske-budushhego-imperatora-nikolaya-ii> (дата обращения: 22.12.2023).
2. Всероссийская программа «Деревья – памятники живой природы». URL: <https://rosdrevo.ru> (дата обращения: 02.02.2024).
3. Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» от 14.03.1995 № 33-ФЗ.
4. Пыркова А. Г. Система российского законодательства об особо охраняемых природных территориях и природных объектах // Актуальные проблемы экономики и права. 2010. № 2. С. 131–137.
5. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. Интродукция древесных растений в дендрарии СибГТУ // Лесной журнал. 2001. № 5–6. С. 24–29.
6. Усова Е. А. Фенотипическая изменчивость деревьев ореха маньчжурского в дендрарии СибГУ имени академика М. Ф. Решетнева // Вестник КрАСГАУ. 2018. № 4 С. 224–227.
7. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. Интродукция деревьев и кустарников в условиях юга Средней Сибири. Красноярск : СибГТУ, 1998. 128 с.
8. Постановление Правительства Красноярского края № 629-п от 1 декабря 2015 г. «О границах и режиме особой охраны территорий памятников природы краевого значения «озеро Абакшинское», «Дендрарий сибирского государственного технологического университета», «Березово-муравьиная роща», «Дендропарк в районе старого скита».
9. КГБУ «ООПТ Красноярского края». URL: www.doopt.ru (дата обращения: 02.02.2024).
10. Всероссийское общество охраны памятников истории и культуры. URL: <https://voopik.ru/our-heritage/status-cultural-heritage/> (дата обращения: 02.02.2024).
11. Буторин А. А. Роль Конвенции об охране всемирного наследия в сохранении биологического и ландшафтного разнообразия России // IV Всероссийском съезде по охране окружающей среды, Институт географии РАН, Москва, 2–4.12.2013 г. URL: <http://www.nhpfund.ru/world-heritage/russian-sites> – фонд «Охрана природного наследия» (дата обращения: 02.02.2024).

12. Большаков В. Н. К истории Обь-Енисейского водного пути (начало XX в.) // Вестник Томского государственного университета. 2007. № 295. С. 107–110.

13. Шестаков К. В., Федулова Д. Н. Состояние древесных интродуцентов в озеленении проспекта мира г. Красноярска // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. Красноярск, 2021. С. 208–211.

14. Рунова Е. М., Аношкина Л. В. Особенности прироста некоторых видов интродуцентов восточной Сибири на примере города Братска // Успехи современного естествознания. 2023. № 2. С. 30–35.

15. Рябовол С. В. Антипова Е. М. О новых и редких видах во флоре г. Красноярска // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока Чтения памяти Л. М. Черепнина. Т. 1. Красноярск : РИО КГПУ, 2006. С. 259–267.

16. Рябовол С. В. История исследования флоры г. Красноярска и его окрестностей // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока Чтения памяти Л. М. Черепнина : матер. Четвертой рос. конф. Т. 1. Красноярск : РИО КГПУ, 2006. С. 167–172.

17. Коропачинский И. Ю., Лоскутов Р. И. Древесные растения для озеленения Красноярска. Новосибирск : Академ. изд-во «Гео», 2014. 320 с.

18. Лоскутов Р. И. Цветение декоративных древесных растений в дендрарии Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН (Красноярск) // Вестник КрАСГАУ. 2011. Вып. 5. С. 16–20.

19. Авдеева Е. В., Кухар И. В., Иванов Д. В. Инвентаризационная оценка объектов озеленения города Красноярска // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XL, № 4. С. 242–249.

20. Якубов Х. Г., Авдеева Е. В. Озеленение как один из методов экологизации городского пространства // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. XXXIX, № 6. С. 385–391.

21. Лоскутов Р. И. Древесные растения-интродуценты в зеленом строительстве // Первая общегородская ассамблея «Красноярск. Технологии будущего». Красноярск, 2008. С. 34.

REFERENCES

1. Krasnoye mesto. URL: <https://www.krasplace.ru/prebyvaniya-v-krasnoyarske-budushhego-imperatora-nikolaya-ii> (data obrashcheniya: 22.12.2023).
2. Vserossiyskaya programma «Derev'ya – pamyatniki zhivoy prirody». URL: <https://rosdrevo.ru> (data obrashcheniya: 02.02.2024).
3. Federal'nyy zakon «Ob osobo okhranyayemykh prirodnym territoriyakh» ot 14.03.1995 № 33-FZ.
4. Pyr'kova A. G. Sistema rossiyskogo zakonodatel'stva ob osobo okhranyayemykh prirodnym territoriyakh i prirodnym ob'yektakh // Aktual'nyye problemy ekonomiki i prava. 2010. № 2. S. 131–137.
5. Matveyeva R. N., Butorova O. F. Introduksiya drevesnykh rasteniy v dendrarii SibGTU // Lesnoy zhurnal. 2001. № 5–6. S. 24–29.
6. Usova E. A. Fenotipicheskaya izmenchivost' derev'yev orekha man'chzhurskogo v dendrarii SibGU imeni akademika M. F. Reshetneva // Vestnik KrasGAU. 2018. № 4 S. 224–227.

7. Matveyeva R. N., Butorova O. F. *Introduktsiya derev'yev i kustarnikov v usloviyakh yuga Sredney Sibiri*. Krasnoyarsk : SibGTU, 1998. 128 s.

8. *Postanovleniye Pravitel'stva Krasnoyarskogo kraya № 629-p ot 1 dekabrya 2015 g. «O granitsakh i rezhime osoboy okhrany territoriy pamyatnikov prirody krayevogo znacheniya «ozero Abakshinskoye», «Dendrariy sibirskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta», «Berezovo-murav'inaya roshcha», «Dendrosad v rayone starogo skita»*.

9. KGBU «OOPT Krasnoyarskogo kraya». URL: www.doopt.ru (data obrashcheniya: 02.02.2024).

10. Vserossiyskoye obshchestvo okhrany pamyatnikov istorii i kul'tury. URL: <https://voopik.ru/our-heritage/status-cultural-heritage/> (data obrashcheniya: 02.02.2024).

11. Butorin A. A. Rol' Konventsii ob okhrane vsemirnogo naslediya v sokhraneni biologicheskogo i landshaftnogo raznoobraziya Rossii // IV Vserossiyskom s'yезде po okhrane okruzhayushchey sredy, Institut geografii RAN, Moskva, 2–4.12.2013 g. URL: <http://www.nhpfund.ru/world-heritage/russian-sites> — fond «Okhrana prirodnogo naslediya» (data obrashcheniya: 02.02.2024).

12. Bol'shakov V. N. K istorii Ob'-Eniseyskogo vodnogo puti (nachalo KhKh v.) // Vestnik tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2007. № 295. S. 107–110.

13. Shestak K. V., Fedulova D. N. Sostoyaniye drevesnykh introdutsentov v ozelenenii prospekta mira g. Krasnoyarska // Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy. Krasnoyarsk, 2021. S. 208–211.

14. Runova E. M., Anoshkina L. V. Osobennosti prirosta nekotorykh vidov introdutsentov vostochnoy

Sibiri na primere goroda Bratska // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2023. № 2. S. 30–35.

15. Ryabovol S. V., Antipova E. M. O novykh i redkikh vidakh vo flore g Krasnoyarska // Flora i rastitel'nost' Sibiri i Dal'nego Vostoka Chteniya pamyati L. M. Cherepnina. T. 1. Krasnoyarsk : RIO KGPU, 2006. S. 259–267.

16. Ryabovol S. V. Istoriya issledovaniya flory g Krasnoyarska i ego okrestnostey // Flora i rastitel'nost' Sibiri i Dal'nego Vostoka Chteniya pamyati L. M. Cherepnina : mater. Chetvertoy ros. konf. T. 1. Krasnoyarsk : RIO KGPU, 2006. S. 167–172.

17. Koropachinskiy I. Yu., Loskutov R. I. Drevesnyye rasteniya dlya ozeleneniya Krasnoyarska. Novosibirsk : Akadem. izd-vo «Geo», 2014. 320 s.

18. Loskutov R. I. Tsveteniye dekorativnykh drevesnykh rasteniy v dendrarii Instituta lesa im. V. N. Sukacheva SO RAN (Krasnoyarsk) // Vestnik KrasGAU. 2011. Vyp. 5. S. 16–20.

19. Avdeyeva E. V., Kukhar I. V., Ivanov D. V. Inventarizatsionnaya otsenka ob'yektov ozeleneniya goroda Krasnoyarska // Khvoynyye boreal'noy zony. 2022. T. XL, № 4. S. 242–249.

20. Yakubov Kh. G., Avdeyeva E. V. Ozeleneniye kak odin iz metodov ekologizatsii gorodskogo prostranstva // Khvoynyye boreal'noy zony. 2021. T. XXXIX, № 6. S. 385–391.

21. Loskutov R. I. Drevesnyye rasteniya-introdutsenty v zelenom stroitel'stve // Pervaya obshchegorodskaya assambleya «Krasnoyarsk. Tekhnologii budushchego». Krasnoyarsk, 2008. S. 34.

© Авдеева Е. В., Рудо А. И., 2024

Поступила в редакцию 07.02.2024
Принята к печати 22.07.2024

ОБЪЕМЫ СТВОЛОВ ОСИНЫ В ЗОНЕ ОСТРОВНЫХ ЛЕСОСТЕПЕЙ СРЕДНЕЙ СИБИРИ**С. В. Усов, С. Л. Шевелев, Н. Н. Кулакова, А. С. Зайцева**

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: shewel341@yandex.ru

Работа посвящена совершенствованию нормативной базы таксации древостоев Сибири. Многообразие лесорастительных условий этого огромного региона, опосредованное различными формами рельефа, многообразием почвенного покрова, различиями во влагообеспеченности, особенностями климата в значительной степени регламентируют не только породный состав древостоев, но и их производительность. Это обстоятельство требует разработки таксационных нормативов, соответствующих особенностям отдельных лесных биологических систем.

В работе на основе анализа объемообразующих факторов стволов осины в лесостепной зоне Средней Сибири установлены значительные отклонения в величине видовых высот по сравнению с используемыми. Проведена разработка объемной таблицы, учитывающей особенности формирования стволов осины и запасов древостоев в районе исследования. Проведенные исследования подтверждают значимость разработки региональных нормативов для определения объемов стволов и запасов, обладающих необходимой точностью, при оценке формирования древостоев и учете особенностей в динамике ряда объемообразующих признаков стволов деревьев осины, соответствующих объекту исследования. В основу работы положены материалы 4 пробных площадей, с рубкой и обмером 127 модельных деревьев.

Ключевые слова: лесостепи, Средняя Сибирь, видовая высота, видовая площадь поперечного сечения, объемная таблица, метод пробных площадей, модельные деревья.

*Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 4, P. 55–61***VOLUMES OF ASPEN TRUNKS IN THE ZONE OF ISLAND FOREST-STEPPES OF CENTRAL SIBERIA****S. V. Usov, S. L. Shevelev, N. N. Kulakova, A. S. Zaitseva**

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: shewel341@yandex.ru

The work is devoted to improving the regulatory framework for the taxation of Siberian stands. The variety of forest growing conditions in this vast region, mediated by various landforms, diversity of soil cover, differences in moisture availability, and climate features, largely regulate not only the species composition of stands, but also their productivity. This circumstance requires the development of taxation standards corresponding to the characteristics of individual forest biological systems.

Based on the analysis of the volume-forming factors of aspen trunks in the forest-steppe zone of Central Siberia, significant deviations in the magnitude of species heights compared to those used were established. A three-dimensional table has been developed that takes into account the peculiarities of the formation of aspen trunks and stand stocks in the study area. The conducted studies confirm the importance of developing regional standards for determining the volumes of trunks and stocks with the necessary accuracy when assessing the formation of stands and taking into account the dynamics of a number of volume-forming features of aspen tree trunks corresponding to the object of study. The work is based on materials from 4 trial areas, with cutting and measuring 127 model trees.

Keywords: forest steppe, Central Siberia, species height, specific area of cross-section, volume table, method of test areas, model trees.

ВВЕДЕНИЕ

В островных лесостепях Средней Сибири лиственные древостои, представленные чистыми и смешанными осинниками и березняками с участием со-

сны и лиственницы, являются преобладающими древесными растительными сообществами, рост, развитие и формирование которых обусловлены возрастающими антропогенными и техногенными воздей-

виями [3; 8; 21]. Безусловно, эти леса выполняют прежде всего экологические функции (водорегулирующие, почвозащитные и т. п.), однако это не снижает их ценность как источника древесной продукции, в том числе и экспортной [6; 17–19; 20]. Несмотря на то, что имеется достаточно обширный ряд исследований, посвященных изучению древостоев островных лесостепей [4; 7; 9; 12–15; 22; 23; 30; 33–35] многие вопросы требуют своего рассмотрения.

Организация хозяйства в осинниках должна опираться на четкое представление об особенностях формирования и качественного состояния их запасов и нормативную базу, соответствующую объекту исследования [29;36].

Мониторинг динамики депонирования углерода в различных лесных экосистемах показал, что в рейтинге древесных пород по способности к поглощению углерода осина занимает одно из первых мест [27; 28; 36].

Целью настоящей работы явилась разработка лесотаксационного норматива, учитывающего особенности формирования стволов осины и запасов древостоев в районе исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые исследования базировались на методе пробных площадей. Закладка пробных площадей велась в соответствии с требованиями отраслевого стандарта ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустойчивые. Методы закладки» [1].

Всего было заложено 4 пробные площади, с рубкой и обмером 127 модельных деревьев. Модельные деревья были обработаны общим порядком. Результаты обработки, характеризуют объемы, полндревесность, форму и сортиментную структуру стволов.

Обработка материалов проведена с использованием программного обеспечения: пакет анализа “Excel”, “Curve expert – 1.4”, “SPSS”.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Видовая высота является одним из наиболее часто используемых производных показателей при определении объемов стволов и запасов древостоев. С помощью этого показателя, определяемого по вспомогательной таблице, построенной на основе региональных объемных таблиц, определяется запас древостоя при таксации лесосек методом круговых реласкопических площадок [26; 31; 32]. Первые таблицы видовых чисел были опубликованы в «Наставлении по отводу и таксации лесосек в лесах СССР» [2].

Однако в этой таблице значения видовых высот в значительной степени усреднены и если видовые высоты для сосны, лиственницы, кедра определяются с учетом разряда высот, то для осины приведены только средние значения для всего ареала вида.

Полученные значения H_f были сопоставлены со значениями средних видовых высот из таблицы «Видовые высоты по породам и разрядам высот» (рис. 1).

Оказалось, что линии графиков, отображающие связь видовых высот с высотой, не совпадают. Причем при увеличении высоты разница возрастает, достигая 12,6 %, соответствующая этому отклонению и

величина ошибки при таксации объемов стволов и запасов древостоев. Следовательно, требуется корректировка нормативов для оценки этих характеристик.

Под термином «видовая площадь поперечного сечения ствола» понимают произведение площади сечения древесного ствола на видовое число – gf .

Произведение суммы площадей поперечных сечений ($\sum gf_{cp}$) на средние значения видовых чисел были использованы Н. П. Анучиным [5] и Н. В. Третьяковым [25] при расчетах формул для определения запасов древостоев различных пород.

В результате обработки данных модельных деревьев получен ряд видовых площадей сечения стволов осины различного диаметра. Среднее значение gf оказалось равным $0,0162 \pm 0,0012 \text{ м}^2$.

Видовая площадь поперечного сечения тесно связана с диаметром ствола ($r = 0,98$), высотой ($r = 0,80$), объемом ствола ($r = 0,99$), видовой высотой ($r = 0,70$) и видовым диаметром ($r = 0,96$).

Практическое значение имеет связь gf с диаметром ствола на высоте 1,3 м (D) (рис. 2). Анализ графика, отображенного на рис. 2, свидетельствует, что особая тесная связь между признаками наблюдается до ступени толщины 24 см. Затем происходит рассеивание ряда, однако оно не критично и вероятнее всего связано с изменениями формы стволов деревьев осины, достигших значительных размеров и произрастающих на относительно открытых пространствах. Такие деревья не испытывают в полной мере конкуренции за свет, минеральные вещества и т.п., что повышает изменчивость величины видовых чисел (f).

$$y = (a \cdot b + c \cdot x^d) / (b + x^d), \quad (1)$$

где $a = 0,00043148156$; $c = 0,97045815$; $b = 25375,466$; $d = 1,9651453$.

Путем табуляции полученного уравнения построена вспомогательная таблица для определения объемов стволов осины.

Исходной формулой определения объема ствола является общеизвестное математическое выражение:

$$V = ghf, \quad (2)$$

где V – объем ствола, м^3 ; g – площадь поперечного сечения ствола на высоте 1,3 м; h – высота ствола, м; f – старое видовое число.

В табл. 1 приведены расчетные значения gf осины.

Для определения объема ствола осины в древостоях лесостепной зоны Средней Сибири необходимо измерить его диаметр и высоту. Затем по диаметру найти значение gf по таблице, его произведение на высоту даст объем ствола.

Так, например, диаметр на 1,3 м – 20,3 см; высота – 22,6 м; $gf = 0,0140 \text{ м}^2$. Таким образом, $V = 0,0140 \cdot 22,6 = 0,3164 \text{ м}^3$.

Далее было проведено сопоставление объемов стволов осины найденных предложенным способом и по таблицам разработанным М. А. Данилиным [10; 11] для осинников южно-таежных лесов Средней Сибири и юго-западной части Восточного Саяна (рис. 3).

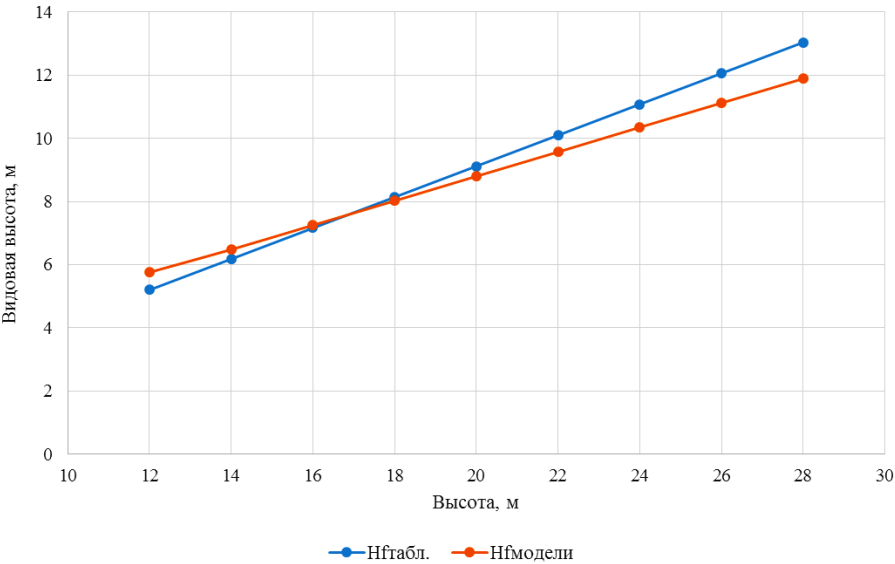


Рис. 1. Сопоставление видовых высот осины в районе исследования с табличными значениями

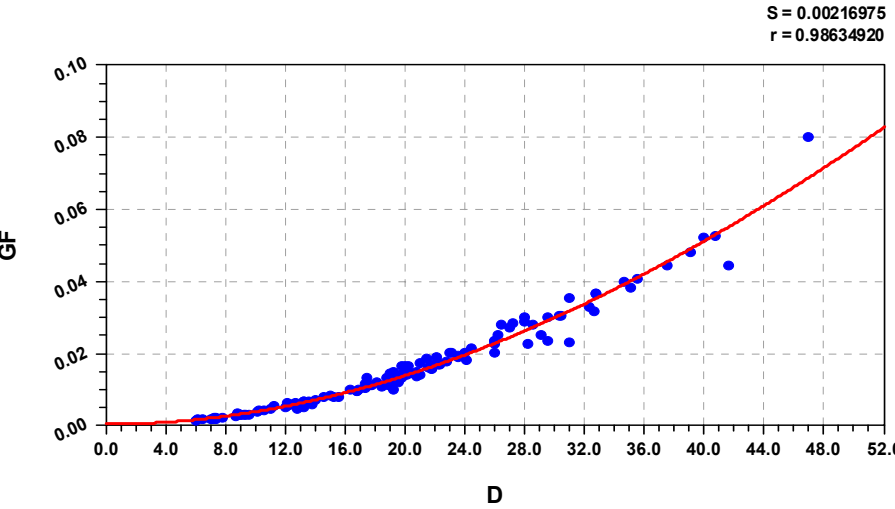


Рис. 2. Связь между видовыми площадями и диаметрами стволов осины

Таблица 1
Расчетные значения gf осины

Диаметр на 1,3 м, см	Видовая площадь поперечного сечения (gf), м²	Диаметр на 1,3 м, см	Видовая площадь поперечного сечения (gf), м²	Диаметр на 1,3 м, см	Видовая площадь поперечного сечения (gf), м²	Диаметр на 1,3 м, см	Видовая площадь поперечного сечения (gf), м²
4	0,0010	16	0,0092	28	0,0264	40	0,0514
5	0,0013	17	0,0103	29	0,0282	41	0,0538
6	0,0017	18	0,0115	30	0,0301	42	0,0562
7	0,0022	19	0,0127	31	0,0320	43	0,0587
8	0,0027	20	0,0140	32	0,0339	44	0,0612
9	0,0033	21	0,0154	33	0,0359	45	0,0638
10	0,0039	22	0,0167	34	0,0380	46	0,0664
11	0,0047	23	0,0182	35	0,0401	47	0,0690
12	0,0054	24	0,0197	36	0,0423	48	0,0717
13	0,0063	25	0,0213	37	0,0445	49	0,0745
14	0,0072	26	0,0229	38	0,0467	50	0,0772
15	0,0082	27	0,0246	39	0,0490	51	0,0800

Первая таблица помещена в «Лесотаксационном справочнике для южно-таежных лесов Средней Сибири» [16], вторая в «Справочном пособии по таксации лесов Сибири» [24].

Оказалось, что стволы деревьев осины лесостепной зоны произрастающих в смешанных древостоях, имеют несколько меньший объем по сравнению со стволами деревьев осины таежной зоны в крупных ступенях толщины.

В ступени толщины 48 см разница в объемах достигла 6,1 %.

Таблицу, полученную на основе показанных выше расчетов, можно рекомендовать для практического использования, поместив в справочные материалы таксатора, при лесоустройстве лесов лесостепной зоны Средней Сибири.

На основе этих данных построена объемная таблица, фрагмент которой помещен ниже (табл. 2).

Она не разделена на разряды, а построена по типу баварских таблиц. Такая конструкция норматива, делает его несколько громоздким, однако дробление данных позволяет получить искомые величины с большей точностью.

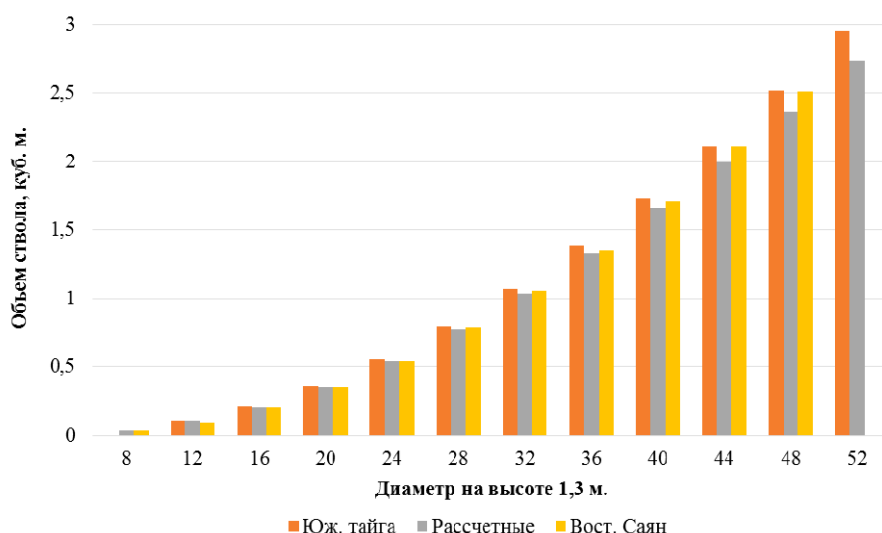


Рис. 3. Сопоставление полученных объемов с данными М. А. Данилина

Таблица 2
Фрагмент объемной таблицы

Высота, м		27	28	29	30	31
Диаметр на 1,3 м, см						
28	в коре	0,7128	0,7392	0,7656	0,7920	0,8184
	без коры	0,6429	0,6668	0,6906	0,7144	0,7382
29	в коре	0,7614	0,7896	0,8178	0,8461	0,8743
	без коры	0,6875	0,7130	0,7385	0,7640	0,7895
30	в коре	0,8115	0,8416	0,8716	0,9017	0,9317
	без коры	0,7336	0,7608	0,7879	0,8151	0,8423

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лиственные древостои лесостепной зоны Средней Сибири выполняют важные средообразующие и сырьевые функции.

Установление особенностей формирования таких древостоев позволяет использовать при их оценке, нормативы, обладающие необходимой точностью.

В результате выполнения настоящей работы установлены особенности изменения ряда объемообразующих признаков стволов деревьев осины, что позволило составить нормативы для определения объемов стволов и запасов, соответствующие объекту исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки. Москва : Государственный комитет по стандартам, 1982. 12 с.
- Наставление по отводу и таксации лесосек в лесах ССР: Гос. ком. лесного хоз-ва Совета Министров СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т лесоводства и механизации лесного хоз-ва (ВНИИЛМ) / Ленингр. науч.-исслед. ин-т лесного хоз-ва (ЛЕННИИЛХ) : Пушкино (Моск. обл.). Ленинград, 1972. 126 с.
- Антипова Е. М. Флора северных лесостепей Средней Сибири. Красноярск : РИО КГПУ, 2003. 464 с.

4. Антипова Е. М. Флора внутриконтинентальных островных лесостепей Средней Сибири. Красноярск : КГПУ, 2012. 662 с.
5. Анучин Н. П. Лесная таксация. Москва : Лесная промышленность, 1982. 552 с.
6. Бурков А. В., Выводцев Н. В. Оценка продуктивности осинового древостоя по данным государственной инвентаризации лесов // Ученые заметки ТОГУ. 2017. Т. 8, № 1-1. С. 173–177.
7. Высоцкий К. К. Закономерности строения смешанных древостоев. Москва : Гослесбумиздат, 1962. 177 с.
8. Защитное лесоразведение в лесостепи предволжья / И. Р. Галиуллин и др. // Экология природных систем. 2021. С. 11–19. Текст : электронный. Официальный портал : [сайт]. URL : <https://doi.org/10.24852/2411-7374> (дата обращения: 25.05.2024).
9. Данилин М. А. Строение, рост и товарная структура осинового древостоя центральных районов Красноярского края : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск, 1966. 24 с.
10. Данилин М. А. Таблица хода роста древостоев осины Центральных районов Красноярского края // Ход роста основных лесобразующих пород Сибири. Красноярск, 1975. С. 186–187.
11. Данилин М. А. Таблицы для таксации осинового насаждения Сибири : метод указания. Красноярск : КГАУ. 1998. 61 с.
12. Данилин И. М. Зависимости между таксационными признаками березовых древостоев // Лесная таксация и лесоустройство. 1987. С. 59–65.
13. Ефремова М. Н. Структура и особенности таксации березняков Канской лесостепи : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.03.02. Красноярск, 2018. 171 с.
14. Ефремова М. Н., Шевелев С. Л. Особенности роста древостоев в сосново-березовой формации в лесостепной зоне Средней Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. 37, № 2. С. 108–113.
15. Кудрявцев А. Ю. Трансформация лесных экосистем лесостепной зоны Среднего Поволжья // Экосистемы: экология и динамика. 2021. Т. 5, № 2. С. 57–85.
16. Лесотаксационный справочник для южно-таежных лесов Средней Сибири / [Сост.: С. Л. Шевелев и др.] // ВНИИЛМ. Москва, 2002. 166 с.
17. Маленко А. А., Чичкарев А. С. Мелиоративная роль лесных насаждений в засушливой степи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 8 (202). С. 55–60.
18. Неволин О. А. Динамика сосново-березового насаждения высшей продуктивности // Лесная таксация и лесоустройство : Межвуз. сб. науч. тр. Красноярск, 1991. С. 81–87.
19. Эколого-экономическая оценка древесных ресурсов Красноярского края / А. А. Онучин и др. // Лесная таксация и лесоустройство. 2012. № 1 (47). С. 116–122.
20. Пашко В. И. Биологическая продуктивность травяно-кустарникового яруса в сосняках Канской лесостепи : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.03.03. Красноярск, 1974. 31 с.
21. Сорокин М. С., Семеник Л. Ю., Шевелёв С. Л. Особенности строения берёзовых древостоев в ачинской лесостепи молодые ученые в решении актуальных проблем науки // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск, 2021. С. 87–89.
22. Спицына Н. Т. Биологическая продуктивность березняков Канской лесостепи в условиях антропогенного воздействия : монография. Красноярск : СибГТУ, 2014. 107 с.
23. Спицына Н. Т. Природные и экологические условия Канской лесостепи // Вестник КрасГАУ. 2014. № 2. С. 109–112.
24. Справочное пособие по таксации лесов Сибири [Текст] : [Таблицы] / [отв. ред. д-р с.-х. наук, проф. Э. Н. Фалалеев] // М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР. Сиб. технол. ин-т. Сиб. отд-ние АН СССР. Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сухачева. Всесоюз. объединение «Леспроект». Вост.-Сиб., Зап.-Сиб. и Прибайкальск. лесоустроит. предприятия. Красноярск. Т. 1. 1973. 216 с.
25. Третьяков Н. В., Горский П. В., Самойлович Г. Г. Справочник таксатора. Москва : Гослесбумиздат, 1952. 853 с.
26. Усов С. В., Кулакова Н. Н., Шевелев С. Л. Видовые высоты древостоев осины канской лесостепи. Лесной и химический комплексы – проблемы и решения // Сборник материалов по итогам Всерос. науч.-практ. конф. (21 октября 2022 г., Красноярск). Красноярск : СибГУ им. М. Ф. Решетнева. 2023. Текст : электронный // Красноярский край. Официальный портал : [сайт]. URL: <https://lhk.sibsau.ru/page/materialy-konferentsii> (дата обращения: 28.05.2024).
27. Совмещение баз данных о запасах углерода и его годичном депонировании в лесных экосистемах Северной Евразии / В. А. Усольцев и др. // Вестник БГТУ. Белгород, 2004. Ч. 1. № 8. С. 44–46.
28. Усольцев В. А. Депонирование углерода лесами Уральского региона России (по состоянию Гос. учета лесного фонда на 2007 г.). Екатеринбург, 2018. 265 с.
29. Организация устойчивого лесопользования в Красноярском крае / В. А. Соколов и др. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. 361 с.
30. Харитонцев Б. С., Аллаярова В. Р. Особенности березовых лесов юга Тюменской области // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2020. № 19(1). С. 198–202.
31. Шевелев С. Л., Ефремова М. Н. Связь между средними таксационными показателями древостоев березы в Красноярско-ачинско-канском лесостепном районе // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017. № 2 (356). С. 42–51.
32. Шевелев С. Л., Ефремова М. Н. Особенности объемобразующих показателей в древостоях Красноярско-ачинско-канской лесостепи // Хвойные бореальной зоны. 2018. Т. 36, № 1. С. 97–101.
33. Шевелев С. Л., Ефремова М. Н. Динамика депонирования углерода в березовых древостоях Канской лесостепи // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2022. № 62. С. 235–241.

34. Шевелев С. Л., Усов С. В., Романова Л. И. Оценка секвестрационного потенциала осиново-березовых древостоев островных лесостепей Средней Сибири // Известия вузов. Лесной журнал. 2024. Вып. 1. С. 9–22.

35. Романова Л. И., Усов С. В. Формирование стволов осины (*populus tremula* z.) В зоне островных лесостепей Средней Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39, № 3. С. 212–215.

36. Швиденко А. З., Щепашенко Д. Г. Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 69–92.

37. Шульга В. Д., Обельцев С. В., Шульга Д. В. Особенности степного лесоводства. Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2010, 366 с.

REFERENCES

1. OST 56-69-83. Ploshchadi probnyye lesoustroitel'nyye. Metody zakladki. Moskva : Gosudarstvennyy komitet po standartam, 1982. 12 s.

2. Nastavleniye po otvodu i taksatsii lesosek v lesakh SSR: Gos. kom. lesnogo khoz-va Soveta Ministrov SSSR. Vsesoyuz. nauch.-issled. in-t lesovodstva i mekhanizatsii lesnogo khoz-va (VNIILM) / Leningr. nauch.-issled. in-t lesnogo khoz-va (LENNILKh) : Pushkino (Mosk. obl.). Leningrad, 1972. 126 s.

3. Antipova E. M. Flora severnykh lesostepey Sredney Sibiri. Krasnoyarsk : RIO KGPU, 2003. 464 s.

4. Antipova E. M. Flora vnutrikontinental'nykh ostrovnykh lesostepey Sredney Sibiri. Krasnoyarsk : KGPU, 2012. 662 s.

5. Anuchin N. P. Lesnaya taksatsiya. Moskva : Lesnaya promyshlennost', 1982. 552 s.

6. Burkov A. V., Vyvodtsev N. V. Otsenka produktivnosti osinovykh drevostoyev po dannym gosudarstvennoy inventarizatsii lesov // Uchenyye zametki TOGU. 2017. T. 8, № 1-1. S. 173–177.

7. Vysotskiy K. K. Zakonomernosti stroyeniya smeshannykh drevostoyev. Moskva : Goslesbumizdat, 1962. 177 s.

8. Zashchitnoye lesorazvedeniye v lesostepi predvolzh'ya / I. R. Galiullin i dr. // Ekologiya prirodnikh sistem. 2021. S. 11–19. Tekst : elektronnyy. Ofitsial'nyy portal : [sayt]. URL : <https://doi.org/10.24852/2411-7374> (data obrashcheniya: 25.05.2024).

9. Danilin M. A. Stroyeniye, rost i tovarnaya struktura osinovykh drevostoyev tsentral'nykh rayonov Krasnoyarskogo kraya : avtoref. dis. ... kand. s./kh. nauk. Krasnoyarsk, 1966. 24 s.

10. Danilin M. A. Tablitsa khoda rosta drevostoyev osiny Tsentral'nykh rayonov Krasnoyarskogo kraya // Khod rosta osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Sibiri. Krasnoyarsk, 1975. S. 186–187.

11. Danilin M. A. Tablitsy dlya taksatsii osinovykh nasazhdeniy Sibiri : metod ukazaniya. Krasnoyarsk : KGAU. 1998. 61 s.

12. Danilin I. M. Zavisimosti mezhdru taksatsionnymi priznakami berezovykh drevostoyev // Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo. 1987. S. 59–65.

13. Efremova M. N. Struktura i osobennosti taksatsii bereznyakov Kanskoy lesostepi : dissertatsiya kandidata sel'skokhozyaystvennykh nauk : 06.03.02. Krasnoyarsk, 2018. 171 s.

14. Efremova M. N., Shevelev S. L. Osobennosti rosta drevostoyev v sosnovo-berezovoy formatsii v lesostepnoy zone Sredney Sibiri // Khvoynyye boreal'noy zony. 2019. T. 37, № 2. S. 108–113.

15. Kudryavtsev A. Yu. Transformatsiya lesnykh ekosistem lesostepnoy zony Srednego Povolzh'ya // Ekosistemy: ekologiya i dinamika. 2021. T. 5, № 2. S. 57–85.

16. Lesotaksatsionnyy spravochnik dlya yuzhnotayezhnykh lesov Sredney Sibiri / [Sost.: S. L. Shevelev i dr.] // VNIILM. Moskva, 2002. 166 s.

17. Malenko A. A., Chichkarev A. S. Meliorativnaya rol' lesnykh nasazhdeniy v zasushlivoy stepi // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. № 8 (202). S. 55–60.

18. Nevolin O. A. Dinamika sosnovo-berezovogo nasazhdeniya vysshey produktivnosti // Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo : Mezhdru. sb. nauch. tr. Krasnoyarsk, 1991. S. 81–87.

19. Ekologo-ekonomicheskaya otsenka drevesnykh resursov Krasnoyarskogo kraya / A. A. Onuchin i dr. // Lesnaya. taksatsiya i lesoustroystvo. 2012. № 1 (47). S. 116–122.

20. Pashko V. I. Biologicheskaya produktivnost' travyano-kustarnikovogo yarusa v sosnyakakh Kanskoy lesostepi : avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk : 06.03.03. Krasnoyarsk, 1974. 31 s.

21. Sorokin M. S., Semenik L. Yu., Shevel'ev S. L. Osobennosti stroyeniya berezovykh drevostoyev v achinskoy lesostepi molodyye uchenyye v reshenii aktual'nykh problem nauki // Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. Krasnoyarsk, 2021. S. 87–89.

22. Spitsyna N. T. Biologicheskaya produktivnost' bereznyakov Kanskoy lesostepi v usloviyakh antropogennogo vozdeystviya : monografiya. Krasnoyarsk : SibGTU, 2014. 107 s.

23. Spitsyna N. T. Prirodnyye i ekologicheskyye usloviya Kanskoy lesostepi // Vestnik KrasGAU. 2014. № 2. S. 109–112.

24. Spravochnoye posobiye po taksatsii lesov Sibiri [Tekst] : [Tablitsy] / [otv. red. d-r s.-kh. nauk, prof. E. N. Falaleyev] // M-vo vyssh. i sred. spets. obrazovaniya RSFSR. Sib. tekhnol. in-t. Sib. otd.-niye AN SSSR. In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukhacheva. Vsesoyuz. ob'yedineniye «Lesproyekt». Vost.-Sib., Zap.-Sib. i Pribaykal'sk. lesoustroitel. predpriyatiya. Krasnoyarsk. T. 1. 1973. 216 s.

25. Tret'yakov N. V., Gorskiy P. V., Samoylovich G. G. Spravochnik taksatora. Moskva : Goslesbumizdat, 1952. 853 s.

26. Usov S. V., Kulakova N. N., Shevelev S. L. Vidovyye vysoty drevostoyev osiny kanskoy lesostepi. Lesnoy i khimicheskoy kompleksy – problemy i resheniya // Sbornik materialov po itogam Vseros. nauch.-prakt. konf. (21 oktyabrya 2022 g., Krasnoyarsk). Krasnoyarsk : SibGU im. M. F. Reshetneva. 2023. Tekst : elektronnyy // Krasnoyarskiy kray. Ofitsial'nyy portal : [sayt]. URL : <https://lhk.sibsau.ru/page/materialy-konferentsii> (data obrashcheniya: 28.05.2024).

27. Sovmeshcheniye baz dannyykh o zapasakh ugleroda i ego godichnom deponirovaniy v lesnykh

ekosistemakh Severnoy Evrazii / V. A. Usol'tsev i dr. // Vestnik BGTU. Belgorod, 2004. Ch. 1. № 8. S. 44–46.

28. Usol'tsev V. A. Deponirovaniye ugleroda lesami Ural'skogo regiona Rossii (po sostoyaniyu Gos. ucheta lesnogo fonda na 2007 g.). Ekaterinburg, 2018. 265 s.

29. Organizatsiya ustoychivogo lesopol'zovaniya v Krasnoyarskom kraye / V. A. Sokolov i dr. Novosibirsk : Izd-vo SO RAN, 2009. 361 s.

30. Kharitontsev B. S., Allayarova V. R. Osobennosti berezovykh lesov yuga Tyumenskoy oblasti // Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii. 2020. № 19(1). S. 198–202.

31. Shevelev S. L., Efremova M. N. Svyaz' mezhdru srednimi taksatsionnymi pokazatelyami drevostoyev berezy v Krasnoyarsko-achinsko-kanskom lesostepnom rayone // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 2017. № 2 (356). S. 42–51.

32. Shevelev S. L., Efremova M. N. Osobennosti ob'yemoobrazuyushchikh pokazateley v drevostoyakh Krasnoyarsko-achinsko-kanskoy lesostepi // Khvoynyye boreal'noy zony. 2018. T. 36, № 1. S. 97–101.

33. Shevelev S. L., Efremova M. N. Dinamika deponirovaniya ugleroda v berezovykh drevostoyakh Kanskoy lesostepi // Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa. 2022. № 62. S. 235–241.

34. Shevelev S. L., Usov S. V., Romanova L. I. Otsenka sekvestratsionnogo potentsiala osinovo-berezovykh drevostoyev ostrovnykh lesostepey Sredney Sibiri // Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal. 2024. Vyp. 1. S. 9–22.

35. Romanova L. I., Usov S. V. Formirovaniye stvolov osiny (populus tremula z.) V zone ostrovnykh lesostepey Sredney Sibiri // Khvoynyye boreal'noy zony. 2021. T. 39, № 3. S. 212–215.

36. Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G. Uglerodnyy byudzhnet lesov Rossii // Sibirskiy lesnoy zhurnal. 2014. № 1. S. 69–92.

37. Shul'ga V. D., Obel'tsev S. V., Shul'ga D. V. Osobennosti stepnogo lesovodstva. Volgograd : Izd-vo VolGU, 2010, 366 s.

© Усов С. В., Шевелев С. Л.,
Кулакова Н. Н., Зайцева А. С., 2024

Поступила в редакцию 20.05.2024
Принята к печати 22.07.2024

**РЕГЕНЕРАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ЧЕРЕНКОВ ДЕКОРАТИВНЫХ ФОРМ И СОРТОВ
ПУЗЫРЕПЛОДНИКА КАЛИНОЛИСТНОГО ПРИ ИНТРОДУКЦИИ
В НИЖЕГОРОДСКУЮ ОБЛАСТЬ**

А. Ю. Миронова, Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов

Нижегородский государственный агротехнологический университет
Российская Федерация, 603107, г. Нижний Новгород, просп. Гагарина, 97
E-mail: lesfak@bk.ru

Изучали регенерационную способность черенков декоративных форм и сортов пузыреплодника калинолистного (*Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim.) при их интродукции в Нижегородскую область. Актуальность работы обусловлена неослабевающей потребностью в расширении и оптимизации перечня видов древесных и кустарниковых растений, используемых в создании многофункциональных городских насаждений. В их числе перспективны представители рода Пузыреплодник (*Physocarpus* (Cambess.) Maxim.), способные эффективно выполнять свои санитарно-гигиенические, декоративно-эстетические и рекреационно-бальнеологические функции. Цель исследования – дать сравнительную оценку декоративных форм и сортов пузыреплодника по способности к укоренению их черенков в условиях сезонных вегетационных сооружений. Объектом исследования явились одновозрастные репродуктивно зрелые растения вегетативного происхождения, относящиеся к типичной форме исследуемого вида и его сортам: 'Лутеус' (*P. opulifolius* f. 'Luteus'), 'Саммер Вайн' (*P. opulifolius* f. 'Summer Wine'), 'Диабло' (*P. opulifolius* f. 'Diabolo'). По действующему лесорастительному районированию территория дислокации опытных участков относится к зоне хвойно-широколиственных лесов, хвойно-широколиственному лесному району Европейской части Российской Федерации (3 лесорастительный район). Работы проведены полевым стационарным и лабораторным методом. Методологический подход предусматривал соблюдение принципа единственного логического различия и базовых требований к организации опыта: типичности, пригодности и целесообразности. Предметом исследований были процессы каллусогенеза, ризогенеза и пострегенеративного развития, протекающие на летних черенках при их укоренении.

Ключевые слова: пузыреплодник калинолистный, интродукция, стеблевые черенки, вегетационные сооружения, укоренение, каллусогенез, ризогенез.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 4, P. 62–74

**REGENERATIVE ABILITY OF CUTTINGS OF DECORATIVE FORMS
AND VARIETIES OF COMMON NINEBARK WHEN INTRODUCED
TO THE NIZHNY NOVGOROD REGION**

A. Y. Mironova, N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov

Nizhny Novgorod State Agrotechnological University
97 Gagarin Av., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation
E-mail: lesfak@bk.ru

The regenerative ability of cuttings of decorative forms and varieties of common ninebark (*Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim.) was studied during their introduction to the Nizhny Novgorod region. The relevance of the work is due to the unrelenting need to expand and optimize the list of species of woody and shrubby plants used in the creation of multifunctional urban plantings. Among them, representatives of the genus Ninebark (*Physocarpus* (Cambess.) Maxim.) are promising, able to effectively perform their sanitary and hygienic, decorative and aesthetic, recreational and balneological functions. The purpose of the study is to give a comparative assessment of decorative forms and varieties of pempfigus according to the ability of their cuttings to root in conditions of seasonal vegetation structures. The object of research were reproductively mature plants of vegetative origin of the same age, belonging to the typical form of the species under study and its varieties: 'Luteus' (*P. opulifolius* f. 'Luteus'), 'Summer Wine' (*P. opulifolius* f. 'Summer Wine'), 'Diablo' (*P. opulifolius* f. 'Diabolo'). According to the current forest zoning, the territory of the deployment of experimental plots belongs to the zone of coniferous-deciduous forests, coniferous-deciduous forest area of the European part of the Russian Federation (3 forest area). The work was carried out using a field stationary and laboratory method. The methodological approach provided for the observance of the principle of the only logical difference and the basic requirements for the organization of experience: typicality, suitability and expediency. The

subject of research was the processes of callusogenesis, rhizogenesis and post-regenerative development occurring on summer cuttings during their rooting.

Keywords: common ninebark, introduction, stem cuttings, vegetation structures, rooting, callusogenesis, rhizogenesis.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире экологическая обстановка урбанизированных территорий далека от соответствия требованиям санитарных норм [25; 29; 45], что неразрывно связано с непрекращающимся ростом объемов нежелательных выбросов, связанных с деятельностью человека, в их атмосферу [25; 41; 46]. Её наибольшее напряжение традиционно наблюдается в мегаполисах [29; 31], к числу которых можно отнести многие крупные города Российской Федерации с их промышленными предприятиями, энергогенерирующими производствами, плотной сетью транспортных артерий и другими элементами инженерной инфраструктуры, выступающими неизбежными источниками загрязнения окружающей среды. В наши дни эта проблема приобрела поистине глобальные масштабы [45; 46], вызывая необходимость экстренного принятия неотложных мер по её купированию и ослаблению сопутствующих негативных эффектов [25; 31; 45; 46]. Это весьма сложные задачи, которые зачастую усугубляются непростыми организационно-техническими и финансово-экономическими аспектами или же исторически сложившейся спецификой градостроительства. Вместе с тем, специалисты, призванные их решать, имеют в своем арсенале весьма действенные инструменты и средства. Прежде всего, это последовательное создание системы объектов комплексного озеленения, предназначенных для выполнения санитарно-гигиенических, декоративно-эстетических и рекреационно-бальнеологических функций [13; 16; 33; 34]. Результативность предпринимаемых в этой связи усилий в немалой степени определяется корректностью формирования регионально ориентированного ассортимента древесных пород, что зачастую предполагает активное вовлечение в их состав наиболее ценных и хорошо адаптированных интродуцентов. К числу последних с полным основанием отнесены многочисленные виды деревьев и кустарников семейства Розовые (*Rosaceae* Juss.), в составе которого определен интерес представляет пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim.). Однако в Нижегородской области его декоративные формы и сорта пока еще не получили должного распространения. Нередко их активное вовлечение в практическую сферу сдерживается отсутствием регионально адаптированных технологий вегетативного размножения, что особенно важно при работе с сортовым материалом. В силу указанных обстоятельств весьма актуальны всесторонние исследования особенностей их биологии, поиск оптимальных режимов укоренения черенков [18; 32].

Цель исследования – оценить регенерационную способность физиологически активных стеблевых черенков декоративных форм и сортов пузыреплодника калинолистного при интродукции в Нижегородскую область.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований служили одновозрастные репродуктивно зрелые растения, относящиеся к типичной форме исследуемого вида и его сортам: 'Лютесц' (*P. opulifolius* f. 'Luteus'), 'Саммер Вайн' (*P. opulifolius* f. 'Summer Wine'), 'Диабло' (*P. opulifolius* f. 'Diabolo'), которые имели вегетативное происхождение. Им были присвоены условные номерные литеры: сорт 1 (типичная форма); сорт 2 ('Лютесц'); сорт 3 ('Саммер Вайн'); сорт 4 ('Диабло'). Все они были расположены в границах одного опытного участка с координатами 56°14'32.7''N 43°57'20.7''E и высотой над уровнем моря 178 м. Согласно действующему лесорастительному районированию территория его дислокации относится к зоне хвойно-широколиственных лесов, хвойно-широколиственному лесному району Европейской части Российской Федерации (3 лесорастительный район). В нем сложились достаточно благоприятные для произрастания многих древесных и кустарниковых пород почвенно-климатические условия [1; 2; 35], что в свою очередь создало необходимые предпосылки для результативной интродукции в указанный регион большого числа видов инорайонной дендрофлоры [3–6; 10–13; 22–24; 26; 43]. Предметом исследования явились процессы каллусогенеза, ризогенеза и пострегенеративного развития корневых систем, образующихся в базальной части черенков. Методологический подход предусматривал соблюдение принципа единственного логического различия и основных требований к построению эксперимента – его типичности, пригодности, надежности, целесообразности. В соответствии с этим маточные кусты имели одинаковый возраст (7 лет) и располагались в пределах единого участка. Их фенологическое состояние на момент отбора биологических образцов характеризовалось как фаза активной вегетации и роста побегов, ксилема которых достигла полудревесневшего состояния, а листья приобрели типичную для вида и его сортов форму, окраску и размеры. Черенковый материал заготавливали одновременно в периферии среднего яруса хорошо освещенного участка кроны. Приросты с признаками аномального развития и следами повреждений биотическими или абиотическими факторами отбраковывались. Черенки высаживали на глубину 5 см по единым схемам размещения (10 × 5 см) в идентичных по конструкции и метрическим параметрам летних вегетационных сооружений с однотипным укрытием (агротекстиль 30±3 г/м²), автоматизированной системой орошения и одинаковым субстратом (речной песок).

Расположение вариантов опыта в них рендомизированное. Контроль над параметрами среды осуществляли с помощью автоматической метеостанции METEOSCAN PRO 929 RST02929. Фоновым стимулятором регенерационных и ростовых процессов слу-

жил гетероауксин в концентрации 0,02 % с экспозицией 18 часов при температуре 20°C, контролем являлась вода [14; 15; 28; 42; 44]. Работы проведены в 2023 г. полевым стационарным и лабораторными методами, в рамках которых тестировались показатели регенерационной способности черенков (табл. 1). Первичная единица выборки представлена разовым замером каждого из тестируемых параметров всех вариантов и повторностей опыта. Высоту надземной части черенков и протяженность отросших корней измеряли линейкой с точностью до 1 мм, диаметр шейки корня – электронным штангенциркулем (Colt Electronic Digital Caliper – G06064731) с точностью до 0,1 мм. При испытании эффективности стимуляторов и выявлении реакции растительных организмов на их применение принимали во внимание ранее накопленный опыт [8; 9; 19; 30]. Первичную лесоводственную информацию обрабатывали общепринятыми методами статистического анализа, тесноту корреляций устанавливали по шкале Чеддока [27; 38; 39]. Помимо параметров непосредственного учета и фиксации в схему опыта были введены производные показатели, такие как индексы, отношения, коэффициенты и т. п. [5–7; 36].

Такой подход позволяет получить более полные сведения об объектах изучения, чем операции только с прямыми признаками, и традиционен в биологических [20; 21] и лесоводственных [36; 37; 40; 47] исследованиях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выявлена реакция черенков типичной формы и декоративных сортов пузыреплодника калинолистного на испытываемые режимы стимулирующей обработки и условия произрастания в летних вегетацион-

ных сооружениях (рис. 1–3). Параметры надземной части укорененных черенков, достигнутые ими на окончание вегетационного периода, обладали хорошо заметной неоднородностью, которая проявилась и при стимулирующей обработке, и в контроле (см. рис. 1). В частности, по высоте надземной части черенков (см. рис. 1, а) в варианте с применением гетероауксина наибольшее среднее значение ($17,79 \pm 0,62$ см) превысило соответствующее наименьшее ($13,91 \pm 0,50$ см) – в 1,28 раза или на 3,88 см. При этом в контрольном варианте расхождения подобных оценок были значительно меньше: максимум ($14,83 \pm 0,39$ см) превысил минимум ($13,44 \pm 0,37$ см) только в 1,10 раза или на 1,39 см. По диаметру шейки корня (см. рис. 1, б) аналогичные действия дали сопоставимый результат. На фоне стимулирующей обработки наибольшее среднее значение ($0,72 \pm 0,04$ см) превысило соответствующий минимум ($0,39 \pm 0,03$ см) – в 1,86 раза или на 0,33 см.

Как и в предыдущем случае в контрольном варианте оценки были сопоставимы по величине и более выровнены: максимум ($0,62 \pm 0,03$ см) превосходил минимум ($0,54 \pm 0,04$ см) в 1,15 раза или на 0,08 см. Количество образовавшихся боковых побегов (см. рис. 1, в) и их суммарная длина (см. рис. 1, г) имели свои особенности в распределении и соотношении описательных статистик при сохранении в той или иной мере общих тенденций.

Масса отдельных фракций черенков также была подвержена фенотипической изменчивости (см. рис. 2). В частности, масса центрального стебля (в нашем случае собственно черенковая фракция надземной части) в варианте со стимулирующим воздействием принимала значения от $0,64 \pm 0,037$ г ('Диаболо') до $2,11 \pm 0,114$ г (типичная форма).

Таблица 1

Показатели регенерации и пострегенеративного развития корневых систем и надземной части черенков пузыреплодника калинолистного

Категории показателей регенерации и развития	Показатели активности процессов регенерации и пострегенеративного развития черенков	Условное обозначение
Эффективность пострегенеративного развития надземной части черенков	высота надземной части черенков	признак 1
	диаметр корневой шейки черенков	признак 2
	количество отросших боковых побегов на черенке	признак 3
	суммарная длина боковых побегов на черенке	признак 4
	масса центрального стебля – масса черенковой части укорененного черенка	признак 5
	масса листового аппарата	признак 6
	суммарная масса отросших боковых побегов на черенке	признак 7
Эффективность регенерации – регенерационные процессы, развивающиеся на нижнем срезе черенков	эффективность каллусогенеза – формирование недифференцированной образовательной ткани (каллуса) на нижнем срезе черенка	признак 8
	активность ризогенеза – количество придаточных корней, образовавшихся в базальной части отдельного черенка	признак 9
Эффективность пострегенеративного развития корневых систем	длина лидирующего корня	признак 10
	общая протяженность корневых систем	признак 11
	суммарная длина боковых корневых корней	признак 12
	доля длины боковых корней в суммарной протяженности корневых систем	признак 13
	общая суммарная масса придаточных корней	признак 14
	индекс сбалансированного развития укорененных черенков – отношение массы осевого стебля к суммарной массе придаточных корней	признак 15

Такое их соотношение сформировало преобладание большего над меньшим в 3,31 раза или на 1,47 г. Обобщенное по всем сортообразцам среднее (Total) составило $1,22 \pm 0,066$ г. Листовая масса (см. рис. 2, б) не столь динамична, и на фоне обобщенного среднего ($0,51 \pm 0,024$ г) её максимальная оценка $0,67 \pm 0,060$ г (типичная форма) превысила минимальную $0,40 \pm 0,034$ г ('Диаболо') в 1,68 раза или на 0,27 г. Остальные признаки (масса придаточных корней и боковых приростов) обладали свойственной им картиной варьирования.

Процессы возникновения и развития новообразований при укоренении черенков, как и другие группы признаков, характеризуются некоторым расхождением их оценок, что видно при сравнении испытываемых форм и сортов в условиях стимулирующей обра-

ботки их черенков гетероауксином (см. рис. 3). При этом они выглядели вполне однородными по способности генерировать каллус (см. рис. 3 а). Наибольшее среднее значение ($82,33 \pm 3,232$ %), зафиксированное у типичной формы, только в 1,11 раза или на 8,33 % превысило соответствующий минимум ($74,00 \pm 2,861$ %), наблюдавшийся у сорта 'Диаболо'. Обобщенное среднее значение при этом занимало медианную позицию ($78,50 \pm 1,610$ %). Аналогичное заключение можно сделать касательно количества образовавшихся корней: от $24,87 \pm 0,717$ шт. (типичная форма) до $27,00 \pm 0,866$ шт. ('Диаболо'), при обобщенном среднем значении (Total) $25,75 \pm 0,373$ шт. В этом случае большая оценка превысила меньшую лишь в 1,09 раза или на 2,13 шт.

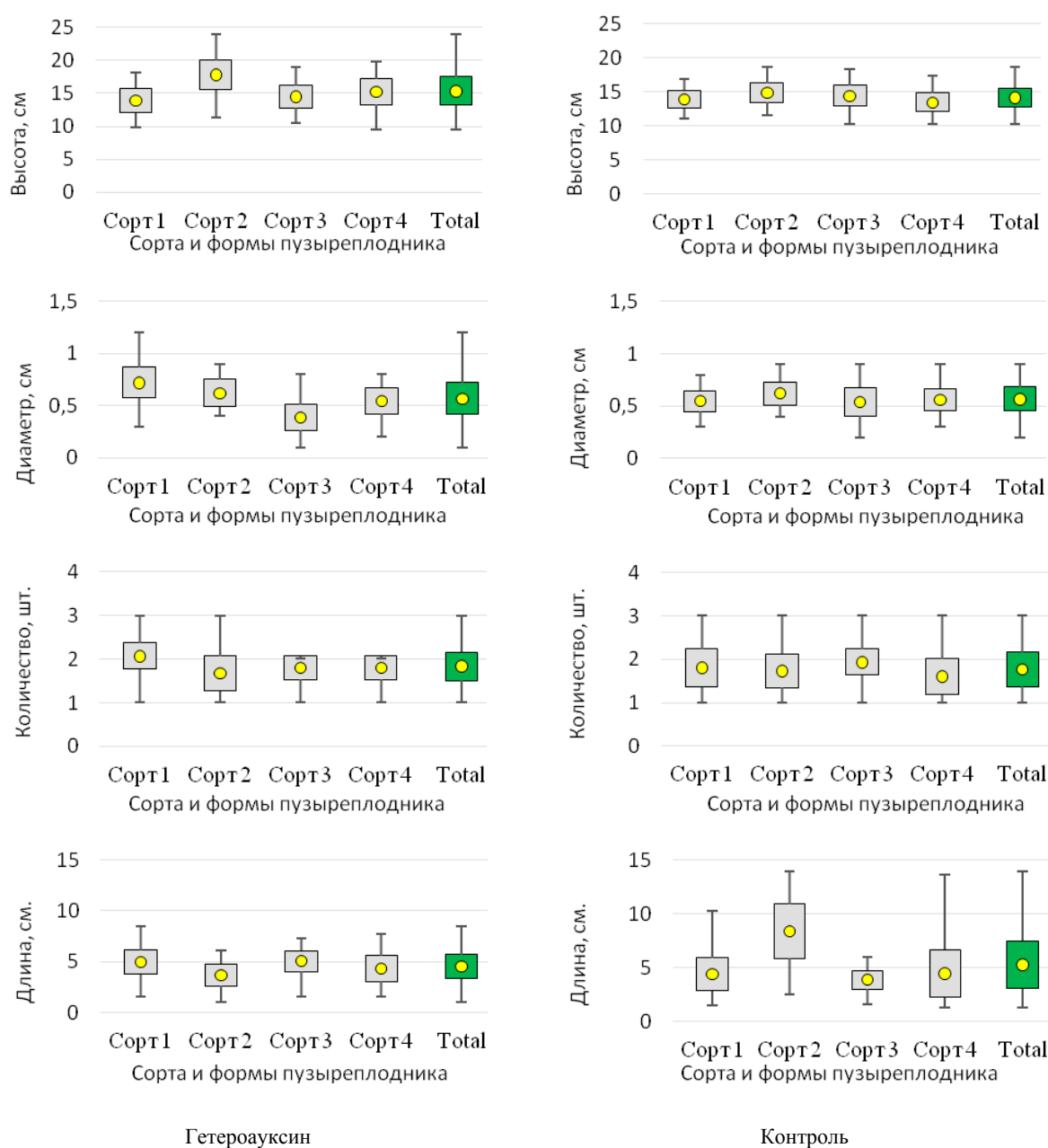


Рис. 1. Параметры надземной части укорененных черенков (среднее значение, $\pm 2/3\sigma$, лимиты):

а – высота; **б** – диаметр шейки корня; **в** – количество боковых побегов; **г** – суммарная длина боковых побегов

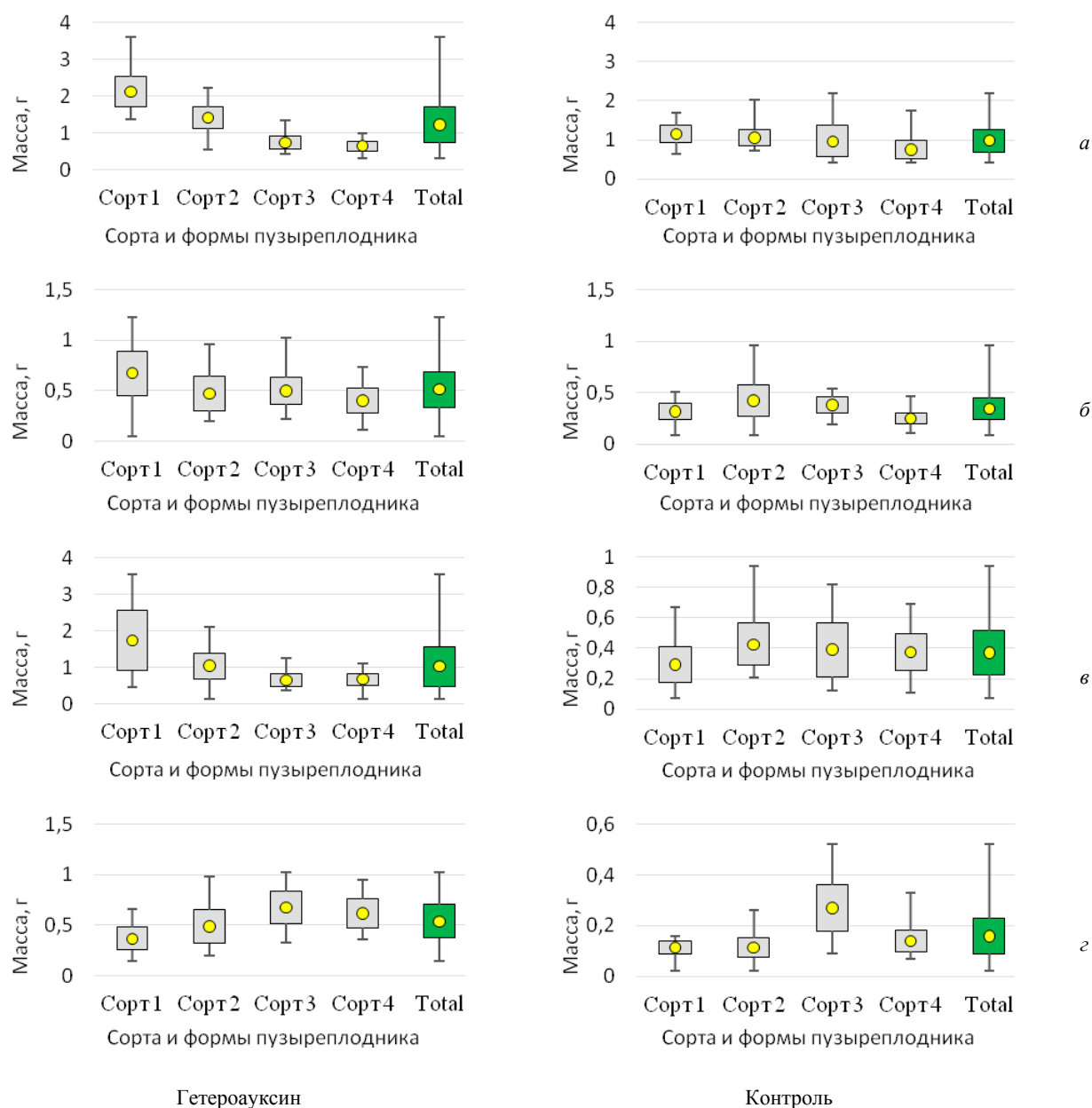


Рис. 2. Масса отдельных фракций укорененных черенков (среднее значение, $\pm 2/3\sigma$, лимиты):

а – центральный стебель (черенковая часть); б – листовой аппарат; в – придаточные корни; г – боковые побеги

Опыт был воспроизведен при использовании вместо раствора гетероауксина обычной воды при той же экспозиции (см. рис. 1–3). Замечено, что в ряде случаев (высота надземной части, масса центрального стебля и придаточных корней, каллусогенез) тенденции в распределении значений устойчиво сохранились. В то же время по другим характеристикам описываемых процессов подобная синхронность отсутствовала.

Оценить масштабы различий в оценках регенерационной активности испытываемых сортов и выявить степень влияния на их проявление генотипической специфики последних, позволил однофакторный дисперсионный анализ (табл. 2, 3). В ходе проведения исследований было установлено, что сравниваемые сорта и типичная форма пузыреплодника калинолист-

ного существенно различаются между собой по всему перечню анализируемых характеристик развития черенков и регенерационных процессов, происходящих в их базальной части (см. табл. 2). Для большей части признаков (8 из 15) опытные критерии Фишера ($F_{\text{оп}} = 4,02 \dots 81,10$) уверенно превышают предельно допустимые значения для заданного числа степеней свободы как на 5-процентном, так и на 1-процентном уровне значимости ($F_{05} = 2,69$; $F_{01} = 3,96$).

В отношении количества боковых побегов (признак 3) статистическая значимость получила подтверждение на 5-процентном уровне значимости и не имела его на 1-процентном уровне. В остальных случаях (6 из 15) (признаки 8–13) существенных различий между сравниваемыми объектами исследований установлено не было.

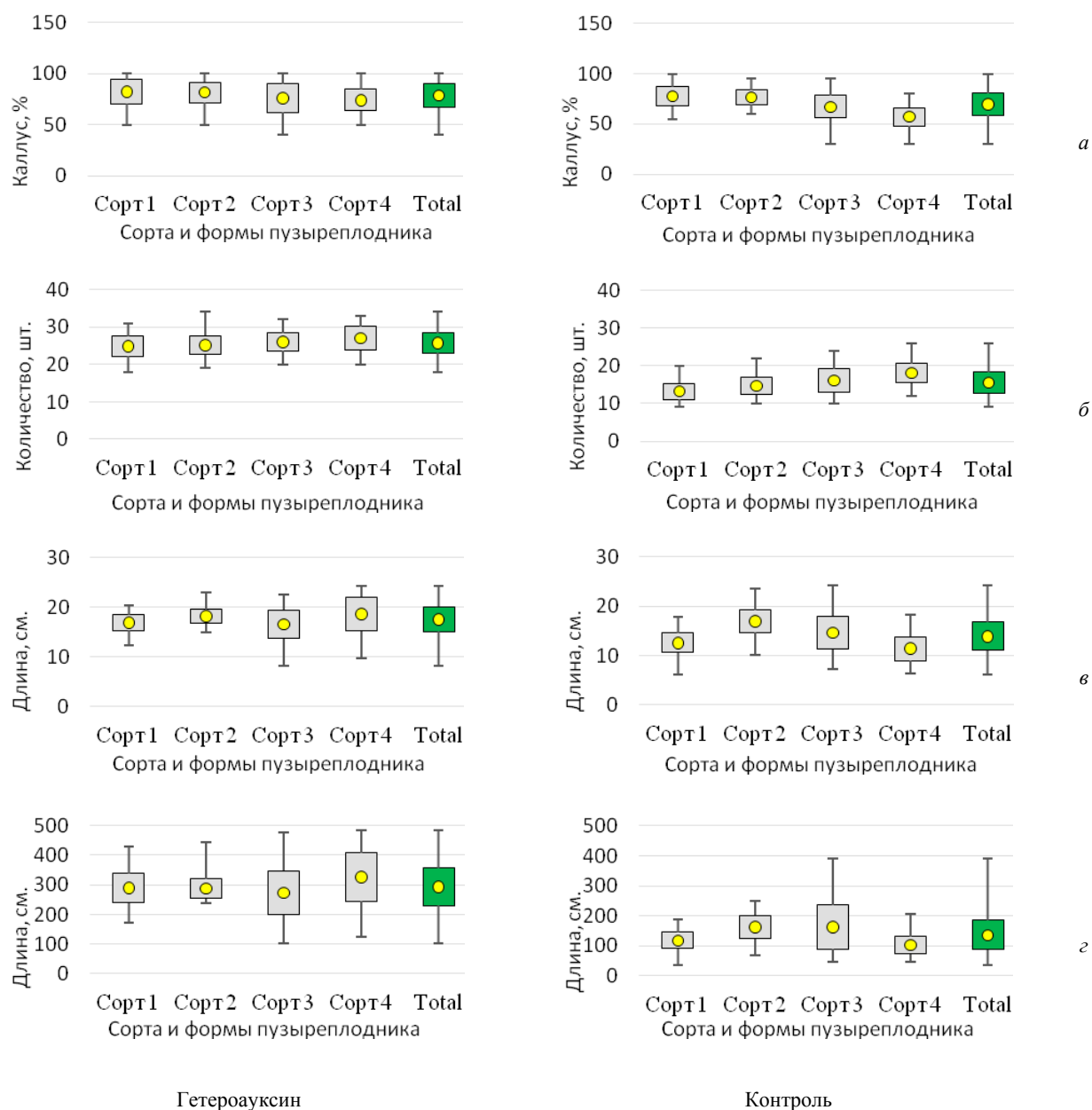


Рис. 3. Процессы регенерации и пострегенеративного развития корневых систем (среднее значение, $\pm 2/3\sigma$, лимиты):

а – каллусогенез; б – ризогенез; в – длина лидирующего (осевого) корня; г – суммарная длина придаточных корней

Таблица 2

Существенность различий между формами и сортами пузыреплодника в регенеративной способности черенков при их укоренении с применением гетероауксина¹

Признаки	F _{оп}	Доля влияния фактора (h ² ± s _h ²)						Критерии различий	
		по Плохинскому			по Снедекору				
		h ²	± s _h ²	F _h ²	h ²	± s _h ²	F _h ²	HCP ₀₅	D ₀₅
Признак 1	10,30	0,2103	0,0204	10,298	0,2366	0,0197	11,984	1,495	2,082
Признак 2	14,90	0,2781	0,0187	14,897	0,3166	0,0177	17,912	0,102	0,142
Признак 3	3,75	0,0884	0,0236	3,748	0,0839	0,0237	3,542	0,243	0,338
Признак 4	4,02	0,0942	0,0234	4,023	0,0915	0,0235	3,896	0,883	1,230
Признак 5	81,10	0,6772	0,0083	81,103	0,7275	0,0070	103,244	0,213	0,297
Признак 6	6,59	0,1457	0,0221	6,593	0,1571	0,0218	7,209	0,126	0,176
Признак 7	11,59	0,2307	0,0199	11,594	0,2610	0,0191	13,655	0,113	0,157
Признак 8	1,67	0,0415	0,0248	1,674	0,0220	0,0253	0,869	8,943	12,455
Признак 9	1,69	0,0420	0,0248	1,694	0,0226	0,0253	0,895	2,073	2,887

Окончание таблицы 2

Признаки	F _{оп}	Доля влияния фактора (h ² ± s _h ²)						Критерии различий	
		по Плохинскому			по Снедекору				
		h ²	± s _h ²	F _h ²	h ²	± s _h ²	F _h ²	HCP ₀₅	D ₀₅
Признак 10	2,18	0,0533	0,0245	2,179	0,0378	0,0249	1,520	1,883	2,622
Признак 11	1,79	0,0443	0,0247	1,792	0,0257	0,0252	1,021	48,104	66,995
Признак 12	1,79	0,0443	0,0247	1,794	0,0258	0,0252	1,024	46,416	64,644
Признак 13	1,41	0,0352	0,0250	1,412	0,0136	0,0255	0,532	0,006	0,008
Признак 14	15,76	0,2895	0,0184	15,759	0,3297	0,0173	19,022	0,360	0,502
Признак 15	6,31	0,1404	0,0222	6,314	0,1505	0,0220	6,850	0,606	0,844

¹Показатели: $F_{оп}$ – опытное значение критерия Фишера; $F_{05/01}$ – табличное значение критерия Фишера на 5-процентном и на 1-процентном уровне значимости ($F_{05/01} = 2,69/3,96$); h^2 – доля влияния организованного фактора; $\pm s_h^2$ – ошибка доли влияния организованного фактора; F_h^2 – критерий достоверности доли влияния организованного фактора; HCP₀₅ – наименьшая существенная разность на 5-процентном уровне значимости; D₀₅ – критерий Тьюки на 5-процентном уровне значимости; число первичных единиц выборки каждого признака – 120 п.е.в.; общая емкость базы данных дисперсионного комплекса – 1800 дата-единиц.

Полученный итог первого этапа дисперсионного анализа, позволил отвергнуть нулевую гипотезу для признаков с подтвержденной существенностью различий и продолжить его в части вычисления оценок эффективности влияния организованного фактора (различия между формами и сортами) на формирование общего фона фенотипической дисперсии. В расчетах по алгоритму Плохинского для признаков с подтвержденной существенностью различий доля его влияния достаточно высока, неодинакова по величине и составляет от $8,84 \pm 2,36$ % (признак 3) и $9,42 \pm 2,34$ % (признак 4) до $67,72 \pm 0,83$ % (признак 5). Надежность таких оценок иллюстрируется величиной критериев достоверности показателя силы влияния фактора ($F_h^2 = 3,748...81,103$), превысивших соответствующие им табличные значения критерия Фишера ($F_{05} = 2,69$; $F_{01} = 3,96$). В то же время подобные оценки характеристик каллусо- и ризогенеза (признаки 8, 9), равно как и линейных параметров корней (признаки 10–12) или их отношения (признак 13), были значительно ниже (от $3,52 \pm 2,50$ % до $5,33 \pm 2,45$ %) при неподтвержденной статистической значимости. Возможной причиной снижения контрастности рассматриваемых фенотипических различий испытываемых сортов и типичной формы пузыреплодника является достижение каждым из них максимума своего биологического потенциала (характерного для вида в целом) в укоренении черенков на фоне стимулирующей предпосадочной обработки. Доля случайных факторов, под влиянием которых формируется остаточная дисперсия, практически всегда преобладала и в целом составила от 32,28 % (признак 5) до 96,48 % (признак 13). Включение в процедуру вычислений алгоритма Снедекора дало вполне сопоставимые итоги (по ряду признаков даже несколько большие), что подтвердило устойчивый характер оценок, надежность результатов данного этапа дисперсионного анализа, и успешность его завершения (см. табл. 2). Оценки силы влияния фактора (h^2) в этом случае сохранили статистическую значимость ($F_h^2 > F_{05}/F_{01}$) либо не подтвердили её ($F_h^2 < F_{05}/F_{01}$) по тем же признакам, что и в расчетах по алгоритму Плохинского.

Критерии различий (HCP₀₅ и D₀₅) обозначили порог, выше которого расхождения в тестируемых при-

знаках достигали уровня существенных. Так, по высоте надземной части черенка (см. рис. 1, а) средние величины типичной формы пузыреплодника по аналогичным статистикам существенно отклонялись только от одного из сопоставляемых в дисперсионном комплексе сортов (*P. opulifolius* f. 'Luteus'). Аналогичные заключения можно сделать в отношении сортов 'Саммер Вайн' (*P. opulifolius* f. 'Summer Wine') и 'Диабло' (*P. opulifolius* f. 'Diabolo'). В то же время сорт 'Лютееус' (*P. opulifolius* f. 'Luteus') имел три существенных отличия от остальных (все возможные варианты сопоставления значений за исключением самого себя). Такая же картина сложилась и при использовании в парном сравнении оценок D-критерия Тьюки как более жесткого показателя. Полученные оценки диаметра корневой шейки (см. рис. 1, б) для всех исследованных в опыте сортообразцов демонстрировали существенность различий между ними (см. табл. 2) как с использованием в качестве индикатора существенности различий наименьшей существенной разности (HCP₀₅), так и D-критерия Тьюки (D₀₅). Для типичной формы пузыреплодника подобное утверждение справедливо для двух случаев парного сопоставления при использовании наименьшей существенной разности (HCP₀₅). Такое же заключение можно сделать в отношении сорта 'Диабло' (*P. opulifolius* f. 'Diabolo'). В рассматриваемом дисперсионном комплексе сорт 'Лютееус' (*P. opulifolius* f. 'Luteus') только в одном случае попарного сравнения показал существенность различий, в то время как сорт 'Саммер Вайн' (*P. opulifolius* f. 'Summer Wine') – в трех. Выполнение подобных математических манипуляций по другим признакам (см. табл. 2) вскрыл характерные для каждого из них особенности соотношения в средних значениях каждого из сортов (см. рис. 2, 3) при укоренении их черенков с применением гетероауксина.

Аналогичные действия, предпринятые для контрольного варианта опыта (см. табл. 3), привели к достижению вполне сопоставимых итогов при хорошо понятной специфике для каждого из испытываемых сортов по всем тестируемым характеристикам регенерационных процессов, происходящих при укоренении их черенков (см. рис. 1–3).

Таблица 3

Существенность различий между формами и сортами пузыреплодника в регенеративной способности черенков при их укоренении без обработки стимулятором¹

Признаки	F _{оп}	Доля влияния фактора (h ² ± s _h ²)						Критерии различий	
		по Плохинскому			по Снедекору				
		h ²	± s _h ²	F _h ²	h ²	± s _h ²	F _h ²	HCP ₀₅	D ₀₅
Признак 1	2,46	0,0598	0,0243	2,459	0,0464	0,0247	1,881	1,075	1,497
Признак 2	1,37	0,0342	0,0250	1,370	0,0122	0,0255	0,477	0,087	0,122
Признак 3	1,69	0,0418	0,0248	1,687	0,0224	0,0253	0,885	0,299	0,417
Признак 4	16,12	0,2943	0,0183	16,122	0,3351	0,0172	19,491	1,457	2,029
Признак 5	4,97	0,1139	0,0229	4,968	0,1168	0,0228	5,114	0,213	0,296
Признак 6	8,20	0,1750	0,0213	8,205	0,1936	0,0209	9,286	0,075	0,104
Признак 7	24,44	0,3872	0,0158	24,436	0,4386	0,0145	30,206	0,042	0,059
Признак 8	13,69	0,2615	0,0191	13,694	0,2973	0,0182	16,361	7,248	10,094
Признак 9	8,49	0,1801	0,0212	8,492	0,1998	0,0207	9,657	1,984	2,763
Признак 10	12,20	0,2399	0,0197	12,203	0,2719	0,0188	14,440	1,949	2,714
Признак 11	6,07	0,1358	0,0224	6,074	0,1447	0,0221	6,540	35,115	48,905
Признак 12	5,77	0,1298	0,0225	5,768	0,1371	0,0223	6,146	33,440	46,572
Признак 13	0,18	0,0047	0,0257	0,182	-0,0280	0,0266	-1,054	0,017	0,023
Признак 14	2,11	0,0517	0,0245	2,106	0,0356	0,0249	1,425	0,109	0,151
Признак 15	6,31	0,1404	0,0222	6,314	0,1505	0,0220	6,850	0,606	0,844

¹Обозначение показателей как в табл. 2.

Можно констатировать, что сравниваемые сорта и типичная форма пузыреплодника калинолистного существенно различаются между собой по всему перечню анализируемых характеристик развития черенков и процессов новообразований, происходящих в их базальной части (см. рис. 1–3, табл. 2, 3). Поскольку неоднородность представителей исследуемых форм и сортов по их регенеративной способности проявились в условиях выровненного экологического фона (как для маточных растений, так и для черенков), имеются все основания признать наследственный характер определенной части зафиксированной фенотипической изменчивости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Типичная форма и декоративные сорта пузыреплодника калинолистного при их вегетативном размножении в условиях г. Нижнего Новгорода способны обеспечивать протекание регенерационных процессов, вызывающих формирование корневых систем и развитие надземной части стеблевых черенков, заготовленных в фазе активной вегетации растений. Показатели каллусо- и ризогенеза, а также пострегенеративного развития надземной части и корневых систем черенков исследуемых растений неодинаковы, что во многом обусловлено особенностями их генотипов. Наследственный характер выявленных различий между сравниваемыми формами и сортами пузыреплодника калинолистного декларируется фактом произрастания маточных растений на одном опытном участке с одинаковыми экологическими условиями и использованием для укоренения их черенков однотипных теплиц с одинаковым субстратом, общими режимами освещения, орошения, аэрации и температуры, едиными схемами размещения посадочных мест и прочими равными биологическими и технологическими параметрами среды. Он получил надежное подтверждение результатами дисперсионного анали-

за, выполненного как для варианта применения стимулирующей обработки гетероауксином, так и для служившего контролем случая выдерживания черенков в воде.

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, 1935. 67 с.
3. Бабаев Р. Н., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Лигнификация ксилемы разных видов березы при интродукции в условиях Нижегородской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 235. С. 40–56. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.40-56.
4. 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. 2022. № 1. С. 59–71. DOI 10.21178/2079-6080.2022.1.59.
5. Бабаев Р. Н., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Пигментация листовых пластин представителей рода береза (*Betula* L.) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26, № 3. С. 29–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-29-38.
6. Бабаев Р. Н., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Многопараметрический анализ пигментного состава листового аппарата представителей рода *Betula* L. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природо-

пользование. 2023. № 3 (59). С. 42–54. DOI: 10.25686/2306-2827.2023.3.42.

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

8. Стимулирующий эффект применения биологически активных препаратов в укоренении черенков представителей семейства Барбарисовые (Berberidaceae Juss.) / В. П. Бессчетнов, Н. Н. Бессчетнова, Н. А. Лукоянова, А. В. Локтева // Ландшафтная архитектура и природообустройство: от проекта до экономики – 2024 : матер. XIII Междунар. науч.-практ. конф. : г. Саратов – Нижний Новгород : 4–5 апреля 2024 г. Саратов – Нижний Новгород : Вавиловский университет, НГТУ, 2024. С. 263–271.

9. Бессчетнов В. П., Кентбаев Е. Ж. Опыт зеленого черенкования облепихи крушиновидной в условиях юго-востока Казахстана // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 4. С. 56–62. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.56.

10. Рост сеянцев ели Шренка (*Picea schrenkiana*) в условиях интродукции в Нижегородскую область / Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, Б. А. Кентбаева, Е. Ж. Кентбаев, Е. И. Мамонов, В. Е. Запольнов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 238. С. 67–87. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.67-87.

11. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Котынова М. Ю. Сезонный характер содержания пигментов в хвое туи западной в условиях Нижегородской области // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2022. № 3. С. 38–58. DOI 10.21178/2079-6080.2022.3.3.

12. Сравнительная оценка сортов туи западной (*Thuja occidentalis* L.) по морфометрическим показателям шишек / Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, А. В. Локтева, М. Ю. Котынова, В. Г. Королев // Ландшафтная архитектура и природообустройство: от проекта до экономики – 2024 : матер. XIII Междунар. науч.-практ. конф. : г. Саратов-Н. Новгород : 4–5 апреля 2024 г. Саратов-Н. Новгород : Вавиловский университет, НГТУ, 2024. С. 232–239.

13. 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. Вып. 247. С. 188–208. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.188-208.

14. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Храмов Р. Н. Влияние модифицированного фотолуминофором агротекстиля спанбонд на укоренение черенков туи западной (*Thuja occidentalis* L.) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28, № 2. С. 17–26. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-17-26.

15. Синтетические укрытия вегетационных сооружений с интегрированным фотолуминофором в укоренении черенков туи западной / Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, Р. Н. Храмов, Н. А. Бабич, В. И. Мелехов // Известия вузов. Лесной журнал. 2024. Вып. 2. С. 29–48. DOI:10.37482/0536-1036-2024-2-29-48.

16. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Дифференциация пылезадерживающей способности кроны тополей // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. Вып. 5. С. 48–64. DOI:10.37482/0536-1036-2021-5-48-64.

17. Укореняемость черенков тиса канадского (*Taxus canadensis* Marshall) в экологических условиях Нижегородского Поволжья / Н. Н. Бессчетнова, А. В. Кулькова, А. В. Вышегородцев, А. И. Широков // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии : матер. Междунар. науч.-практ. конф. : г. Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под общ. ред. Н. Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Нижегородская ГСХА. 2019. С. 139–145.

18. Бессчетнова Н. Н., Миронова А. Ю. Применение фотолуминофора в вегетационных сооружениях при размножении черенками пузыреплодника калинолистного // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений : матер. XXV Междунар. науч. конф.: г. Красноярск, 19 апреля 2022 г. / отв. ред. Р. Н. Матвеева. Т. 25. Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, 2022. С. 15–19.

19. Видоспецифичность регенеративной способности черенков тиса при интродукции в Нижегородскую область / А. В. Вышегородцев, Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, А. И. Широков // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 2. С. 118–132. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-2-118-132.

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

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

22. 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. 2021. Т. XXXIX, № 3. С. 180–190.

23. 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, 2022. Т. 26. № 1. С. 17–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27.

24. Внутривидовая изменчивость состояния ксилемы побегов лиственницы сибирской при интродукции в Нижегородскую область / А. О. Есичев, Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, Е. Ж. Кентбаев, Б. А. Кентбаева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2021. № 3(51). С. 28–40. DOI: 10.25686/2306-2827.2021.3.28.

25. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России / А. С. Исаев, Г. Н. Коровин, В. И. Сухих, С. П. Титов, А. И. Уткин, А. А. Голуб,

Д. Г. Замолодчиков, А. А. Пряжников. Москва : Центр экологической политики России, 1995. 156 с.

26. Изменчивость содержания хлорофилла в хвое биоты восточной при интродукции / Б. А. Кентбаева, Е. Ж. Кентбаев, К. П. Мурадов, Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов // Ландшафтная архитектура и природообустройство: от проекта до экономики – 2024 : матер. XIII Междунар. науч.-практ. конф. : г. Саратов – Нижний Новгород : 4–5 апреля 2024 г. Саратов – Нижний Новгород : Вавиловский университет, НГТУ, 2024. С. 204–213.

27. Сила связи. Сообщение 2. Градации величины корреляции / А. Н. Котеров, Л. Н. Ушенкова, Э. С. Зубенкова, М. В. Калинина, А. П. Бирюков, Е. М. Ласточкина, Д. В. Молодцова, А. А. Вайнсон // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2019. Т. 64. № 6. С. 12–24. DOI: 10.12737/1024-6177-2019-64-6-12-24.

28. Котынова М. Ю., Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н. Укоренение черенков декоративных форм туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в теплицах // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : матер. XVIII Междунар. науч.-техн. конф. : г. Вологда, 1 декабря 2020 г. / отв. ред. С. М. Хамитова. Вологда : ВоГУ, 2020. С. 147–149.

29. Кулагин Ю. З. Древесные растения и промышленная среда. Москва : Наука, 1974. 125 с.

30. Кулькова А. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Применение стимулирующей обработки в укоренении черенков ели Коники // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. С. 79–91. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.79-91.

31. Ляховенко О. И., Чулков Д. И. Основные экологические проблемы российских городов и стратегия их разрешения // Русская политология – Russian political science. 2017. № 3 (4). С. 21–26.

32. Развитие черенков декоративных форм и сортов пузыреплодника калинолистного при укоренении с использованием свето-трансформирующих укрытий / А. Ю. Миронова, Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, А. А. Гаврилова // Лесное хозяйство: актуальные проблемы и пути их решения : сб. науч. ст. по матер. Всерос. (нац.) науч.-практ. конф. : г. Нижний Новгород, 25 ноября 2022 г. / под общ. ред. Н. Н. Бессчетновой. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА, 2022. С. 314–324.

33. 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.

34. 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 : матер. XX Всерос. (нац.) науч.-техн. конф. студ. и асп. Екатеринбург : Уральский гос. лесотехнический университет, 2024. С. 303–308.

35. Полуяхтов К. К. Лесорастительное районирование Горьковской // Биологические основы повыше-

ния продуктивности и охраны лесных, луговых и водных фитоценозов Горьковского Поволжья. Горький : ГГУ, 1974. С. 4–20.

36. Усольцев В. А., Плюха Н. И., Цепордей И. С. Отношение диаметра кроны к диаметру ствола: всеобщие модели лесобразующих видов Евразии // Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. XLII, № 1. С. 36–42. DOI: 10.53374/1993-0135-2024-1-36-42.

37. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Babich N. A., Bryntcev V. A. Differentiation of the plus trees of Scots pine on the physiological status of xylem // Russian Forestry Journal. 2023. № 4. Pp. 9–25. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-9-25.

38. Bruce D., Reineke L. H. Correlation alignment charts in forest research. A method of solving problems in curvilinear multiple correlation. USA Department of Agriculture, Washington. Technical Bulletin № 210. February 1931. 88 p. DOI: 10.22004/ag.econ.162756.

39. Chaddock R. E. Principles and methods of statistics. Boston, New York: Houghton Mifflin Company. 1925. 471 p. DOI: 10.1177/000271622612300150.

40. Dawkins H.C. Crown diameters: their relation to bole diameter in tropical forest trees // The Commonwealth Forestry Review. 1963. Vol. 42, no. 4(114). Pp. 318–333. URL: <https://www.jstor.org/stable/42603453>.

41. Hager H., Haslinger R., Schume H. Productivity and LAI of floodplain forest sites in relationships to water supply // Ecology (Bratislava). Journal for ecological problem of the biosphere. 1999. Vol. 18, Supplement 1/1999. Pp. 5–14.

42. The effectiveness of agrotexile cover with organic photoluminophore in rooting cuttings of Hungarian lilac (*Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rchb.) / R. N. Khranov, N. V. Martynova, N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov, Y. N. Luponosov // BIO Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference “Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy” (SDGE 2021). Section Agrobiotechnology in Crop and Livestock Production. 2022. Vol. 42, Article Number 01017. Number of page(s) 7. Pp. 1–7. DOI: 10.1051/bioconf/20224201017.

43. Growth of Schrenk's Spruce (*Picea schrenkiana*) Seedlings Related to the Pre-Sowing Stimulating Seed Treatment / A. V. Kul'kova, N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov, Y. Zh. Kentbaev, B. A. Kentbaeva // Russian Forestry Journal. 2022. No. 4. Pp. 39–51. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-39-51.

44. Effectiveness of stimulating treatment cuttings of privet common (*Ligustrum vulgare* L.) with biologically active preparations / N. V. Martynova, N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov, R. V. Martynov // Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats, solutions. International Forestry Forum: Voronezh, Russian Federation, 9–10 September 2021, Voronezh, Russian Federation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. Vol. 875. Article number 012081. Total pages 8. Pp. 1–8. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012081.

45. Oszlanyi J. Consequences of anthropic impact on Danube floodplain forests in Slovakia // Ecology (Bratislava). Journal for ecological problem of the biosphere. 1999. Vol. 18, Supplement 1/1999. Pp. 103–110.

46. Palmroth, S. Boreal forest and climate change – from processes and transport to trees, ecosystems and atmosphere // *Silva Fennica*. 2009. Vol. 43. Is. 4, article id. 461. Pp. 711–713. DOI: 10.14214/sf.461.

47. Wang B., Bu Y., Tao G. Yan C., Zhou X., Li W., Zhao P., Yang Y., Gou R. Quantifying the effect of crown vertical position on individual tree competition: total overlap index and its application in sustainable forest management // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Article number 7498, Total pages 18. Pp. 1–18. DOI: 10.3390/su12187498.

REFERENCES

1. Averkiev D. S. Istorija razvitija rastitel'nogo pokrova Gor'kovskoj oblasti i ee botaniko-geograficheskoe delenie // *Uchenye zapiski Gor'kovskogo universiteta*. Gor'kij, 1954. Vyp. XXXV. Pp. 119–136. (In Russ.)

2. Alyokhin V. V. Ob#jasnitel'naja zapiska k geobotanicheskim kartam (sovremennoj i vosstanov-lennoj) byvshej Nizhegorodskoj gubernii (v masshtabe 1:500.000). Leningrad – Gor'kij : Gor'kovskij gosudarstvennyj universitet, 1935. 67 p. (In Russ.)

3. Babaev R. N., Besschetnova N. N., Besschetov V. P. Lignifikacija ksilemy raznyh vidov berezy pri introdukcii v uslovijah Nizhegorodskoj oblasti // *Izvestija Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2021. Vyp. 235. Pp. 40–56. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.40-56 (In Russ.)

4. Babaev R. N., Besschetnova N. N., Besschetov V. P. Soderzhanie i balans zapasnyh veshhestv v pobegah aborigennoj i introducirovannyh v Nizhegorodskuju oblast' vidov i form berezy // *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozjajstva*. 2022. № 1. Pp. 59–71. DOI 10.21178/2079-6080.2022.1.59. (In Russ.)

5. Babaev R. N., Besschetnova N. N., Besschetov V. P. Pigmentacija listovyh plastin predstavitelej roda bereza (*Betula* L.) // *Lesnoj vestnik / Forestry Bulletin*, 2022. T. 26, № 3. Pp. 29–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-29-38. (In Russ.)

6. Babaev R. N., Besschetnova N. N., Besschetov V. P. Mnogoparametricheskij analiz pigmentnogo sostava listovogo apparata predstavitelej roda *Betula* L. // *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Serija: Les. Jekologija. Prirodopol'zovanie*. 2023. № 3 (59). Pp. 42–54. DOI: 10.25686/2306-2827.2023.3.42. (In Russ.)

7. Besschetov V. P., Besschetnova N. N. Selekcionnaja ocenka pljusovyh derev'ev sosny obyknovennoj metodami mnogomernogo analiza // *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. № 2/326. 2012, pp. 58–64. (In Russ.)

8. Besschetov V. P., Besschetnova N. N. Lukoyanova N. A., Lokteva A. V. Stimulirujushhij jeffekt primeneniya biologicheskij aktivnyh preparatov v ukorenении черенков представителеj семеjstva *Barbarisovye* (*Berberidaceae* Juss.) // *Landshaftnaja arhitektura i prirodoobustrojstvo: ot proekta do jekonomiki – 2024. Mater. XIII Mezhd. nauch.-prakt. konf.: g. Saratov - Nizhnij Novgorod: 4-5 aprelya 2024 g.* Saratov – Nizhnij Novgorod : Vavilovskij universitet, NGATU, 2024 Pp. 263–271. (In Russ.)

9. Besschetov V. P., Kentbaev E. J. Opyt zelenogo cherenkovaniya oblepihi krushinovidnoj v uslovijah jugovostoka Kazahstana // *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2018. № 4. Pp. 56–62. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.56. (In Russ.)

10. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Kentbaeva B. A., Kentbaev E. Zh., Mamonov E. I., Zapol'nov V. E. Rost sejancev eli Shrenka (*Picea schrenkiana*) v uslovijah introdukcii v Nizhegorodskuju oblast' // *Izvestija Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2022. Vyp. 238. Pp. 67–87. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.67-87. (In Russ.)

11. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Kotynova M. Ju. Sezonnyj harakter soderzhanija pigmentov v hvoe tui zapadnoj v uslovijah Nizhegorodskoj oblasti // *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozjajstva*. 2022. № 3. Pp. 38–58. DOI 10.21178/2079–6080.2022.3.3. (In Russ.)

12. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Lokteva A. V., Kotynova M. Ju., Korolev V. G. Sravnitel'naja ocenka sortov tui zapadnoj (*Thuja occidentalis* L.) po morfometricheskim pokazateljam shishek // *Landshaftnaja arhitektura i prirodoobustrojstvo: ot proekta do jekonomiki – 2024. Mater. XIII Mezhd. nauch.-prakt. konf. : g. Saratov – N. Novgorod : 4–5 aprelya 2024 g.* Saratov – N. Novgorod : Vavilovskij universitet, NGATU, 2024. Pp. 232–239. (In Russ.)

13. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Panikarov I. I. Pylezaderzhivajushhaja sposobnost' hvoi eli koljuchej v nasazhdenijah g. Nizhnego Novgoroda // *Izvestija Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2024. Vyp. 247. Pp. 188–208. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.188-208. (In Russ.)

14. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Hramov R. N. Vlijanie modifitsirovannogo fotoljuminoforom agrotekstilja spanbond na ukorenenie cherenkov tui zapadnoj (*Thuja occidentalis* L.) // *Lesnoj vestnik / Forestry Bulletin*, 2024. T. 28. № 2. Pp. 17–26. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-17-26. (In Russ.)

15. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Hramov R. N., Babich N. A., Melekov V. I. Cinteticheskie ukrytija vegetacionnyh sooruzhenij s integrirovannym fotoljuminoforom v ukorenении черенков tui zapadnoj // *Izvestija vuzov. Lesnoj zhurnal*. 2024. Vyp. 2. Pp. 29–48. DOI:10.37482/0536-1036-2024-2-29-48. (In Russ.)

16. Besschetnova N. N., Besschetnov P. V. Differenciacija pylezaderzhivajushhej sposobnosti krony topolej // *Izvestija vuzov. Lesnoj zhurnal*. 2021. Vyp. 5. Pp. 48–64. DOI:10.37482/0536-1036-2021-5-48-64. (In Russ.)

17. Besschetnova N. N., Kul'kova A. V., Vyshegorodcev A. V., Shirokov A. I. Ukorenjaemost' cherenkov tisa kanadskogo (*Taxus canadensis* Marshall) v jekologicheskijh uslovijah Nizhegorodskogo Povolzh'ja // *Jekonomicheskie aspekty razvitija APK i lesnogo hozjajstva. Lesnoe hozjajstvo Sojuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii : Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf: g. Nizhnij Novgorod, 26 sentjabrja 2019 g. / pod obshh. red. N. N. Besschetnovoj.* Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskaja GSHA. 2019. Pp. 139–145. (In Russ.)

18. Besschetnova N. N., Mironova A. Ju. Primenenie fotoljuminofora v vegetacionnyh sooruzhenijah pri

- razmnozhenii cherenkami puzyreplodnika kalinolistnogo // *Plodovodstvo, semenovodstvo, introdukcija drevesnyh rastenij. Mater. XXV mezhd. nauch. konf.: g. Krasnojarsk, 19 aprlja 2022 g.* / otv. red. R. N. Matveeva. T. 25. Krasnojarsk : Sibirskij gosudarstvennyj universitet nauki i tehnologij im. akad. M. F. Reshetneva, 2022. Pp. 15–19. (In Russ.)
19. Vyshegorodcev A. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Shirokov A. I. Vidospecifichnost' regenerativnoj sposobnosti cherenkov tisa pri introdukcii v Nizhegorodskuju oblast' // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2023. T. XLI, № 2. Pp. 118–132. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-2-118-132 (In Russ.)
20. Ershov P. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Pigmentnyj sostav hvoi pljusovyh derev'ev eli evropejskoj // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2017. Tom XXXVI, № 3-4. Pp. 29–37. (In Russ.)
21. Ershov P. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Mnogomernaja ocenka pljusovyh derev'ev eli evropejskoj (Picea abies) po pigmentnomu sostavu hvoi // *Izvestija Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskij akademii*. 2018. Vyp. 233. Pp. 78–99. (In Russ.)
22. Esichev A. O., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Soderzhanie zhirov v tkanjah pobegov listvennicy sibirskoj v uslovijah introdukcii v Nizhegorodskuju oblast' // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2021. T. XXXIX, № 3. Pp. 180–190. (In Russ.)
23. Esichev A. O., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Babich A. N., Kentbaev E. Zh., Kentbaeva B. A. Soderzhanie i balans zapasnyh veshhestv v pobegah listvennicy sibirskoj v uslovijah reintrodukcii v Nizhegorodskuju oblast' // *Lesnoj vestnik / Forestry Bulletin*. 2022. T. 26. № 1. Pp. 17–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27. (In Russ.)
24. Esichev A. O., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Kentbaev E. Zh., Kentbaeva B. A. Vnutrividovaja izmenchivost' sostojanija ksilemy pobegov listvennicy sibirskoj pri introdukcii v Nizhegorodskuju oblast' // *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Serija: Les. Jekologija. Prirodopol'zovanie*. 2021. № 3(51). Pp. 28–40. DOI: 10.25686/2306-2827.2021.3.28. (In Russ.)
25. Isaev A. S., Korovin G. N., Suhij V. I., Titov S. P., Utkin A. I., Golub A. A., Zamolodchikov D. G., Prjazhnikov A. A. Jekologicheskie problemy pogloshhenija uglekislogo gaza posredstvom lesovosstanovlenija i lesorazvedenija v Rossii. Moskva : Centr jekologicheskij politiki Rossii, 1995. 156 p. (In Russ.)
26. Kentbaeva B. A., Kentbaev E. Zh., Muradov K. P., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Izmenchivost' soderzhanija hlorofilla v hvoe bioty vostochnoj pri introdukcii // *Landshaftnaja arhitektura i prirodoobustrojstvo: ot proekta do jekonomiki – 2024. Mater. XIII Mezhd. nauch.-prakt. konf.: g. Saratov – Nizhnij Novgorod : 4–5 aprlja 2024 g.* Saratov – Nizhnij Novgorod : Vavilovskij universitet, NGATU, 2024. S. 204–213. (In Russ.)
27. Koterov A. N., Ushenkova L. N., Zubenkova Je. S., Kalinina M. V., Birjukov A. P., Lastochkina E. M., Molodcova D. V., Vajnsjon A. A. Sila svjazi. Soobshhenie 2. Gradacii velichiny korreljacii // *Medicinskaja radiologija i radiacionnaja bezopasnost'*. 2019. Tom 64, № 6. Pp. 12–24. DOI: 10.12737/1024-6177-2019-64-6-12-24. (In Russ.)
28. Kotynova M. Ju., Besschetnov V. P., Besschetnova N. N. Ukorenenie cherenkov dekorativnyh form tui zapadnoj (Thuja Occidentalis L.) v teplicah // *Aktual'nye problemy razvitija lesnogo kompleksa: Mater. XVIII Mezhd. nauch.-teh. konf.: g. Vologda, 1 dekabrja 2020 g.* / otv. red. S. M. Hamitova. Vologda : VoGU, 2020. Pp. 147–149. (In Russ.)
29. Kulagin Ju. Z. Drevesnye rastenija i promyshlennaja sreda. Moskva : Nauka, 1974. 125 p. (In Russ.)
30. Kul'kova A. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Primenenie stimulirujushhej obrabotki v ukorenении cherenkov eli Konika // *Izvestija Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskij akademii*. 2020. Vyp. 232. Pp. 79–91. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.79-91. (In Russ.)
31. Ljahovenko O. I., Chulkov D. I. Osnovnye jekologicheskie problemy rossijskih gorodov i strategija ih razreshenija // *Russkaja politologija – Russian political science*. 2017. № 3 (4). Pp. 21–26. (In Russ.)
32. Mironova A. Ju., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Gavrilova A. A. Razvitie cherenkov dekorativnyh form i sortov puzyreplodnika kalinolistnogo pri ukorenении s ispol'zovaniem sveto-transformirujushhih ukrytij // *Lesnoe hozjajstvo: aktual'nye problemy i puti ih reshenija. Sb. nauch. st. po mater. vseros. (nac.) nauch.-prakt. konf. : g. Nizhnij Novgorod, 25 nojabrja 2022 g.* / pod obshh. red. N. N. Besschetnovoj. Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskaja GSHA, 2022. Pp. 314–324. (In Russ.)
33. Panikarov I. I., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Vzaimozavisimost' parametrov hvoi eli koljuchej v opredelenii ejo pyllezaderzhivajushhej sposobnosti // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2023. T. XLI, № 6. Pp. 495–503. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-6-495-503. (In Russ.)
34. Panikarov I. I., Besschetnova N. N., Vorob'ev R. A. Izmenchivost' parametrov hvoi eli koljuchej v ob#ektah ozelenenija Nizhnego Novgoroda // *Nauchnoe tvorcestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii : Mater. XX Vseros. (nac.) nauch.-teh. konf. studentov. i aspirantov*. Ekaterinburg : Ural'skij gos. lesotekhnicheskij universitet, 2024. Pp. 303–308. (In Russ.)
35. Polujahtov K. K. Lesorastitel'noe rajonirovanie Gor'kovskoj // *Biologicheskie osnovy povysenija produktivnosti i ohrany lesnyh, lugovyh i vodnyh fitocenozov Gor'kovskogo Povolzh'ja*. Gor'kij : GGU, 1974. Pp. 4–20. (In Russ.)
36. Usol'cev V. A., Pljuha N. I., Cepordej I. S. Otnoshenie diametra krony k diametru stvola: vseobshhie modeli lesoobrazujushhih vidov Evrazii // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2024. T. XLII, № 1. S Pp 36–42. DOI: 10.53374/1993-0135-2024-1-36-42. (In Russ.)
37. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Babich N. A., Bryntcev V. A. Differentiation of the plus trees of Scots pine on the physiological status of xylem // *Russian Forestry Journal*. 2023. № 4. Pp. 9–25. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-9-25.
38. Bruce D., Reineke L. H. Correlation alinement charts in forest research. A method of solving problems in curvilinear multiple correlation. USA Department of

Agriculture, Washington. Technical Bulletin № 210. February 1931. 88 p. DOI: 10.22004/ag.econ.162756.

39. Chaddock R. E. Principles and methods of statistics. Boston, New York: Houghton Mifflin Company. 1925. 471 p. DOI: 10.1177/000271622612300150.

40. Dawkins H. C. Crown diameters: their relation to bole diameter in tropical forest trees // The Commonwealth Forestry Review. 1963. Vol. 42, no. 4(114). Pp. 318–333. URL: <https://www.jstor.org/stable/42603453>.

41. Hager H., Haslinger R., Schume H. Productivity and LAI of floodplain forest sites in relationships to water supply // Ecology (Bratislava). Journal for ecological problem of the biosphere. 1999. Vol. 18, Supplement 1/1999. Pp. 5–14.

42. Khramov R. N., Martynova N. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Luponosov Y. N. The effectiveness of agrotexile cover with organic photoluminophore in rooting cuttings of Hungarian lilac (*Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rchb.) // BIO Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference “Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy” (SDGE 2021). Section Agrobiotechnology in Crop and Livestock Production. 2022. Volume 42, Article Number 01017. Number of page(s) 7. Pp. 1–7. DOI: 10.1051/bioconf/20224201017.

43. Kul'kova A. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Kentbaev Y. Zh., Kentbaeva B. A. Growth of Schrenk's Spruce (*Picea schrenkiana*) Seedlings Related to the Pre-Sowing Stimulating Seed Treatment // Russian

Forestry Journal. 2022. No. 4. Pp. 39–51. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-39-51.

44. Martynova N. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Martynov R. V. Effectiveness of stimulating treatment cuttings of privet common (*Ligustrum vulgare* L.) with biologically active preparations // Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats, solutions. International Forestry Forum : Voronezh, Russian Federation, 9–10 September 2021, Voronezh, Russian Federation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. Vol. 875. Article number 012081. Total pages 8. Pp. 1–8. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012081.

45. Oszlanyi J. Consequences of anthropic impact on Danube floodplain forests in Slovakia // Ecology (Bratislava). Journal for ecological problem of the biosphere. 1999. Vol. 18, Supplement 1/1999. Pp. 103–110.

46. Palmroth, S. Boreal forest and climate change – from processes and transport to trees, ecosystems and atmosphere // *Silva Fennica*. 2009. Vol. 43. Is. 4, article id. 461. Pp. 711–713. DOI: 10.14214/sf.461.

47. Wang B., Bu Y., Tao G. Yan C., Zhou X., Li W., Zhao P., Yang Y., Gou R. Quantifying the effect of crown vertical position on individual tree competition: total overlap index and its application in sustainable forest management // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Article number 7498, Total pages 18. Pp. 1–18. DOI: 10.3390/su12187498.

© Миронова А. Ю., Бессчетнова Н. Н.,
Бессчетнов В. П., 2024

Поступила в редакцию 20.03.2024
Принята к печати 22.07.2024

ПОКАЗАТЕЛИ РОСТА СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ РАННЕГО ОБРАЗОВАНИЯ МИКРОСТРОБИЛОВ ВО ВТОРОМ ПОКОЛЕНИИ

И. В. Комаров, Ю. Е. Щерба, М. В. Гришлова

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: komarovilya13@gmail.ru

На плантации «ЛЭП-2», расположенной в Караульном лесничестве Учебно-опытного лесхоза СибГУ им. М. Ф. Решетнева произрастает второе поколение сосны кедровой сибирской. Плантация была создана сеянцами, выращенными из шишек, собранных в популяциях разного географического происхождения: алтайского, бирюсинского, лениногорского, танзыйбейского, тисульского, черемховского и ярецевского, отличающихся по с. ш. от 50°12' (лениногорское) до 61°00' (ярецевское), по в. д. от 85°33' (лениногорское) до 102°36' (черемховское), и по высоте над уровнем моря от 100 м (ярецевское) до 1700 м (лениногорское). Данные потомства выращиваются при с. ш. – 56°00', в. д. – 92°30', высоте над уровнем моря – 300 м. Отмечено образование микростробилов у единичных экземпляров сосны кедровой сибирской в 18- и 19-летнем возрасте. Сопоставлены показатели деревьев раннего образования микростробилов с не вступившими в репродуктивную фазу развития. Установлено, что у сосны кедровой сибирской в 18-летнем возрасте микростробилы образовались у единичных деревьев алтайского (№ 6-7 и № 6-19), дивногогорского (№ 7-13 и № 10-22), лениногорского (№ 5-37), тисульского (№ 3-13 и № 3-22) и ярецевского (№ 4-2) происхождений. В черемховском и бирюсинском вариантах деревья с микростробилами отсутствовали. В 19-летнем возрасте некоторые экземпляры повторно образовали микростробилы в вариантах алтайского (№ 6-7 и № 6-19), дивногогорского (№ 7-3) и тисульского (№ 3-13) происхождений. В 2023 г. добавились экземпляры с микростробилами в вариантах бирюсинского (№ 2-36, № 5-3, № 5-11) и ярецевского (№ 4-21) происхождений. За два года наблюдений не было таких экземпляров в черемховском варианте. Отмечена изменчивость по количеству микростробилов на дереве и их расположению на побегах. Наибольшее количество микростробилов было у экземпляра № 6-7 алтайского происхождения. Превышение составило 88,2 %. Отсеlectedированные деревья по пылевой продуктивности рекомендуются для дальнейшего их размножения и использования при создании селекционных объектов раннего репродуктивного развития.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, раннее репродуктивное развитие, микростробилы, биометрические показатели.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 4, P. 75–81

GROWTH INDICATORS OF PINUS SIBIRICA BY THE EARLY FORMATION OF MICROSTROBILES IN THE SECOND GENERATION

I. V. Komarov, Yu. E. Shcherba, M. V. Grishlova

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: komarovilya13@gmail.ru

On the plantation “LEP-2”, located in the Karaulny forestry of the Educational and Experimental Forestry Enterprise of Siberian State University named after. M. F. Reshetnev, the second generation of *Pinus sibirica* grows. The plantation was created by seedlings grown from cones collected from populations of different geographical origins: Altai, Biryusa, Leninogorsk, Tanzybey, Tisul, Cheremkhovo and Yartsevo, differing by northern latitude from 50°12' (Leninogorskoye) to 61°00' (Yartsevskoye), eastern longitude from 85°33' (Leninogorskoye) to 102°36' (Cheremkhovo), and in altitude from 100 m (Yartsevskoye) to 1700 m (Leninogorskoye). These offspring are raised near the northern latitude – 56°00', eastern longitude – 92°30', altitude – 300 m. Formation of microstrobiles on *Pinus sibirica* at single copies was noted at 18 and 19 years of age. The indicators of trees with early microstrobile formation were compared with those that had not entered the reproductive phase of development. It was established that in *Pinus sibirica* at the age of 18, microstrobiles were formed in single trees of Altai (No. 6-7 and No. 6-19), Divnogorsk (No. 7-13 and No. 10-22), Leninogorsk (No. 5-37), Tisul (No. 3-13 and No. 3-22) and Yartsevo (No. 4-2) origin. In the Cheremkhovo and Biryusa variants there were no trees with microstrobiles. At the age of 19, some specimens re-formed microstrobiles in variants of Altai (No. 6-7 and No. 6-19), Divnogorsk (No. 7-3) and Tisul (No. 3-13) origins. In 2023, specimens with microstrobiles were added in variants of Biryusa (No. 2-36, No. 5-3, No. 5-11) and Yartsevo (No. 4-21)

origins. During two years of observations there were no specimens in the Cheremkhovo variant. Variability was noted in the number of microstrobiles on the tree and their location on the shoot. The largest number of microstrobiles was found in specimen No. 6-7 of Altai origin. The excess was 88.2%. Trees selected for pollen productivity are recommended for their further propagation and use in the creation of breeding objects for early reproductive development.

Keywords: *pinus sibirica*, early reproductive development, microstrobiles, biometric indicators.

ВВЕДЕНИЕ

Сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour) является ценной хвойной породой, отличающейся высокими экологическими свойствами, продолжительным периодом жизни. Этот вид образует кедровые орехи, имеющие большую питательную ценность. С. Н. Горошкевич [3], Е. В. Титов [13] и др. относят сосну кедровую сибирскую к орехоплодной породе. Изучается изменчивость показателей древесных растений с целью проведения отбора по целевому назначению при создании селекционных объектов [1; 4; 17; 18]. Селекционную оценку и отбор материнских деревьев для дальнейшего размножения проводят в популяциях, произрастающих в разных лесорастительных условиях, отмечая их географическое происхождение [2; 5; 9; 15; 16]. Большое внимание уделяется отбору деревьев сосны кедровой сибирской повышенной семенной продуктивности [4; 8]. При создании селекционных объектов целевого назначения проводят изучение изменчивости и отбор ценных экземпляров на ранних этапах онтогенеза [7; 10; 12; 14]. Учитывая, что начало репродуктивного развития данного вида в основном наступает в 30–40 лет с образования макростробилов (шишек) и только через 6–7 лет на них формируются микростробилов, целесообразно на плантации иметь экземпляры раннего и обильного образования микростробилов.

Целью проводимых исследований явилось отселектировать экземпляры раннего образования микро-

стробилов в потомствах популяций разного географического происхождения и сопоставить их биометрические показатели со средними значениями в вариантах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования явилась сосна кедровая сибирская, образовавшая микростробилов в 18- и 19-летнем возрасте на плантации «ЛЭП-2». Плантация была создана осенью 2014 года с использованием семян 10-летнего биологического возраста. Схема посадки 4×4 м. В 2022 и 2023 гг. единичные экземпляры образовали микростробилов. Проведено сопоставление следующих показателей у экземпляров в сравниваемых вариантах: высота, диаметр ствола, текущий прирост побега, длина хвои. Методика исследования общепринятая при проведении селекционных исследований в лесокультурном производстве. Данные измерений обработаны статистически с определением уровня изменчивости по С. А. Мамаеву [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В 18-летнем возрасте микростробилов образовались на восьми деревьях сосны кедровой сибирской пяти географических происхождений. Сопоставление показателей их роста в год образования микростробилов приведено в табл. 1.

Таблица 1
Показатели роста экземпляров в 2022 г.

Географическое происхождение	Номер дерева	Высота		Диаметр ствола		Текущий прирост побега		Длина хвои	
		м	% к X_{cp}	см	% к X_{cp}	см	% к X_{cp}	см	% к X_{cp}
Алтайское	6-7	2,82	117,0	4,7	102,2	50,9	158,1	13,5	145,2
	6-19	2,84	117,8	4,8	104,3	47,5	147,5	11,4	122,6
Среднее значение по происхождению		2,41	100,0	4,6	100,0	32,2	100,0	9,3	100,0
Дивногорское	7-13	2,82	138,2	5,3	139,5	38,0	147,9	10,7	117,6
	10-22	2,47	121,1	5,1	134,2	24,5	95,3	9,5	104,4
Среднее значение по происхождению		2,04	100,0	3,8	100,0	25,7	100,0	9,1	100,0
Ленинское	5-37	3,55	155,7	5,5	141,0	42,8	127,4	9,2	98,9
Среднее значение по происхождению		2,28	100,0	3,9	100,0	33,6	100,0	9,3	100,0
Тисульское	3-13	3,22	132,0	6,4	136,2	41,5	145,1	9,2	98,9
	3-22	2,50	102,4	4,7	100,0	19,0	66,4	9,0	96,8
Среднее значение по происхождению		2,44	100,0	4,7	100,0	28,6	100,0	9,3	100,0
Ярцевское	4-2	2,43	103,0	3,8	82,6	26,3	88,9	9,9	106,5
Среднее значение по происхождению		2,36	100,0	4,6	100,0	29,6	100,0	9,3	100,0
Опытные		2,83	122,5	5,0	116,3	36,3	121,4	10,3	110,8
Контрольные		2,31	100,0	4,3	100,0	29,9	100,0	9,3	100,0

Раннее образование микростробилов отмечено у единичных 18-летних экземпляров сосны кедровой сибирской алтайского (№ 6-7, № 6-19), дивногорского (№ 7-13, № 10-22), лениногорского (№ 5-37), тисульского (№ 3-13, № 3-22) и ярцевского (№ 4-2) происхождений.

Средние значения по высоте, диаметру ствола, текущему приросту побега и длине хвои у экземпляров, образовавших микростробилов, были больше в сравнении со средними значениями по происхождению на 10,8–22,5 %.

Наибольшие показатели по высоте и диаметру ствола были у дерева № 5-37 лениногорского, по текущему приросту побега и длине хвои у дерева № 6-7 алтайского происхождения.

В 2023 г. образование микростробилов отмечено у восьми экземпляров алтайского, бирюсинского, дивногорского, тисульского и ярцевского происхождений (табл. 2).

Наибольшее превышение по высоте было у экземпляров № 3-13 (на 33,2 %) тисульского и № 7-13 (на 28,4 %) дивногорского происхождения. Экземпляр № 3-13 выделяется среди остальных своим превыше-

нием и по другим показателям, которое составляет более 20 %. По диаметру ствола значительное преимущество над средним значением имеют деревья № 2-36 бирюсинского (на 32,8 %) и № 7-13 дивногорского (на 36,2 %) происхождения. По текущему приросту побега отмечаются экземпляры № 6-19 алтайского и № 5-11 бирюсинского происхождения с превышением средних значений на 44,8 % и 42,1 %, соответственно. Среди деревьев со значительным превышением среднего значения по длине хвои на текущем приросте выделяется № 4-21 ярцевского происхождения. Данный показатель на 25,2 % выше среднего.

Статистическая обработка данных подтвердила достоверность различий между показателями экземпляров раннего репродуктивного развития в сравнении со средними значениями по происхождению (табл. 3).

Изменчивость проявляется и по количеству микростробилов на деревьях в зависимости от года образования и географического происхождения (табл. 4).

Некоторые экземпляры сформировали микростробилов в течение двух лет подряд, в 2022 и 2023 гг. (табл. 5).

Таблица 2
Показатели роста экземпляров в 2023 г.

Географическое происхождение	Номер дерева	Высота		Диаметр ствола		Текущий прирост побега		Длина хвои	
		м	% к $X_{\text{ср.}}$	см	% к $X_{\text{ср.}}$	см	% к $X_{\text{ср.}}$	см	% к $X_{\text{ср.}}$
Микростробилы в 2022 и 2023 гг.									
Алтайское	6-7	3,19	115,2	6,2	106,9	45,6	112,9	12,5	117,9
	6-19	3,32	119,9	5,7	98,3	58,5	144,8	12,4	117,0
Среднее значение по происхождению		2,77	100,0	5,8	100,0	40,4	100,0	10,6	100,0
Дивногорское	7-13	2,98	128,4	6,4	136,2	16,5	55,0	11,1	118,1
Среднее значение по происхождению		2,32	100,0	4,7	100,0	30,0	100,0	9,4	100,0
Тисульское	3-13	3,73	133,2	6,8	128,3	45,4	126,8	12,0	123,7
Среднее значение по происхождению		2,80	100,0	5,3	100,0	35,8	100,0	9,7	100,0
Микростробилы в 2023 г.									
Бирюсинское	2-36	3,14	112,5	7,7	132,8	37,4	105,6	9,6	97,0
	5-3	3,45	123,7	6,3	108,6	32,4	91,5	9,8	99,0
	5-11	2,81	100,7	6,5	112,1	50,3	142,1	9,8	99,0
Среднее значение по происхождению		2,79	100,0	5,8	100,0	35,4	100,0	9,9	100,0
Ярцевское	4-21	3,38	121,6	6,5	112,1	44,7	115,2	13,4	125,2
Среднее значение по происхождению		2,78	100,0	5,8	100,0	38,8	100,0	10,7	100,0

Таблица 3
Показатели роста сосны кедровой сибирской раннего образования микростробилов

Варианты	$X_{\text{ср}}$	max	min	$\pm m$	$\pm \sigma$	V, %	P, %	t_{ϕ} при $t_{05} = 2,05$	Уровень изменчивости
Высота в 19-летнем возрасте, м									
Раннее образование микростробилов	3,19	3,86	2,71	0,09	0,34	10,8	3,0	–	низкий
Среднее значение по происхождению	2,54	2,81	1,63	0,16	0,44	17,2	6,5	3,40	средний
Диаметр ствола в 19-летнем возрасте, см									
Раннее образование микростробилов	6,3	7,7	4,7	0,25	0,90	14,3	4,0	–	средний
Среднее значение по происхождению	5,1	5,8	3,5	0,32	0,85	16,7	6,3	2,96	средний

Окончание таблицы 3

Варианты	$X_{\text{ср.}}$	max	min	$\pm m$	$\pm \sigma$	V, %	P, %	t_{ϕ} при $t_{05} = 2,05$	Уровень изменчивости
Прирост побега в 18-летнем возрасте, см									
Раннее образование микростробилов	36,5	50,9	19,0	2,65	9,55	26,2	7,3	–	высокий
Среднее значение по происхождениям	29,4	33,6	22,7	1,53	4,04	13,7	5,2	2,32	средний
Прирост побега в 19-летнем возрасте, см									
Раннее образование микростробилов	40,4	58,5	16,5	3,49	12,57	31,2	8,6	–	высокий
Среднее значение по происхождениям	35,4	40,4	27,6	1,79	4,74	13,4	5,1	1,28	средний
Сумма приростов побега за два года, см									
Раннее образование микростробилов	76,8	106,0	43,2	5,21	18,80	24,5	6,8	–	высокий
Среднее значение по происхождениям	64,9	73,7	50,3	3,28	8,67	13,4	5,0	1,93	средний
Длина хвои на приросте в 18 лет, см									
Раннее образование микростробилов	10,4	13,5	8,5	0,42	1,50	14,4	4,0	–	средний
Среднее значение по происхождениям	9,1	9,5	7,8	0,24	0,63	6,9	2,6	2,69	низкий
Длина хвои на приросте в 19 лет, см									
Раннее образование микростробилов	11,3	13,5	9,5	0,33	1,20	10,6	3,0	–	низкий
Среднее значение по происхождениям	9,8	10,7	8,1	0,36	0,96	9,9	3,7	3,07	низкий
Среднее значение длины хвои, см									
Раннее образование микростробилов	10,8	13,0	9,3	0,31	1,12	10,4	2,9	–	низкий
Среднее значение по происхождениям	9,4	10,1	8,0	0,29	0,78	8,3	3,1	3,30	низкий

Таблица 4

Количество микростробилов на деревьях, образовавшихся в 18 и 19 лет

Год образования микростробилов	Номер дерева	Географическое происхождение	Микростробилов	
			шт.	% к среднему значению
18 лет				
2022	10-22	Дивногорское	21	85,7
	5-37	Лениногорское	5	20,4
	3-22	Тисульское	6	24,5
	4-21	Ярцевское	66	269,4
Среднее значение по количеству образовавшихся микростробилов			24,5	100,0
19 лет				
2023	2-36	Бирюсинское	2	7,7
	5-3	Бирюсинское	5	19,2
	5-11	Бирюсинское	95	365,4
	4-2	Ярцевское	2	7,7
Среднее значение по количеству образовавшихся микростробилов			26,0	100,0

Таблица 5

Количество микростробилов за два года

Номер дерева	Географическое про- исхождение	Микростробилы				Итого	
		2022 г.		2023 г.			
		шт.	% к среднему значению	шт.	% к среднему значению	шт.	% к среднему значению
6-7	Алтайское	105	197,3	71	176,6	176	188,2
6-19	Алтайское	35	65,8	8	19,9	43	46,0
7-13	Дивногорское	21	39,5	29	72,1	50	53,5
3-13	Тисульское	52	97,7	53	131,8	105	112,3
Среднее значение по количеству образовавшихся микростробилов		53,2	100,0	40,2	100,0	93,5	100,0

Среди экземпляров, образовавших микростробилы в течение двух лет, максимальное их количество было у № 6-7 алтайского происхождения. Превышение составило 88,2 %.

Расположение микростробиллов на побегах раннего репродуктивного развития показано на рисунке.



Рис. Расположение микростробиллов на побегах

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований было установлено, что экземпляры раннего образования микростробиллов в основном имеют наибольшие биометрические показатели. Количество микростробиллов

варьирует в больших пределах. Отселектированные по пыльцевой продуктивности деревья имеют большое значение так как способствуют улучшению опыления деревьев раннего образования шишек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Братилова Н. П. Сравнительный анализ плантационных культур кедр сибирского, созданных сеянцами и саженцами // Хвойные бореальной зоны, 2006. № 3. С. 101–104.
2. Особенности роста семенного потомства отселектированных по урожайности клонов сосны кедровой сибирской разного географического происхождения в условиях юга Средней Сибири / Н. П. Братилова, Р. Н. Матвеева, О. Ф. Буторова, Е. Ю. Щерба, А. Г. Кичильдеев, В. В. Комарницкий // Хвойные бореальной зоны, 2016. Т. XXXVII, № 5-6. С. 294–297.
3. Горошкевич С. Н. Селекция кедр сибирского как орехоплодной породы // Лесное хозяйство, 2000. № 4. С. 25–27.
4. Земляной А. И., Некрасова Т. П. Принципы отбора плюсовых деревьев по семенной продуктивности // Селекция, генетика и семеноводство древесных пород как основа создания высокопродуктивных лесов. Москва, 1980. С. 116–118.
5. Ирошников А. И. Полиморфизм популяций кедр сибирского // Изменчивость древесных растений Сибири. Красноярск, 1974. С. 77–103.
6. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М. : Наука, 1973. 284 с.
7. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф., Братилова Н. П. Проявление изменчивости кедр сибирского на ранних этапах онтогенеза // Современные проблемы науки и образования. 2006. № 2. С. 52–53.
8. Особенности роста и семеношения клонов плюсовых деревьев кедр сибирского, отселектированных по семенной и стволовой продуктивности / Р. Н. Матвеева, О. Ф. Буторова, А. В. Ревин, А. Г. Кичильдеев // Вестник КрасГАУ, 2010. № 11. С. 110–112.
9. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. Коллекция клонов, полусибов, разных морфологических форм кедр сибирского на плантациях СибГТУ (юг Средней Сибири). Красноярск : СибГТУ, 2012. 47 с.
10. Матвеева Р. Н., Братилова Н. П., Щерба Ю. Е. Сохранение генетических ресурсов сосны кедровой сибирской путём создания селекционных объектов // Сохранение лесных генетических ресурсов. Гомель : ООО «Колордрук», 2017. С. 129–130.
11. Матвеева Р. Н., Щерба Ю. Е., Шенмайер Н. А. Изменчивость репродуктивного развития полусибов плюсовых деревьев Pinus sibirica Du Tour // Лесотехнический журнал. 2023. Т. 13, № 1 (49). С. 99–111.
12. Пастухова А. М. Перспективность отбора полусибов кедр сибирского по интенсивности роста в раннем возрасте // Лесной журнал. 2017. № 5. С. 73–81.
13. Титов Е. В. Генетико-селекционные основы подбора клонов кедр сибирского при плантационном ореховодстве // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. Красноярск : СибГТУ, 1998. С. 21–23.
14. Щерба Ю. Е., Копченко Д. Е., Поплюйкова М. В. Изменчивость 36-летних полусибов плюсовых деревьев кедр сибирского по репродуктивному развитию на плантации «Ермаки» // Плодоводство, семеноводство и интродукция древесных растений. Красноярск : СибГТУ, 2020. Т. 23. С. 157–160.

15. Critchfield W. B., Little E. L. Jr. Geographic distribution of the pines of the world // U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Misc. Washington, DC, 1966. 97 p.

16. Zhuk E., Goroshkevich S. Growth and reproduction in Pinus sibirica ecotypes from Western Siberia in a common garden experiment // New Forests, 2018. Vol. 49. № 2. P. 159–172.

17. Kurm M., Kaur U., Maaten T., Kiviste A. About the Heritability influence to the growth performance in Scots pine (Pinus sylvestris L.) progeny trials // Forestry Studies. 2008. Vol. 48. Pp. 79–87.

18. Rozwoj roznnych pochodzen sosny zwyczajnej na pozarzysku w Nadlesnictwie Potrzebowice / H. Zbigniew, J. Zwolinski, Z. Kwapis, I. Matuszczyk // Les. Pr. Bad. 2008. 69. № 1. Pp. 57–65.

REFERENCES

1. Bratilova N. P. Sravnitel'nyj analiz plantacionnyh kul'tur kedra sibirskogo, sozdannyh seyancami i sazhencami // Hvojnye boreal'noj zony, 2006. № 3. S. 101–104.
2. Osobennosti rosta semennogo potomstva otselektirovannyh po urozhajnosti klonov sosny kedrovoy sibirskoj raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya v usloviyah yuga Srednej Sibiri / N. P. Bratilova, R. N. Matveeva, O. F. Butorova, E. Yu. Shcherba, A. G. Kichkil'deev, V. V. Komarnickij // Hvojnye boreal'noj zony, 2016. T. XXXVII, № 5-6. S. 294–297.
3. Goroshkevich S. N. Selekcija kedra sibirskogo kak orekhoplodnoj porody // Lesnoe hozyajstvo, 2000. № 4. S. 25–27.
4. Zemlyanoy A. I., Nekrasova T. P. Principy otbora plyusovyh derev'ev po semennoj produktivnosti // Selekcija, genetika i semenovodstvo drevesnyh porod kak osnova sozdaniya vysokoproduktivnyh lesov. Moskva, 1980. S. 116–118.
5. Iroshnikov A. I. Polimorfizm populyacij kedra sibirskogo // Izmenchivost' drevesnyh rastenij Sibiri. Krasnoyarsk, 1974. S. 77–103.
6. Mamaev S. A. Formy vnutrividovoj izmenchivosti drevesnyh rastenij. M. : Nauka, 1973. 284 s.
7. Matveeva R. N., Butorova O. F., Bratilova N. P. Proyavlenie izmenchivosti kedra sibirskogo na rannih etapah ontogeneza // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya, 2006. № 2. S. 52–53.
8. Osobennosti rosta i semenosheniya klonov plyusovyh derev'ev kedra sibirskogo, otselektirovannyh po semennoj i stvolovoj produktivnosti / R. N. Matveeva, O. F. Butorova, A. V. Revin, A. G. Kichkil'deev // Vestnik KrasGAU. 2010. № 11. S. 110–112.
9. Matveeva R. N., Butorova O. F. Kollekcija klonov, polusibov, raznyh morfologicheskikh form kedra sibirskogo na plantacijah SibGTU (yug Srednej Sibiri). Krasnoyarsk : SibGTU, 2012. 47 s.
10. Matveeva R. N., Shcherba Yu. E., Shenmajer N. A. Sohranenie geneticheskikh resursov sosny kedrovoy sibirskoj putyom sozdaniya selekcionnyh ob"ektov // Sohranenie lesnyh geneticheskikh resursov. Gorn' : OOO "Kolordruk", 2017. S. 129–130.
11. Matveeva R. N., Shcherba Yu. E., Shenmajer N. A. Izmenchivost' reproduktivnogo razvitiya polusibov

plyusovyh derev'ev Pinus sibirica Du Tour // Lesotekhnicheskij zhurnal, 2023. T. 13, № 1 (49). S. 99–111.

12. Pastuhova A. M. Perspektivnost' otbora polusibov kedra sibirskogo po intensivnosti rosta v rannem vozraste // Lesnoj zhurnal. 2017. № 5. S. 73–81.

13. Titov E. V. Genetiko-selekcionnye osnovy podbora klonov kedra sibirskogo pri plantacionnom orekhovodstve // Plodovodstvo, semenovodstvo, introdukciya drevesnyh rastenij. Krasnoyarsk: SibGTU, 1998. S. 21–23.

14. Shcherba Yu. E. Kopchenko D. E., Poplyujkova M. V. Izmenchivost' 36-letnih polusibov plyusovyh derev'ev kedra sibirskogo po reproduktivnomu razvitiyu na plantacii "Ermaki" // Plodovodstvo, semenovodstvo i introdukciya drevesnyh rastenij. Krasnoyarsk : SibGU, 2020. T. 23. S. 157–160.

15. Critchfield W. B., Little E. L. Jr. Geographic distribution of the pines of the world // U.S. Department

of Agriculture, Forest Service, Misc. Washington, DC, 1966. 97 p.

16. Zhuk E., Goroshkevich S. Growth and reproduction in Pinus sibirica ecotypes from Western Siberia in a common garden experiment // New Forests, 2018. Vol. 49. No. 2. P. 159–172.

17. About the Heritability influence to the growth performance in Scots pine (Pinus sylvestris L.) progeny trials / M. Kurm, U. Kaur, T. Maaten, A. Kiviste // Forestry Studies. 2008. Vol. 48. Pp. 79–87.

18. Rozwoj roznych pochodzen sosny zwyczajnej na pozarzysku w Nadlesnictwie Potrzebowice / H. Zbigniew, J. Zwolinski, Z. Kwapis, I. Matuszczyk // Les. Pr. Bad. 2008. 69. № 1. Pp. 57–65.

© Комаров И. В., Щерба Ю. Е.,
Гришлова М. В., 2024

Поступила в редакцию 20.04.2024
Принята к печати 22.07.2024

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 544.777:622.367.62

DOI: 10.53374/1993-0135-2024-4-82-88

Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. XLII, № 4. С. 82–88

ПРИМЕНЕНИЕ ХЛОРОПРЕНОВЫХ, ПИПЕРИЛЕНОВЫХ И ИЗОПРЕНОВЫХ ЛАТЕКСОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ БУМАГОПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Г. И. Мальцев, Ю. Л. Юрьев

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

Цель исследования – влияние концентрации и природы синтетических хлоропреновых, пипериленовых и изопреновых латексов на физико-механические свойства бумагоподобного материала на основе минеральных волокон. Методология проведения работы заключалась в изготовлении и испытании лабораторных образцов отливок асбестового картона, полученных из композиции состава, мас. ч.: 100 – асбестовое волокно сорта М-4-20; 5–60 – латексы: хлоропреновый Л-7; пипериленовый ПНК-33/2; изопреновый СЛИН-40, для проклейки асбестового волокна сорта М-4-20; 3–6 – сульфат алюминия в качестве коагулянта. Механические и гидрофобные свойства полученного материала характеризуют физико-механические показатели: разрывная длина (L , м); сопротивление раздиранию (E , мН); сопротивление продавливанию (P_o , кПа); впитываемость при одностороннем смачивании (G , г/м²); капиллярная впитываемость (B , мм); степень проклейки (C , с/мм). Результаты работы: При увеличении содержания ПНК-33/2 в исходной массе (5–40 мас.ч.) увеличиваются разрывная длина, сопротивление раздиранию и продавливанию: L , м / E , мН / P_o , кПа = (330–380)–(550–626)/(930–1660)–(2600)/(15–29)–(35–40). Прочность отливок со СЛИН-40 практически не зависит от содержания связующего (10–60 мас.ч.), изменяясь в интервалах при концентрации коагулянта (3–6 мас.ч.): L , м / E , мН / P_o , кПа = (160–200)–(180–240)/(1600–1700)–(1300–1700)/(15–17)–(17–24). Гидрофобные свойства готового материала с ПНК-33/2 и СЛИН-40 достаточно высокие и усиливаются с ростом содержания связующих в исходной массе (10–40 мас.ч.) при концентрации коагулянта (3–6 мас.ч.) в интервалах: G , г/м² / B , мм / C , с/мм = (2,0–0,3)–(1,8–1,0)/(2,0–0,5)–(1,5–0,3)/(100–1500)–(150–1200). Выводы: материал с высокими прочностными и гидрофобными свойствами можно получить, используя латекс 30–40 мас.ч. ПНК-33/2 и 3–4 мас.ч. $Al_2(SO_4)_3$.

Ключевые слова: латекс, асбестовый картон, разрывная длина, сопротивление раздиранию, сопротивление продавливанию, впитываемость при одностороннем смачивании и капиллярная, степень проклейки.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 4, P. 82–88

THE USE OF CHLOROPRENE, PIPERYLENE AND ISOPRENE LATEXES IN THE MANUFACTURE OF PAPER-LIKE MATERIALS

G. I. Maltsev, Y. L. Yuryev

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

The aim of the study is influence of concentration and nature of synthetic chloroprene, piperylene and isoprene latexes on the physical and mechanical properties of a paper-like material based on mineral fibers. The methodology of the work was in the manufacture and testing of laboratory samples of asbestos cardboard castings obtained from the composition, wt. h.: 100 – asbestos fiber grade M-4-20; 5–60 – latexes: chloroprene L-7; piperylene PNK-33/2; isoprene SLIN-40, for sizing asbestos fiber grade M-4-20; 3–6 was aluminum sulfate as a coagulant. The mechanical and hydrophobic properties of the obtained material are characterized by the physico-mechanical parameters: breaking length (L , m); tear resistance (E , mN); penetration resistance (P_o , kPa); absorbency with unilateral wetting (G , g/m²); capillary absorbency (B , mm); degree of sizing (C , s/mm). Results of the work are: With an increase in the content of PNK-33/2 in the initial mass (5–40 wt.h.), the breaking length increases. Tearing and punching resistance is: L , m/E, mN/ P_o , kPa = (330–380)–(550–626)/(930–1660)–(2600)/(15–29)–(35–40). The strength of castings with SLIN-40 practically does not depend on the binder content (10–60 wt.h.), varying in intervals at the concentration of coagulant (3–6 wt.h.): L , m / E , mN / P_o , kPa = (160–200)–(180–240)/(1600–1700)–(1300–1700)/(15–17)–(17–24). The hydrophobic properties of the finished material with PNK-33/2 and SLIN-40 are quite high and increase with the growth in

the binder content in the initial mass (10–40 wt.h.) at a concentration of coagulant (3–6 wt.h.) in the intervals: $G, g/m^2 / V, mm / S, s/mm = (2,0-0,3)-(1,8-1,0)/(2,0-0,5)-(1,5-0,3)/(100-1500)-(150-1200)$. Conclusions: a material with high strength and hydrophobic properties can be obtained using latex 30–40 wt.h. PNK-33/2 and 3–4 wt.h. $Al_2(SO_4)_3$.

Keywords: latex, asbestos cardboard, breaking length, tearing resistance, punching resistance, absorbency during unilateral wetting and capillary, degree of sizing.

ВВЕДЕНИЕ

Технологические процессы производства целлюлозы и бумаги, а также волокнистых бумагоподобных материалов связаны с потреблением больших количеств воды (150–500 м³/т) и относятся к числу наиболее экологически опасных, поскольку сопровождаются образованием сложных по составу, загрязненных сточных вод, содержащих трудно окисляемые вещества и токсичные соединения, сброс которых вызывает устойчивое загрязнение природных водоемов [1–3].

Для уменьшения антропогенного воздействия на окружающую среду предприятий целлюлозно-бумажной промышленности необходимо осуществление комплекса природоохранных мероприятий, включающих разработку экологически чистых (малоотходных и безотходных) технологических процессов, применение нового оборудования и видов сырья, обезвреживание и ликвидацию опасных отходов [4–6].

Ключевой задачей при создании экологически чистых производств является разработка и внедрение принципиально новых, нетрадиционных технологических процессов и оборудования. Новые технологии позволяют решать проблемы комплексного использования сырьевых и энергетических ресурсов, существенно снижать материалоемкость, энергоемкость и трудоемкость производства за счет широкого использования современных положений физической и коллоидной химии, трактующих процессы взаимодействия ингредиентов волокнистой суспензии – целлюлозных и асбестовых волокон с дисперсиями синтетических латексов и реагентов на основе канифоли, в частности, с использованием теории устойчивости лиофобных коллоидов Дерягина–Ландау–Фервея–Овербека (ДЛФО) [7].

При разработке экологически безопасных технологий изготавливают новые конструктивные материалы, в частности, асбестовый картон различного технического назначения (покровные материалы для защиты теплоизоляции трубопроводов и оборудования; биологически стойкая подоснова для линолеума и кровельных материалов; облицовочный ламинат и др.), обладающий высокой негорючестью, устойчивостью в воде и агрессивных средах [8–10]. Разрабатываемые технологии позволяют утилизировать ограниченно используемый низкосортный коротковолокнистый хризотил-асбест, по запасам которого Российская Федерация занимает второе место в мире [11–13]. Предусматривается использование в качестве регуляторов агрегативной и сорбционной устойчивости дисперсной фазы проклеивающих агентов (синтетические латексы, реагенты на основе канифоли [14–16]) – смешанных Al-Fe- и Fe-содержащих коагулянтов, полученных из природных видов сырья (нефелины, бокситы, каолины, алуниты [17–19]) и про-

мышленных отходов (красные шламы производства глинозема, некондиционные железные руды высокожелезистые бокситы, колчеданные огарки), что является альтернативой дорогим сульфату алюминия и гидроксиду алюминия – полупродукту производства металлического алюминия [20].

Проклейка – процесс придания бумаге и картону заданной впитывающей способности, являющейся результатом сложных коллоидно-химических взаимодействий волокнистых, гидрофобизирующих, наполняющих и коагулирующих материалов [21]. Большое влияние на потребительские свойства фабrikата оказывают условия проклейки: агрегативная и адсорбционная устойчивость дисперсий; поверхностное натяжение; вязкость; температура; pH; жесткость производственной воды; степень гидрофобности поверхности частиц и др. [22–24].

При изготовлении бумаги и картона из органических волокон механическую прочность листа обуславливают межволоконные связи в бумаге, в первую очередь, водородные связи, обеспечивающие три четверти общей прочности межволоконных связей. Наряду с водородными связями известную роль играют и силы Ван-дер-Ваальса, а также силы трения между волокнами [25, 26].

При использовании асбестовых волокон, которые сами по себе не образуют прочных межволоконных связей, для придания прочности готовым изделиям в качестве связующего обычно используют синтетические латексы. Проклейка асбестового волокна латексом – сложный процесс, зависящий от многих факторов, связанных между собой. Главное условие высоких показателей асболатексных бумаг и картонов – равномерность осаждения полимера латекса на волокне и высокие адгезионные качества связующего, способствующие образованию прочной связи в системе «волокно–полимер» [27].

Цель исследования – установление влияния концентрации и природы синтетических латексов на физико-механические свойства бумагоподобного материала – асбестового картона.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве связующих рассмотрена возможность применения латексов: хлоропеновый Л-7; пипериленовый ПНК-33/2; изопреновый СЛИН-40, для проклейки асбестового волокна сорта М-4-20; в качестве коагулянта использовали сульфат алюминия. Хлоропеновые латексы – продукты гомо- и сополимеризации хлоропрена (2-хлорбутадиена-1,3); получены эмульсионной полимеризацией по радикальному механизму. Хлоропрен образует с кислородом пероксиды: $(-CH_2-C(CH=CH_2)Cl-O-O-)_n$, инициирующие

самопроизвольную полимеризацию хлоропрена. Радикальная полимеризация хлоропрена приводит к образованию полимера регулярной структуры, связанной с ориентирующим действием полярного атома хлора и низкой активностью радикала $\text{RCH}_2\text{-}\dot{\text{C}}\text{Cl-CH=CH}_2$. Регулярность структуры является причиной склонности полихлоропрена к кристаллизации более выраженной, чем у натурального каучука, которая резко увеличивается с понижением температуры полимеризации. Образующийся полихлоропрен склонен к разветвлению и сшиванию, протекающим по нескольким механизмам: взаимодействие радикалов по месту двойных связей цепи; отщепление хлора. Выделяют несколько типов образующегося полимера: линейный, полностью растворимый α -полихлоропрен; циклические и линейные димеры, низкомолекулярные β -полихлоропрены; разветвленный и частично сшитый μ -полимер; сильно сшитый, нерастворимый и роговидный продукт ω -полихлоропрен.

Из-за склонности к гидролизу с повышением pH полимеризация хлоропрена ведут при pH 6–7 с эмульгаторами сульфонатного типа (алкилсульфонат, «Волгонат», Е-30). Для повышения устойчивости эмульсии дополнительно вводят дрезинат. Хлоропрен можно сополимеризовать с другими мономерами: акрилонитрил (для повышения масло- и бензостойкости), метилметакрилат, метакриловая кислота (увеличение адгезии и прочности), дихлорбутадиен (улучшение огнестойкости), стирол и др. Преимущества хлоропеновых латексов: прочность сырого геля из-за склонности полихлоропрена к кристаллизации; вулканизация пленок без введения вулканизаторов путем простого нагревания; высокая адгезия к разным субстратам и прочность клеевых соединений в виду полярности полихлоропрена; масло- и бензостойкость изделий при низком набухании полимера в углеводородах; малая газопроницаемость и горючесть при высоком содержании хлора в полимере. К недостаткам относятся: высокая плотность полимера (1230 кг/м^3); низкая морозостойкость; старение при хранении с ухудшением физико-механических показателей пленок и агрегативной устойчивости латексов; токсичность хлоропрена при гидролизе (отщепление хлористого водорода).

Пиперилен (1-метилбутадиен-1,3) существует в *цис*- и *транс*-формах; гомо- и сополимеры пиперилена получают полимеризацией в растворе в присутствии литийорганических катализаторов; отсутствие реакций разветвления и сшивания исключает образование нерастворимого полимера. Возможна полимеризация промышленных смесей *цис*- и *транс*-изомеров с образованием высокомолекулярных продуктов с хорошими механическими свойствами; пиперилен из смеси *цис*- и *транс*-форм имеет широкое молекулярно-массовое распределение и лучшие технологические свойства, чем у политранс-пиперилена. Эмульсионная гомо- и сополимеризация пиперилена не выявила преимуществ – высокими показателями обладали резины на основе сополимеров из звеньев, %: 10–20 пиперилена; 70–85 стирол; 5–10 акрилонитрил. Бутадиен-пипериленовые латексы являются связующими в производстве фрикционных асбестовых и

других изделий. Развитие процессов пиролиза нефтепродуктов для получения олефинов и диенов (изопропен), в которых образуется большое количество пиперилена, обуславливает интерес к синтезу полимеров пиперилена.

Изопрен (2-метилбутадиен-1,3) подобно другим диенам обладает высокой реакционной способностью: легко полимеризуется и сополимеризуется с бутадиеном, стиролом, изобутиленом, акрилонитрилом, пропиленом, винилпиридином и др. Сополимеры изопрена получают в присутствии литиевых или комплексных катализаторов. Изопреновые каучуки применяют самостоятельно и в композициях с натуральным, бутадиен-стирольным, стереорегулярным бутадиеновым каучуками в производстве шин, обуви и различных резинотехнических изделий.

Навеску 100 г хризотил-асбеста распускали при перемешивании в $0,5 \text{ дм}^3$ воды в течение 5 минут, затем добавляли 5–60 г латекса после чего через 5 мин вводили раствор коагулянта, содержащий 3–6 г сульфата алюминия. После окончания проклейки в течение 10 минут волокнистую суспензию помещали в лабораторный листоотливной аппарат ТАРПИ. Полученную отливку сушили до постоянного веса, затем определяли основные физико-механические показатели образца асбокартона: разрывная длина (L , м); сопротивление раздиранию (E , мН); сопротивление продавливанию (P_0 , кПа); впитываемость при одностороннем смачивании (G , г/м^2); капиллярная впитываемость (B , мм); степень проклейки (C , с/мм).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

При увеличении содержания ПНК-33/2 в исходной массе (5–40 мас.ч.) увеличиваются разрывная длина, сопротивление раздиранию и продавливанию: L , м / E , мН / P_0 , кПа = $(330 - 380) - (550 - 626) / (930 - 1660) - (2600) / (15 - 29) - (35 - 40)$ (рис. 1 а–в; 2 а–в). Прочность отливок со СЛИН-40 практически не зависит от содержания связующего (10–60 мас. ч.), изменяясь в интервалах при концентрации коагулянта (3–6 мас. ч.): L , м / E , мН / P_0 , кПа = $(160 - 200) - (180 - 240) / (1600 - 1700) - (1300 - 1700) / (15 - 17) - (17 - 24)$. При малом содержании Л-7 (5–10 мас. ч.) прочность отливок при концентрации коагулянта (3–6 мас. ч.): L , м / E , мН / P_0 , кПа = $(500 - 540) - (300 - 340) / (1660 - 1700) - (750 - 900) / (12 - 14) - (14 - 17)$, сравнима с образцами для ПНК-33/2. При увеличении содержания Л-7 (более 20 мас. ч.) усиливается гомокоагуляция связующего и комкование массы, делая невозможным отливку асбокартона.

Гидрофобные свойства образцов с ПНК-33/2 и СЛИН-40 достаточно высокие и усиливаются с ростом содержания связующих в исходной массе (10–40 мас. ч.) при концентрации коагулянта (3–6 мас. ч.) в интервалах: G , г/м^2 / B , мм / C , с/мм = $(2,0 - 0,3) - (1,8 - 1,0) / (2,0 - 0,5) - (1,5 - 0,3) / (100 - 1500) - (150 - 1200)$.

Выявленные различия основных физико-механических свойств асбокартона обусловлены природой сополимеров и эмульгаторов исследованных латексов, режимом осаждения связующих на минеральных волокнах. Например, ПНК-33/2 обладает

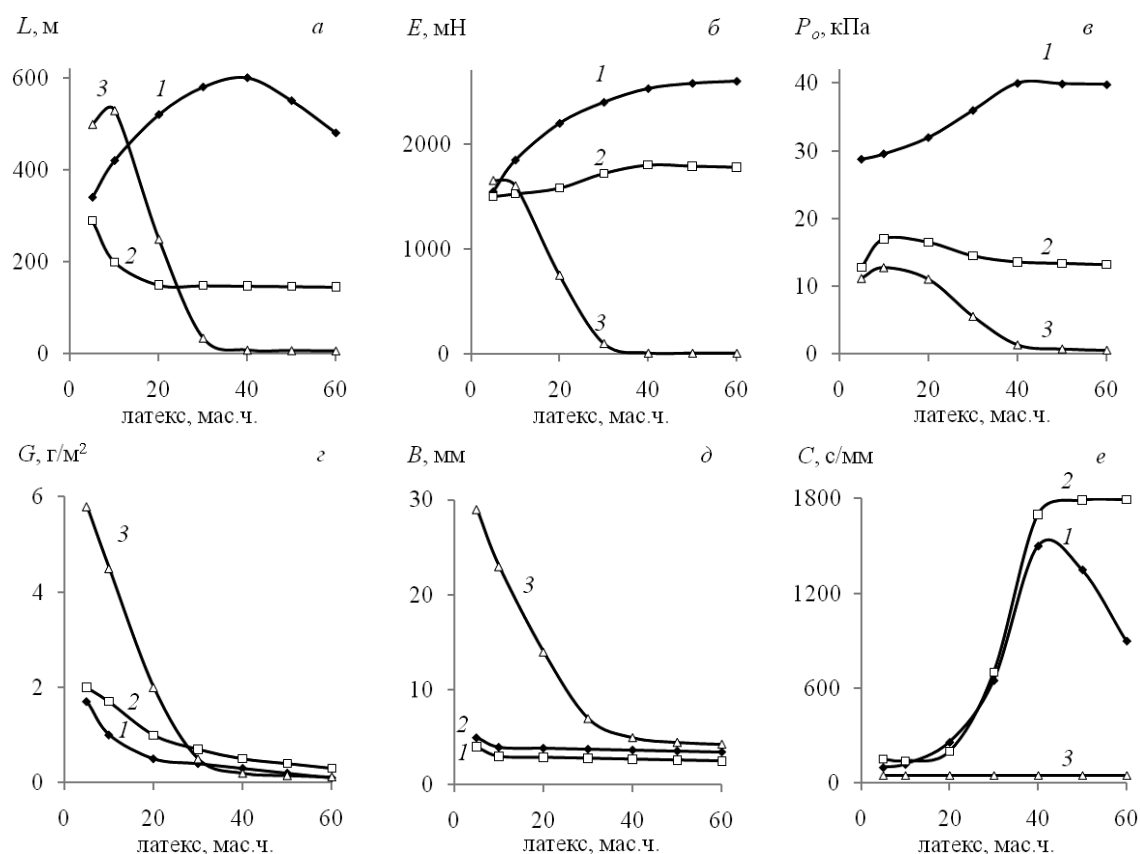


Рис. 1. Зависимость физико-механических показателей картона из асбеста М-4-20 (100 мас. ч.) и $Al_2(SO_4)_3$ (3 мас. ч.) от содержания латекса ПНК-33/2 (1); СЛИН-40 (2); Л-7 (3)

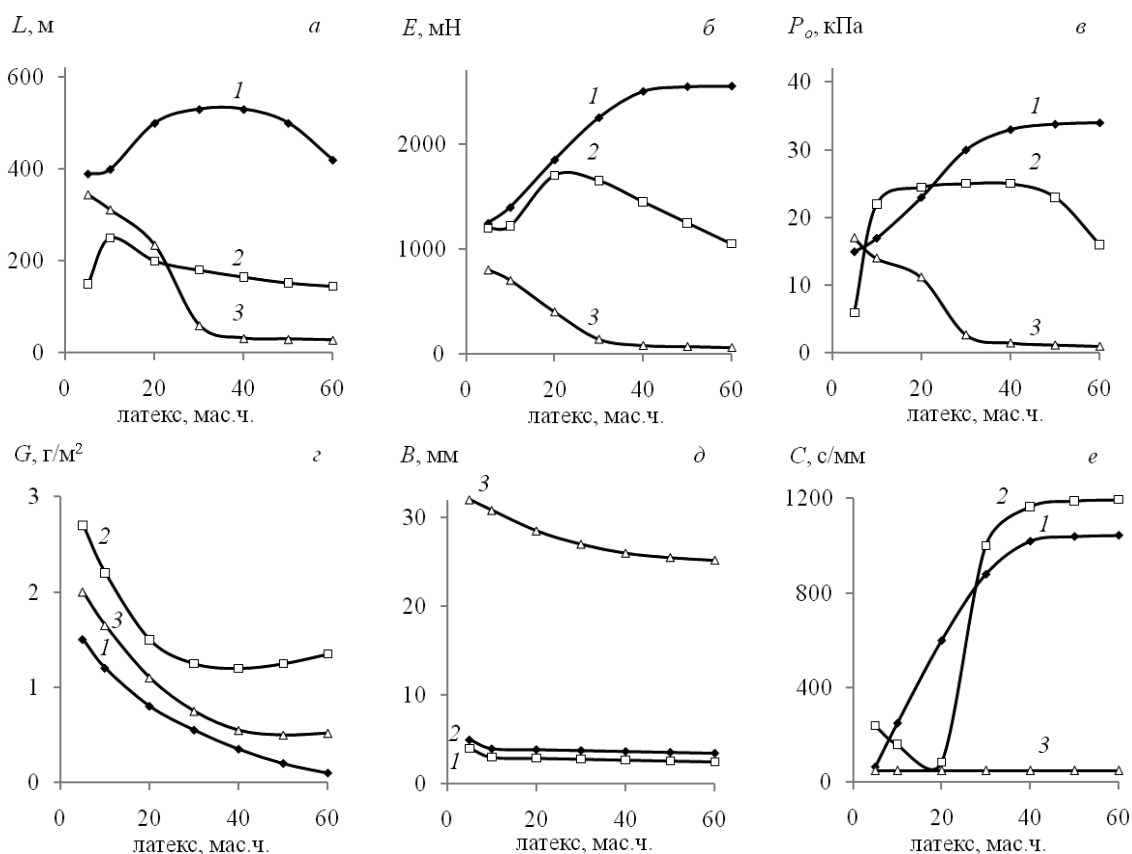


Рис. 2. Зависимость физико-механических показателей картона из асбеста М-4-20 (100 мас. ч.) и $Al_2(SO_4)_3$ (6 мас. ч.) от содержания латекса ПНК-33/2 (1); СЛИН-40 (2); Л-7 (3)

высокой агрегативной устойчивостью без преждевременной коагуляции при введении в волокнистую суспензию и комкования исходной массы, что способствует равномерному осаждению латекса на волокнах при добавлении сульфата алюминия. У латекса СЛИН-40 порог быстрой коагуляции в четыре раза ниже, чем у ПНК-33/2, что объясняет отсутствие зависимости прочностных свойств асбокартона от содержания СЛИН-40; образцы с пипериленовым латексом более пластичны, чем с изопреновым. В совокупности более высокими потребительскими свойствами обладает асбокартон с ПНК-33/2, по сравнению со СЛИН-40.

Хлоропреновый Л-7 проявил низкую адгезию к асбестовым волокнам, в отличие от ПНК-33/2 и СЛИН-40, так как в его сополимере лишь один μ -гомополимер без акрилонитрила, метилметакрилата, метакриловой кислоты, повышающих адгезию и прочностные показатели. При добавлении сульфата алюминия происходит гомотокоагуляция латекса Л-7, несмотря на его высокую исходную агрегативную устойчивость. Вследствие высокого содержания в полимере хлора, взаимодействующего с водой, ухудшается гидрофобность асбокартона с Л-7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При увеличении содержания ПНК-33/2 в исходной массе растет прочность отливок асбокартона, характеризуемая разрывной длиной, сопротивлением раздиранию и продавливанию: Прочность отливок со СЛИН-40 практически не зависит от содержания связующего, незначительно изменяясь в интервалах при содержании в волокнистой массе 3–6 мас.ч коагулянта. При малом содержании Л-7 (5–10 мас.ч.) прочность отливок сравнима с образцами для ПНК-33/2. При увеличении содержания Л-7 (более 20 мас.ч.) усиливается гомотокоагуляция связующего и комкование массы, делая невозможным формование качественного полотна асбокартона.

Гидрофобные свойства образцов с ПНК-33/2 и СЛИН-40 достаточно высокие и усиливаются с ростом содержания связующих в исходной массе (10–40 мас. ч.). Пипериленовый латекс ПНК-33/2 обладает высокой агрегативной устойчивостью без преждевременной коагуляции при введении в волокнистую суспензию и комкования исходной массы, что способствует равномерному осаждению латекса на волокнах при добавлении сульфата алюминия.

Хлоропреновый Л-7 проявил низкую адгезию к асбестовым волокнам, в отличие от ПНК-33/2 и СЛИН-40, так как в его сополимере лишь один μ -гомополимер без акрилонитрила, метилметакрилата, метакриловой кислоты, повышающих адгезию и прочностные показатели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Bagchi S. K., Patnaik R., Rawat I. Beneficiation of paper-pulp industrial wastewater for improved outdoor biomass cultivation and biodiesel production using *Tetradasmus obliquus* (Turpin) Kützing. *Renewable Energy*.

2024. Vol. 222. 119848. DOI: 10.1016/j.renene.2023.119848.

2. Sharma D., Sahu S., Singh G. An eco-friendly process for xylose production from waste of pulp and paper industry with xylanase catalyst. *Sustainable Chemistry for the Environment*. 2023. Vol. 3. 100024. DOI: 10.1016/j.scenv.2023.100024.

3. Steephen A., Preethi V., Annenewmy B. Solar photocatalytic hydrogen production from pulp and paper wastewater. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2024. Vol. 52. Part A. P. 1393–1404. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.03.381.

4. Romani A., Del-Rio P. G., Rubira A. Covalorization of discarded wood pinchips and sludge from the pulp and paper industry for production of advanced biofuels. *Industrial Crops and Products*. 2024. Vol. 209. 117992. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.117992.

5. Yang M., Li J., Wang S. Status and trends of enzyme cocktails for efficient and ecological production in the pulp and paper industry. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 418. 138196. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.138196.

6. Axelrod L., Charron P., Tahir I. The effect of pulp production times on the characteristics and properties of hemp-based paper. *Materials Today Communications*. 2023. Vol. 34. 104976. DOI:10.1016/j.mtcomm.2022.104976.

7. Дерягин Б. В., Чураев М. В., Муллер В. М. Поверхностные силы. М. : Наука, 1985. 398 с.

8. Elovenco D., Kräusel V. The study of thermal conductivity of asbestos cardboard and fire clay powder to assess the possibility of their application in prefabricated structures of cylindrical housings of pressure vessels. *Materials Today: Proceedings*. 2019. Vol. 19. Part 5. P. 2389–2395. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.08.041.

9. Modica G., Giuffre L., Montoneri E. Electrolytic separators from asbestos cardboard: A flexible technique to obtain reinforced diaphragms or ion-selective membranes. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1983. Vol. 8. Iss. 6. P. 419–435. DOI: 10.1016/0360-3199(83)90163-5.

10. Obmiński A. Asbestos in building and its destruction. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 249. 118685. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118685.

11. Akyzbekov Y., Shevko V., Karatayeva G. *Thermodynamic prediction of the possibility of comprehensive processing chrysotile-asbestos waste*. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2023. Vol. 8. 100488. DOI: 10.1016/j.cscee.2023.100488.

12. Avataneo C., Petriglieri J.R., Capella S. Chrysotile asbestos migration in air from contaminated water: An experimental simulation. *Journal of Hazardous Materials*. 2022. Vol. 424. Part C. 127528. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.127528.

13. Tan Y., Zou Z., Qu J. Mechanochemical conversion of chrysotile asbestos tailing into struvite for full elements utilization as citric-acid soluble fertilizer. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 283. 124637. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124637.

14. Castoldi R. S., Liebscher M., Souza L. M. S. Effect of polymeric fiber coating on the mechanical performance, water absorption, and interfacial bond with

cement-based matrices. *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 404. 133222. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2023.133222.

15. Bakatovich A., Gaspar F., Boltrushevich N. Thermal insulation material based on reed and straw fibres bonded with sodium silicate and rosin. *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 352. 129055. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129055.

16. Geng Y., Nie Y., Du H. Coagulation performance and floc characteristics of Fe–Ti–V ternary inorganic coagulant for organic wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*. 2023. Vol. 56. 104344. DOI: 10.1016/j.jwpe.2023.104344.

17. Yi J., Chen Z., Xu D. Preparation of a coagulant of polysilicate aluminum ferric from foundry dust and its coagulation performance in treatment of swine wastewater. *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 434. 140400. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.140400.

18. Zeng H., Tang H., Sun W. Deep dewatering of bauxite residue via the synergy of surfactant, coagulant, and flocculant: Effect of surfactants on dewatering and settling properties. *Separation and Purification Technology*. 2022. Vol. 302. 122110. DOI: 10.1016/j.seppur.2022.122110.

19. Chen J., Li X., Cai W. High-efficiency extraction of aluminum from low-grade kaolin via a novel low-temperature activation method for the preparation of poly-aluminum-ferric-sulfate coagulant. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 257. 120399. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120399.

20. Şengil A. The utilization of alunite ore as a coagulant aid. *Water Research*. 1995. Vol. 29. Iss. 8. P. 1988–1992. DOI: 10.1016/0043-1354(94)00534-E.

21. Губарев А.А. Проклейка бумаги и картона в нейтральной среде с использованием серноокислого алюминия : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03. Минск, 2000. 23 с.

22. Москвитин Н. И. Физико-химические основы процессов склеивания и прилипания. М. : Лесная промышленность, 1974. 192 с.

23. Энгельгардт Г., Гранич К., Риттер К. Проклейка бумаги. М. : Лесная промышленность, 1975. 224 с.

24. Фляте Д. М. Свойства бумаги. М. : Лесная промышленность, 1986. 680 с.

25. Дубовый В. К. Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон : дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.03. Санкт-Петербург, 2006. 370 с.

26. Машины, процессы и оборудование целлюлозно-бумажных производств : сб. ст. Вып. 29 / отв. ред. А. И. Бродоцкий. Ленинград : ЛТИ ЦБП, 1973. 185 с.

27. Еркова Л. Н., Чечик О. С. Латексы. Л. : Химия, 1983. 224 с.

REFERENCES

1. Bagchi S. K., Patnaik R., Rawat I. Beneficiation of paper-pulp industrial wastewater for improved outdoor biomass cultivation and biodiesel production using *Tetrademus obliquus* (Turpin) Kützing. *Renewable Energy*. 2024. Vol. 222. 119848. DOI: 10.1016/j.renene.2023.119848.

2. Sharma D., Sahu S., Singh G. An eco-friendly process for xylose production from waste of pulp and paper industry with xylanase catalyst. *Sustainable Chemistry for the Environment*. 2023. Vol. 3. 100024. DOI: 10.1016/j.scenv.2023.100024.

3. Steephen A., Preethi V., Annenewmy B. Solar photocatalytic hydrogen production from pulp and paper wastewater. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2024. Vol. 52. Part A. P. 1393–1404. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.03.381.

4. Romaní A., Del-Río P.G., Rubira A. Covalorization of discarded wood pinchips and sludge from the pulp and paper industry for production of advanced biofuels. *Industrial Crops and Products*. 2024. Vol. 209. 117992. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.117992.

5. Yang M., Li J., Wang S. Status and trends of enzyme cocktails for efficient and ecological production in the pulp and paper industry. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 418. 138196. DOI:10.1016/j.jclepro.2023.138196.

6. Axelrod L., Charron P., Tahir I. The effect of pulp production times on the characteristics and properties of hemp-based paper. *Materials Today Communications*. 2023. Vol. 34. 104976. DOI:10.1016/j.mtcomm.2022.104976.

7. Deryagin B. V., Churaev M. V., Muller V. M. *Poverxnostny`e sily`*. M. : Nauka, 1985. 398 s. (In Russ.)

8. Elovenko D., Kräusel V. The study of thermal conductivity of asbestos cardboard and fire clay powder to assess the possibility of their application in prefabricated structures of cylindrical housings of pressure vessels. *Materials Today: Proceedings*. 2019. Vol. 19. Part 5. P. 2389–2395. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.08.041.

9. Modica G., Giuffre L., Montoneri E. Electrolytic separators from asbestos cardboard: A flexible technique to obtain reinforced diaphragms or ion-selective membranes. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1983. Vol. 8. Iss. 6. P. 419–435. DOI: 10.1016/0360-3199(83)90163-5.

10. Obmiński A. Asbestos in building and its destruction. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 249. 118685. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118685.

11. Akyzbekov Y., Shevko V., Karatayeva G. *Thermodynamic prediction of the possibility of comprehensive processing chrysotile-asbestos waste*. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2023. Vol. 8. 100488. DOI: 10.1016/j.cscee.2023.100488.

12. Avataneo C., Petriglieri J.R., Capella S. Chrysotile asbestos migration in air from contaminated water: An experimental simulation. *Journal of Hazardous Materials*. 2022. Vol. 424. Part C. 127528. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.127528.

13. Tan Y., Zou Z., Qu J. Mechanochemical conversion of chrysotile asbestos tailing into struvite for full elements utilization as citric-acid soluble fertilizer. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 283. 124637. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124637.

14. Castoldi R. S., Liebscher M., Souza L. M. S. Effect of polymeric fiber coating on the mechanical performance, water absorption, and interfacial bond with cement-based matrices. *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 404. 133222. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.133222.

15. Bakatovich A., Gaspar F., Boltrushevich N. Thermal insulation material based on reed and straw fibres bonded with sodium silicate and rosin. *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 352. 129055. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129055.

16. Geng Y., Nie Y., Du H. Coagulation performance and floc characteristics of Fe-Ti-V ternary inorganic coagulant for organic wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*. 2023. Vol. 56. 104344. DOI: 10.1016/j.jwpe.2023.104344.

17. Yi J., Chen Z., Xu D. Preparation of a coagulant of polysilicate aluminum ferric from foundry dust and its coagulation performance in treatment of swine wastewater. *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 434. 140400. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.140400.

18. Zeng H., Tang H., Sun W. Deep dewatering of bauxite residue via the synergy of surfactant, coagulant, and flocculant: Effect of surfactants on dewatering and settling properties. *Separation and Purification Technology*. 2022. Vol. 302. 122110. DOI: 10.1016/j.seppur.2022.122110.

19. Chen J., Li X., Cai W. High-efficiency extraction of aluminum from low-grade kaolin via a novel low-temperature activation method for the preparation of poly-aluminum-ferric-sulfate coagulant. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 257. 120399. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120399.

20. Şengil A. The utilization of alunite ore as a coagulant aid. *Water Research*. 1995. Vol. 29. Iss. 8. P. 1988–1992. DOI: 10.1016/0043-1354(94)00534-E.

21. Gubarev A. A. Proklejka bumagi i kartona v nejtural'noj srede s ispol'zovaniem sernokislogo alyuminiya : avtoref. dis. ... kand. texn. nauk: 05.21.03. Minsk, 2000. 23 s.

22. Moskvitin N. I. Fiziko-ximicheskie osnovy` processov skleivaniya i prilipaniya. M. : Lesnaya promy`shlennost`, 1974. 192 s.

23. E`ngel`gardt G., Granich K., Ritter K. Proklejka bumagi. M. : Lesnaya promy`shlennost`, 1975. 224 s.

24. Flyate D. M. Svojstva bumagi. M. : Lesnaya promy`shlennost`, 1986. 680 s.

25. Dubovy`j V. K. Bumagopodobny`e kompozicionny`e materialy` na osnove mineral`ny`x volokon : dis. ... dokt. texn. nauk: 05.21.03. Sankt-Peterburg, 2006. 370 s.

26. Mashiny`, processy` i oborudovanie cellyulozno-bumazhny`x proizvodstv: Sbornik statej. Vy`p. 29 / otv. red. A. I. Brodoczkij. Leningrad : LTI CzBP, 1973. 185 s.

27. Erkova L. N., Chechik O. S. Lateksy`. L. : Ximiya, 1983. 224 s.

© Мальцев Г. И., 2024

Поступила в редакцию 16.11.2023
Принята к печати 22.07.2024

**ДВУХКРИТЕРИАЛЬНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ
ДРОБНОСТИ СОРТИРОВКИ БРЁВЕН ПО ТОЛЩИНЕ****В. В. Огурцов, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева**

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

Статья посвящена проблеме сортировки брёвен по толщине при формировании распиловочных партий с оптимальным подбором пиловочника по группам диаметров. Опираясь на максимизацию объёмного выхода, наука ориентирует производство на высокую дробность сортировки брёвен по толщине через один чётный диаметр. Производственники отдают явное предпочтение более грубой сортировке брёвен через два – три чётных диаметра, видя громоздкость и затратность сортировки с высокой дробностью и не обнаруживая обещанного увеличения объёмного выхода пиломатериалов. Вопросам дробности сортировки бревен по толщине уделяли внимание практически все ученые-лесопильщики. Несмотря на различия в подходах и предложениях, общим для них является то, что критерием оптимальности традиционно считается объёмный выход пиломатериалов. Целью данных исследований является доказательство целесообразности использования в качестве критерия оптимальности структуры и параметров крупно-поточного лесопильного предприятия рентабельности производства пиломатериалов, поскольку она учитывает не только объёмный выход пиломатериалов, но и то, какой ценой он обеспечивается. Для достижения поставленной цели и решения, вытекающих из неё задач, возникают вопросы, на которые не даёт ответов общая теория лесопиления, поскольку в ней бревно представляется, как параболоид вращения с номинальными размерами. Поэтому авторами предложен вариант развития теории раскря брёвен с учётом случайной изменчивости кривизны, эллиптичности и точности их базирования.

Получены математические модели, связывающие вероятностные характеристики брёвен и процессов их раскря с объёмным выходом пиломатериалов и рентабельностью лесопильного производства.

Ключевые слова: бревно, распиловка, постав, объёмный выход, пиломатериал, рентабельность.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 4, P. 89–94

**A TWO-CRITERION MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMIZING
THE FRACTIONAL SORTING OF LOGS BY THICKNESS****V. V. Ogurtsov, E. V. Kargina, I. S. Matveeva**

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

The article is devoted to the problem of sorting logs by thickness when forming sawing batches with optimal selection of sawlogs by diameter groups. Based on maximizing the volume output, science focuses production on high fractional sorting of logs by thickness through one even diameter. Manufacturers give a clear preference to coarser log sorting through two to three even diameters, seeing the cumbersome and costly sorting with high fragmentation and not finding the promised increase in the volumetric yield of lumber. Almost all sawmill scientists paid attention to the issues of fractional sorting of logs by thickness. Despite the differences in approaches and proposals, what they have in common is that the volumetric yield of lumber is traditionally considered to be the optimality criterion. The purpose of these studies is to prove the feasibility of using the profitability of lumber production as a criterion for the optimal structure and parameters of a large-scale sawmill enterprise, since it takes into account not only the volumetric yield of lumber, but also the cost at which it is achieved. To achieve the goal and solve the problems arising from it, questions arise that are not answered by the general theory of sawmilling, since in it the log is represented as a paraboloid of revolution with nominal dimensions. Therefore, the authors proposed a variant of the development of the theory of cutting logs, taking into account the random variability of curvature, ellipticity and accuracy of the location of logs.

Mathematical models that connect the probabilistic characteristics of logs and their cutting processes with the volumetric yield of lumber and the profitability of the sawmill were obtained.

Keywords: log, sawing, sawing plan, volumetric output, lumber profitability.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность лесопильных предприятий с массовой крупно-поточной распиловкой по оценке учёных и специалистов повышается не адекватно масштабам проводимого перевооружения отрасли. Объёмный выход пиломатериалов не преодолевает отметку в 50 % при прогнозных – 60...63 % Средняя по отрасли рентабельность не поднимается выше 13 % даже в годы стабильного функционирования лесного комплекса России [1; 2].

Причину этого зачастую видят в традиционно низкой в отрасли культуре производства [1].

Чтобы дать научное объяснение имеющимся результатам и наметить пути повышения эффективности лесопильных крупно-поточных производств авторами выдвигается две гипотезы:

1. Разрыв в 10 и более процентов между фактическим объёмным выходом и расчётным следует искать в том, что существующая теория раскря не учитывает случайное варьирование кривизны, эллиптичности и точности базирования брёвен.

2. Использование объёмного выхода пиломатериалов в качестве основного критерия эффективности крупно-поточного лесопильного производства следует считать необоснованным, так как он не учитывает затраты производства.

Опираясь на максимизацию объёмного выхода, наука ориентирует производство на высокую дробность сортировки брёвен по толщине через один чётный диаметр. Производственники отдают явное предпочтение более грубой сортировке брёвен через два – три чётных диаметра, видя громоздкость и затратность сортировки с высокой дробностью и не обнаруживая обещанного увеличения объёмного выхода пиломатериалов.

То есть, спорность выбора объёмного выхода пиломатериалов в качестве критерия эффективности лесопильного производства порождает целый ряд других принципиальных спорных моментов. Главный из них – дробность сортировки брёвен по толщине, на которой базируется весь дальнейший процесс производства пиломатериалов. Поэтому именно дробность сортировки брёвен по толщине выбирается авторами в качестве основного предмета исследований с целью повышения эффективности массового крупно-поточного лесопиления.

Вопросам дробности сортировки бревен по толщине уделяли внимание практически все ученые-лесопильщики. Условно их можно разделить на две группы [1–9]: первые занимались непосредственно проблемами раскря пиловочника и именно им принадлежат рекомендации сортировать брёвна через один четный диаметр; вторая группа исследователей уделяла большое внимание вопросам гармонизации производства. Они предлагали различные варианты решения проблемы сортировки брёвен по диаметрам. Так, профессор Турушев В. Г. [1] предлагал использовать многоэтапную сортировку при формировании распиловочных партий брёвен, а профессор Калитеевский Р. Е. [2] доказывал целесообразность дифференцирования дробности, используя переменный шаг сортировки.

Проблему дробности сортировки брёвен по диаметрам пытались решить с помощью «плавающих» (гибких) поставок [10–16]. С их помощью можно добиться высокой эффективности работы участков подготовки и распиловки сырья, однако они могут привести к значительному рассеиванию сечений досок и, как следствие, к появлению мелких одноразмерных партий пиломатериалов. Существенная часть этих пиломатериалов остается непакетированной, а сам процесс окончательной торцовки и сортировки пиломатериалов на сортировочно-пакетирующей линии многократно растягивается и удорожается.

Несмотря на различия в подходах и предложениях, общим для всех учёных-лесопильщиков является то, что критерием оптимальности традиционно считается объёмный выход пиломатериалов. Целью данных исследований является доказательство целесообразности использования в качестве критерия оптимальности структуры и параметров крупно-поточного лесопильного предприятия рентабельности производства пиломатериалов, поскольку она учитывает не только объёмный выход пиломатериалов, но и то, какой ценой он достигается.

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленной цели и решения, вытекающих из неё задач, возникают вопросы, на которые не даёт ответов общая теория лесопиления, поскольку в ней бревно представляется, как парабола вращения с номинальными размерами. Поэтому авторами предложен вариант развития теории раскря брёвен с учётом случайной изменчивости кривизны, эллиптичности и точности базирования брёвен.

Случайные отклонения формы и размеров бревна от номинальных значений в основном сказываются на боковых досках. Поэтому для оптимизации операций торцовки и обрезки таких досок предложена математическую модель (1):

$$F = (L - X_1) h_i (S(2(d_n + X_2 - (-1)^n X_3) + SL)^* (L - l_i) + (d_n + X_2 - (-1)^n X_3)^{2,5} (1 - (4(E_i + X_4 + 0,05 X_5 l_i)^* (1 - \exp(-(L - l_i) / L)))^2) (S(2(d_n + X_2 + (-1)^n X_3) + SL)(L - l_i) + (d_n + X_2 + (-1)^n X_3)^{2,5})^{-1})^{0,5} \rightarrow \frac{MAX}{(X_1)}$$

$$0 \leq X_1 \leq (L - l_{min}); (X_1 - \text{дискретная координата торцовки})$$

$$(L - X_1) \in \{l_{ст}\}$$

$$F (L - X_1)^{-1} \in \{b_{ст.}\}, \quad (1)$$

где d_n , L , S – номинальный диаметр, длина и сбег бревна; h_i – толщина доски (устанавливается при генерации постава); l_i , l_{min} – длина и минимальная длина доски; $\{l_{ст}\}$, $\{b_{ст.}\}$, – множества стандартных длин и ширин досок; E_i – расход ширины постава; n – номер прохода; X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 – координата места торцовки, случайные отклонения диаметра, эллиптичности, смещения и кривизны бревна.

Используя полученную математическую модель, сначала определяется ширина необрезной доски посе-

редине её вогнутой части с учётом случайного сбега, эллиптичности, кривизны и поперечного смещения бревна, то есть, определяется ширина в той части доски, где в наибольшей степени сказывается кривизна бревна (рис. 1).

Назовём этот участок доски горловиной. Затем, для $X_1 = 0$ определяется длина $l_1 = L - X_1$, ширина b_1 и площадь пласти $b_1 * l_1$ обрезной доски полной длины. Если доска «проходит через горловину», то X_1 увеличивается на один, достаточно малый шаг. В результате доска укорачивается и соответственно уширяется. Площади досок сравниваются. Таким образом, выбираются оптимальные размеры стандартной обрезной доски, которая «проходит через горловину». Если доска минимальной стандартной ширины «не проходит через горловину», то доска раскраивается поперёк с удалением вершинной части. Процедура поиска оптимальных размеров доски продолжается для оставшейся комлевой части доски.

Толщина бревна, эллиптичность, смещение и кривизна воспроизводятся с помощью переменных X_2, X_3, X_4, X_5 путем использования специально настроенных генераторов случайных чисел. X_2 – варьируется по равномерному закону, остальные – по нормальному закону. Пределы варьирования указаны в ограничениях математической модели (2).

Используя средние по отрасли устойчивые характеристики работы предприятий с массовой крупнопоточной технологией, введено понятие лесопильного производства с базовыми характеристиками (рис. 2): сортировка брёвен по толщине через два чётных диаметра без сортировки по длинам; раскрой брёвен с использованием двухтолщинных рациональных поставов; сортировка пиломатериалов по толщине и ширине; камерная сушка пиломатериалов до транспортной влажности; окончательная торцовка пиломатериалов после сушки с градацией 0,3 м; сортировка досок по качеству и длинам; пакетирование товарных пиломатериалов; представление себестоимости пилопродукции, состоящей из сырьевых затрат (СЗ), учитывающих только стоимость брёвен, и несырьевых затрат (НСЗ), объединяющих все остальные её статьи; доля сырьевых затрат $D_{сз}^b = 0,8$; НСЗ на каждом участке технологического процесса прямо пропорциональны количеству сортировочных групп; НСЗ между участками производственного процесса распределяются следующим образом: подготовка сырья к раскрою – 0,186; обработка сырых пиломатериалов – 0,214; пакетирование, сушка, окончательная обработка пиломатериалов – 0,330; прочие операции – 0,270; уровень рентабельности базового варианта $RE_b = 0,13$.

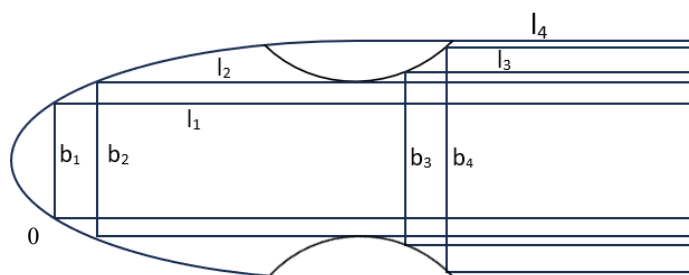


Рис. 1. Схема раскроя боковой доски с учётом кривизны бревна:

$l_1 * b_1, l_2 * b_2, l_3 * b_3, l_4 * b_4$ – конкурирующие длины и ширины досок



Рис. 2. Базовый вариант крупно-поточного лесопиления

Для перехода от базового к исследуемому jj варианту ввели переходные коэффициенты и получили математическую модель двухкритериальной оптимизации дробности сортировки по диаметрам для максимизации рентабельности лесопильного производства (2).

Поскольку процесс производства пиломатериалов является большой системой с высокой степенью неопределённости, то в качестве основного метода исследования принято имитационное моделирование.

В режиме имитационного моделирования двухкритериальная модель

работает следующим образом. Одна входная переменная – это дробность сортировки – фиксируется на первом уровне, остальные входные переменные подключаются к датчикам случайных чисел. На первом этапе генерируются методом полного перебора схемы раскроя (поставы) брёвен. По каждой схеме «распи-

ливается» 1000 брёвен со случайными характеристиками. По критерию максимизации объёмного выхода отбирается 20 лучших поставов. В результате для 20 лучших поставов имеем 20 объёмных выходов и 20 рентабельностей. Затем дробность сортировки фиксируется на втором уровне. Процесс генерирования поставов повторяется для второй дробности. Определяется 20 лучших поставов с 20 выходами и 20 рентабельностями. Первый этап завершается тогда, когда заканчиваются все запланированные уровни дробности. Получаем 20 зависимостей объёмного выхода от дробности сортировки и 20 зависимостей рентабельности от дробности сортировки брёвен по толщине. После этого переходим ко второму этапу, когда включается вторая целевая функция и определяется оптимальная дробность сортировки брёвен по критерию максимизации рентабельности.

$$\left\{ \begin{aligned} RE_{jj} &= \left\{ \sum_{k=1}^{1000} \left\{ \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{mj} (L - X_i) h_i \left(S \left(2 \left(d_h + X_2 - (-1)^n X_3 \right) + SL \right) \right)^* \right. \right. \\ &\quad \left. \left(L - l_i \right) + \left(d_h + X_2 - (-1)^n X_3 \right)^2 \right\}^{0.5} \left(1 - (4(E_i + X_4 + 0,05 X_5 l_i \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (1 - \exp(-(L - l_i) / L)))^2 \right) \left(S \left(2 \left(d_h + X_2 + (-1)^n X_3 \right) + SL \right) \right) (L - l_i) + \right. \\ &\quad \left. \left(d_h + X_2 + (-1)^n X_3 \right)^2 \right\}^{-1} + \sum_{ii=1}^{m2} h_{ii} b_{ii} l_{ii} \} \}^* \\ &\quad \{ SE_b D_{c3} + SE_b (1 - D_{c3}) (Y_1 DR_b / X_2 + Y_2 KT_{jj} / KT_b + Y_3 * \\ &\quad GR_b / GR_{jj} + Y_4) \}^{-1} - 1 \rightarrow \frac{MAX}{(X_2)} \\ \Omega &= \left\{ \sum_{k=1}^{1000} \left\{ \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{mj} (L - X_i) h_i \left(S \left(2 \left(d_h + X_2 - (-1)^n X_3 \right) + SL \right) \right)^* \right. \right. \\ &\quad \left. \left(L - l_i \right) + \left(d_h + X_2 - (-1)^n X_3 \right)^2 \right\}^{0.5} \left(1 - (4(E_i + X_4 + 0,05 X_5 l_i * \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (1 - \exp(-(L - l_i) / L)))^2 \right) \left(S \left(2 \left(d_h + X_2 + (-1)^n X_3 \right) + SL \right) \right)^* \right. \\ &\quad \left. \left(L - l_i \right) + \left(d_h + X_2 + (-1)^n X_3 \right)^2 \right\}^{-1} + \sum_{ii=1}^{m2} h_{ii} b_{ii} l_{ii} \} \}^* \\ &\quad 100 \left(\sum_{k=1}^{1000} V_k \right)^{-1} \rightarrow \frac{MAX}{\{h_i E_i\}} \\ &\quad 0 \leq X_1 \leq (L - l_{min}), \\ &\quad (L - X_1) \in \{l_{cr}\}, \\ &\quad F(L - X_1)^{-1} \in \{b_{cr}\} \\ &\quad X_2 = (-1 \dots 1) X_{2cp}; \quad X_{2cp} \in \{2, 5; 5; 10; 15; 20; 25; 30 \text{ мм}\} \\ &\quad X_3 = (0 \dots 2) X_{3cp}; \quad X_{3cp} \in \{0; 2; 4; 6; 8; 10 \text{ мм}\} \\ &\quad X_4 = (-1 \dots 1) X_{4max}; \quad X_{4max} \in \{0; 5; 10; 15; 20 \text{ мм}\} \\ &\quad X_5 = (0 \dots 2) X_{5cp}; \quad X_{5cp} \in \{0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 \%\}, \end{aligned} \right. \quad (2)$$

где RE_{jj} , Ω – рентабельность и объёмный выход пиломатериалов; i , mj – порядковый номер боковой доски и их количество в j -м расчёте поставы; j – номер расчёта боковых зон поставы (1–4 – правой, левой зоны на первом и втором проходе); $\{h_i, E_i\}$ – постав; ii , $m2$ – порядковый номер и количество досок из пропиленной части бруса; k , V_k – номер и объём бревна; Y_1 – доля затрат на участке подготовки сырья к распиловке (0,186); DR_b – базовая

дробность сортировки брёвен по толщине (по двум чётным диаметрам; $DR_b = 20$); X_2 – дробность сортировки брёвен по толщине по jj -му варианту; Y_2 – доля затрат на участке обработке сырых пиломатериалов (0,214); KT_b – количество толщин досок в поставе по базовому варианту (2); KT_{jj} – количество толщин досок по jj -му варианту; Y_3 – доля трудозатрат на участке окончательной обработки пиломатериалов после сушки (0,330); GR_b – базовая градация длин досок (0,3 м); GR_{jj} – градация длин досок по jj -му варианту; Y_4 – доля затрат на остальных участках (0,270).

Полученная двухкритериальная математическая модель позволяет в имитационном формате находить оптимальную дробность сортировки брёвен по толщине и исследовать её на чувствительность к случайным характеристикам пиловочника и процесса его распиловки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен вариант развития теории раскроя брёвен на пиломатериалы с установлением зависимостей показателей эффективности лесопильных предприятий от характеристик сырья и процессов его раскроя с учётом случайной изменчивости кривизны, эллиптичности и точности базирования брёвен.

Разработана математическая модель оптимизации процессов торцовки и обрезки боковых досок.

Разработана двухкритериальная математическая модель оптимизации дробности сортировки брёвен по диаметрам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Турушев В. Г. Технологические основы автоматизированного производства пиломатериалов. М. : Лесная промышленность, 1975. 208 с.
2. Калитеевский Р. Е. Лесопиление в XXI веке. Технология, оборудование, менеджмент. 2-е изд., испр. и доп. СПб. : ПРОФИКС, 2008. 496 с.
3. Огурцов В. В. Теория брусо-развальной распиловки брёвен : монография. Красноярск : СибГТУ, 2011. 230 с.
4. Фергин В. Р. Развитие теории раскроя пиловочного сырья // Лесн. журн. (Изв. высш. учеб. заведений) 2018. № 4. С. 107–117.
5. Каргина Е. В., Матвеева И. С., Огурцов В. В. Теоретические основы расчёта поставов для распиловки брёвен с пороками формы // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 28, № 1-2. С. 141–145.
6. Каргина Е. В., Ридель Л. Н., Матвеева И. С., Огурцов В. В. Алгоритм имитационных исследований экономической эффективности лесопильных предприятий // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 28, № 1-2. С. 146–153.
7. Агапов А. И. Оптимизация раскроя пиловочника крупных размеров : монография. Киров : Вятский государственный университет, 2021. 407 с.
8. Makkonen M. *Renewing the sawmill industry: studies on innovation, customer value and digitalization*. Academic Dissertation. Helsinki, Finland, University of Helsinki, 2019. 65 p.
9. Johansson J. Mechanical processing for improved products made from Swedish hardwood // *Acta Wexionensia* 2008. Vol. 157, p. 58.
10. Chang S. J., Gazo R. Measuring the Effect of Internal Log Defect Scanning on the Value of Lumber

Produced // *Forest Products Journal*. 2009. 59 (11-12). P. 56–59. DOI: 10.13073/0015-7473-59.11.56.

11. Héberta F., Grondinb F., Plaice J. Mathematical modeling of curve sawing techniques for lumber industry // *Applied Mathematical Modelling*. 2000. Vol. 24, Is. 8-9. P. 677–687. DOI: 10.1016/S0307-904X(00)00009-3.

12. Hinostroza I., Pradenasa L., Parada V. Board cutting from logs: Optimal and heuristic approaches for the problem of packing rectangles in a circle // *International Journal of Production Economics*. 2013. Vol. 145, Is. 2. P. 541–546. DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.04.047.

13. Ikami Y., Matsumura Y., Murata K., Tsuchikawa S. Effect of Crosscutting Crooked Sugi (*Cryptomeria japonica*) Logs on Sawing Yield and Quality of Sawed Lumber // *Forest Products Journal*. 2010. Vol. 60 (3). P. 244–248. DOI: 10.13073/0015-7473-60.3.244.

14. Lin W., Wang J., Wu J., Vallance D. De. Log Sawing Practices and Lumber Recovery of Small Hardwood Sawmills in West Virginia // *Forest Products Journal*. 2011. No. 61 (3). P. 216–224. DOI: 10.13073/0015-7473-61.3.216.

15. Montero R. S., Moya R. Reducing Warp and Checking in 4 by 4 Beams from Small-Diameter Tropical Species (*Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, and *Cordia alliodora*) Obtained by Turning the Pith Inside Out // *Forest Products Journal*. 2015. No. 65 (5-6). P. 285–291. DOI: 10.13073/FPJ-D-14-00089.

16. Murara Junior M. I., M. P. da Rocha, Trugilho P. F. Estimate of pine lumber yield using two sawing methods // *Floresta e Ambiente*. 2013. Vol. 20, No. 4. P. 556–563. Ref. 7.

REFERENCES

1. Turushev V. G. *Tekhnologicheskiye osnovy avtomatizirovannogo proizvodstva pilomaterialov*. M. : Lesnaya promyshlennost', 1975. 208 s.
2. Kaliteyevskiy R. Ye. *Lesopileniye v XXI veke. Tekhnologiya, oborudovaniye, menedzhment*. 2-e izd., ispr. i dop. SPb. : PROFIKS, 2008. 496 s.
3. Ogurtsov V. V. *Teoriya bruso-razval'noy raspilovki brëven : monografiya*. Krasnoyarsk : SiBG TU, 2011. 230 s.
4. Fergin V. R. *Razvitiye teorii raskroya pilovoch-nogo syr'ya* // *Lesn. zhurn. (Izv. vyssh. ucheb. zavedeniy)* 2018. № 4. S. 107–117.
5. Kargina Ye. V., Matveyeva I. S., Ogurtsov V. V. *Teoreticheskiye osnovy raschëta postavov dlya raspilovki brëven s porokami formy* // *Khvoynyye boreal'noy zony*. 2011. T. 28, № 1-2. S. 141–145.
6. Kargina Ye. V., Ridel' L. N., Matveyeva I. S., Ogurtsov V. V. *Algoritm imitatsionnykh issledovaniy ekonomicheskoy effektivnosti lesopil'nykh predpriyatiy* // *Khvoynyye boreal'noy zony*. 2011. T. 28, № 1-2. S. 146–153.

7. Agapov A. I. Optimizatsiya raskroya pilovochnika krupnykh razmerov : monografiya. Kirov : Vyatskiy gosudarstvennyy universitet, 2021. 407 s.

8. Makkonen M. *Renewing the sawmill industry: studies on innovation, customer value and digitalization*. Academic Dissertation. Helsinki, Finland, University of Helsinki, 2019. 65 p.

9. Johansson J. Mechanical processing for improved products made from Swedish hardwood // *Acta Wexionensia* 2008, vol. 157, p. 58.

10. Chang S. J., Gazo R. Measuring the Effect of Internal Log Defect Scanning on the Value of Lumber Produced // *Forest Products Journal*. 2009. 59 (11-12). P. 56–59. DOI: 10.13073/0015-7473-59.11.56.

11. Héberta F., Grondinb F., Plaice J. Mathematical modeling of curve sawing techniques for lumber industry // *Applied Mathematical Modelling*. 2000. Vol. 24, Is. 8-9. P. 677–687. DOI: 10.1016/S0307-904X(00)00009-3.

12. Hinostroza I., Pradenasa L., Parada V. Board cutting from logs: Optimal and heuristic approaches for the problem of packing rectangles in a circle // *International Journal of Production Economics*. 2013. Vol. 145, Is. 2. P. 541–546. DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.04.047.

13. Ikami Y., Matsumura Y., Murata K., Tsuchikawa S. Effect of Crosscutting Crooked Sugi (*Cryptomeria japonica*) Logs on Sawing Yield and Quality of Sawed Lumber // *Forest Products Journal*. 2010. Vol. 60 (3). P. 244–248. DOI: 10.13073/0015-7473-60.3.244.

14. Lin W., Wang J., Wu J., Vallance D. De. Log Sawing Practices and Lumber Recovery of Small Hardwood Sawmills in West Virginia. // *Forest Products Journal*. 2011. No 61 (3). P. 216–224. DOI: 10.13073/0015-7473-61.3.216.

15. Montero R. S., Moya R. Reducing Warp and Checking in 4 by 4 Beams from Small-Diameter Tropical Species (*Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, and *Cordia alliodora*) Obtained by Turning the Pith Inside Out // *Forest Products Journal*. 2015. No. 65 (5-6). P. 285–291. DOI: 10.13073/FPJ-D-14-00089.

16. Murara Junior M. I., M. P. da Rocha, Trugilho P. F. Estimate of pine lumber yield using two sawing methods // *Floresta e Ambiente*. 2013. Vol. 20, No. 4. P. 556–563. Ref. 7.

© Огурцов В. В., Каргина Е. В.,
Матвеева И. С., 2024

Поступила в редакцию 20.04.2024
Принята к печати 22.07.2024

ЛОКАЛИЗАЦИЯ СЛУЧАЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИЛОВОЧНИКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО РАСПИЛОВКИ

В. В. Огурцов, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева

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

Статья посвящена подведению некоторых предварительных итогов функционирования современных лесопильных поточных линий на базе фрезернопильного оборудования с плавающими (гибкими) поставками. Анализ показывает, что не все заявленные преимущества в полной мере реализуются в процессе их эксплуатации. Бесспорным является рост производительности лесопильного потока более чем в десять раз. Ожидания радикального упрощения процесса сортировки пиловочного сырья по толщине за счёт автоматической установки индивидуальных поставок не оправдываются из-за трудно разрешимых проблем при сортировке пиломатериалов по размерам и качеству. Применение дорогостоящих 3D-сканеров, томографов и механизмов оптимальной ориентации брёвен не приводит к заметному повышению объёмного выхода пиломатериалов. Остаётся неясной процедура оценки эффективности дальнейшего совершенствования систем контроля и оптимизации. Для такой оценки необходимо, прежде всего, выяснить, как и в какой мере влияют случайные характеристики пиловочника на эффективность его распиловки. В результате имитационных исследований установлен рейтинг причин отклонения «в минус» фактического объёмного выхода пиломатериалов от расчётного его значения. Показано, что кривизна стоит на первом месте с большим опережением других факторов. Получены зависимости объёмного выхода и рентабельности производства от кривизны брёвен. Они показывают, на сколько можно повысить объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства при полной или частичной локализации кривизны брёвен.

Ключевые слова: бревно, распиловка, постав, объёмный выход, пиломатериал, рентабельность.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 4, P. 95–100

LOCALIZATION OF RANDOM CHARACTERISTICS OF SAW LOG TO INCREASE THE EFFICIENCY OF ITS SAWING

V. V. Ogurtsov, E. V. Kargina, I. S. Matveeva

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

The article is devoted to summing up some preliminary results of the functioning of modern sawmill production lines based on milling saw equipment with floating (flexible) sawing plan. The analysis shows that not all declared advantages are fully realized during their operation. There is no doubt that the productivity of the sawmill flow has increased more than tenfold. Expectations for a radical simplification of the process of sorting sawn raw materials by thickness due to the automatic installation of individual sawing plan are not justified due to intractable problems in sorting lumber by size and quality. The use of expensive 3D scanners, tomographs and mechanisms for optimal orientation of logs does not lead to a noticeable increase in the volumetric yield of lumber. The procedure for assessing the effectiveness of further improvement of control and optimization systems remains unclear. For such an assessment, it is necessary, first of all, to find out how and to what extent the random characteristics of the saw log influence the efficiency of its sawing. As a result of simulation studies, a rating of the reasons for the deviation “minus” of the actual volumetric yield of lumber from its calculated value was established. It is shown that curvature comes first, far ahead of other factors. The dependences of the volumetric output and profitability of production on the curvature of the logs were obtained. They show how much it is possible to increase the volumetric yield of lumber and the profitability of their production with full or partial localization of the curvature of the logs.

Keywords: log, sawing, sawing plan, volumetric yield, lumber, profitability.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время практически завершается реформирование рамных лесопильных предприятий

с крупно-поточной технологией на фрезернопильное оборудование с плавающими (гибкими) поставками. С внедрением современных автоматизированных

линий связываются ожидания трёх видов: во-первых, повышение производительности в десять и более раз; во-вторых, радикальное упрощение процесса сортировки пиловочного сырья по толщине за счёт автоматической установки индивидуальных поставов; в-третьих, повышение объёмного выхода пиломатериалов за счёт применения 3D-сканеров, томографов и механизмов оптимальной ориентации брёвен. Имеющийся опыт эксплуатации линий типа LINK и EWD позволяет делать некоторые выводы.

Подтверждаются ожидания кратного повышения производительности лесопильных потоков. Фрезернопильные линии, работая не на предельных скоростях подачи, обеспечивают производительность более 1000 м³ в смену по сырью. Учитывая, что стойкость пил возрастает в 2–5 раз, одна линия, например EWD, способна распиливать более 800 тыс. м³ в год. То есть, по производительности одна линия заменяет два 8-рамных цеха. Следует, однако, отметить, что указанные линии не работают на крупномерном сырье. Поэтому предприятиям приходится сохранять лесопильные рамы, пока им на смену не поступят линии на базе фрезерно-ленточнопильного оборудования.

Что касается сортировки брёвен по толщине, то ожидания по упрощению и, тем более, отказу от неё – не оправдались. Из-за нарастающих проблем при сортировке пиломатериалов по размерам и качеству линии сортировки брёвен перед распиловкой достигают до 100 и более карманов-накопителей и более 200 метров в длину. В работе авторов [1] доказывается, что при накоплении распиловочных партий брёвна следует сортировать с оптимальной дробностью через два чётных диаметра.

Реализация ожиданий по повышению объёмного выхода пиломатериалов пока не поддаётся оценке. Дело в том, что сами ожидания остаются неясными, поскольку неизвестна степень влияния вероятностных характеристик формы и размеров брёвен на объёмный выход пиломатериалов [10–18]. Поэтому целью данных исследований является определение влияния случайных характеристик пиловочника на эффективность его распиловки.

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Имитационные исследования [2] влияния вероятностных значений эллиптичности, кривизны и точность базирования брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства [3–5] проводятся на брёвнах со среднестатистическими по отрасли размерами брёвен [6; 7] 22 см / 5,5 м с применением наиболее распространённых поставов [2]: № 4 – 25 – 150 – 25; 25 – 50/3 – 25; № 5 – 25/2 – 100 – 25/2; 25 – 50/3 – 25; № 6 – 25/2 – 100 – 25/2; 25/3 – 50 – 25/3 при длине досок 1,5...5,4 м с градацией 0,3 м. Перед «машинной распиловкой» формируются партии из 1000 брёвен, рассортированных через два чётных диаметра [2; 8; 9].

Результаты проведённых исследований представлены на рис. 1–4.

По рис. 1 и работы авторов [3] видно, что объёмный выход досок снижается на 0,93–1,13 % при увеличении средней эллиптичности брёвен от нуля до 6 мм с варьированием по нормальному закону от нуля до 12 мм.

По рис. 2 и работы авторов [4] видно, что при изменении среднего значения кривизны от нуля до 0,25 % с варьированием по нормальному закону от нуля до 0,5 % объёмный выход снижается на 1,35–2,12 %. Экстраполируя полученные значения на максимальную кривизну 1,5 %, получаем снижение объёмного выхода на 4,05–6,36 %.

По рис. 3 и работы авторов [3] видно, что рентабельность производства пиломатериалов снижается на 0,8–2,7 % при увеличении среднего значения эллиптичности от нуля до 6 мм с варьированием от нуля до 12 мм по нормальному закону.

По рис. 4 и работы авторов [4] видно, что рентабельность производства пиломатериалов снижается на 2,7–5,8 % при увеличении среднего значения кривизны от нуля до 0,25 % с варьированием от нуля до 0,5 % мм по нормальному закону.

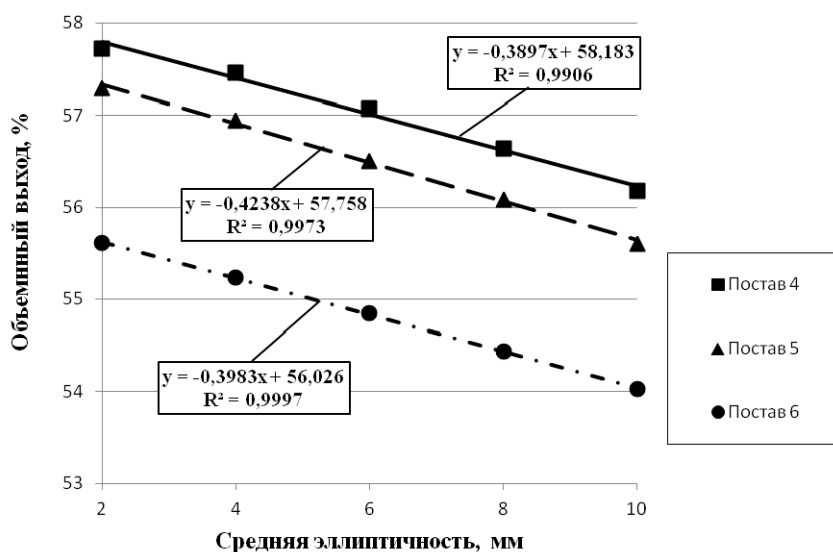


Рис. 1. Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от эллиптичности брёвен

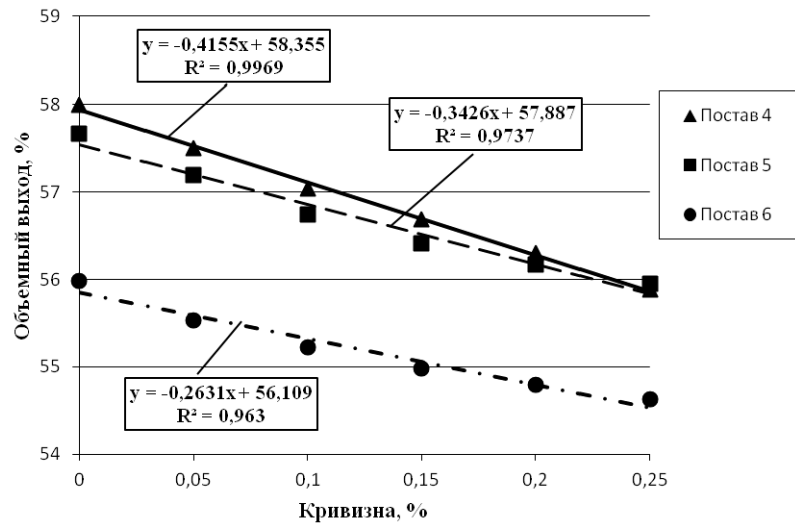


Рис. 2. Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от кривизны брёвен

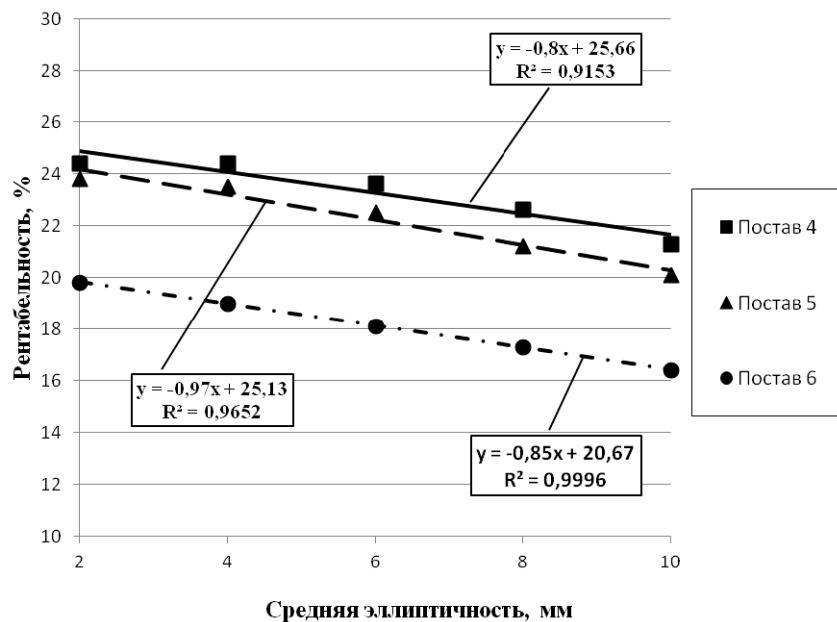


Рис. 3. Зависимость рентабельности от эллиптичности брёвен

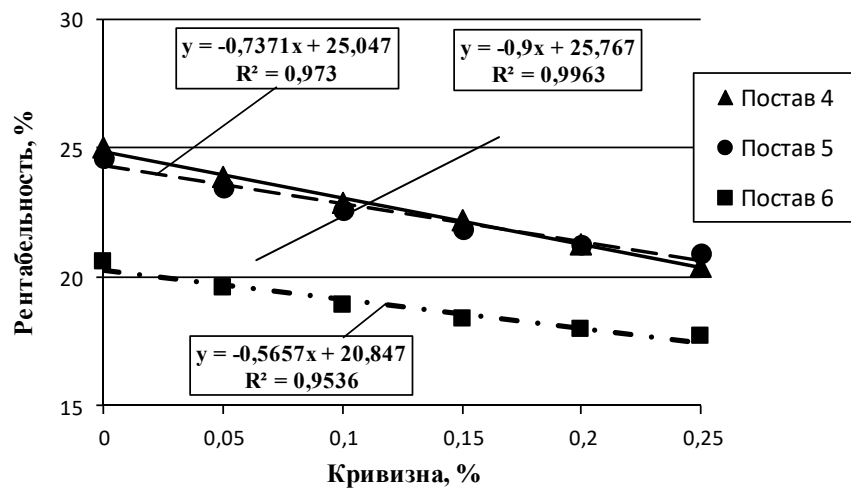


Рис. 4. Зависимость рентабельности от кривизны брёвен

Обобщая полученные результаты и материалы работ авторов [3–5], установлен рейтинг причин отклонения «в минус» фактического объёмного выхода

пиломатериалов от расчётного его значения (рис. 5) и рентабельности производства пиломатериалов (рис. 6).

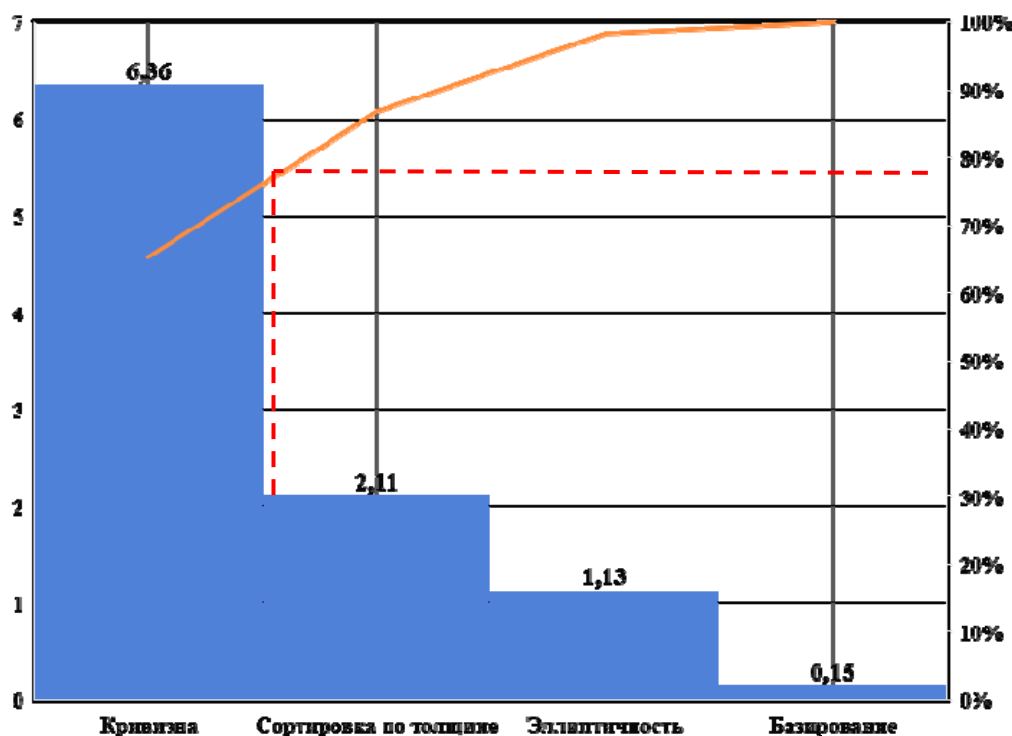


Рис. 5. Диаграмма Парето влияния случайных характеристик пиловочника и его базирования на снижение объёмного выхода пиломатериалов



Рис. 6. Снижение рентабельности производства пиломатериалов при средних значениях: кривизны – 0,25 %, эллиптичности – 6 мм; базирования ± 10 мм

Таким образом, подтверждается гипотеза, выдвинутая нами в статье, опубликованной в данном журнале, о том, что причина, как минимум, 10 %-ого разрыва между расчётным и фактическим объёмным выходом заключается не в низкой технологической дисциплине, не в том, что производственники не выполняют предписания по дробности сортировки, а в вероятностной природе формы и размеров брёвен. Причём, в рейтинге причин кривизна стоит на первом месте с большим опережением других факторов.

В настоящее время во многих странах с развитым лесопилением активно занимаются решением про-

блемы кривизны брёвен при их распиловке. Предлагаются различные варианты. Один из наиболее распространённых – применение 3D-сканеров с оптимизацией ориентации брёвен перед их раскромом. Мероприятие дорогостоящее, а ожидаемый эффект от его реализации в научной литературе не находит должного освещения.

В результате проведённых нами имитационных исследований получены зависимости объёмного выхода и рентабельности производства от кривизны брёвен (рис. 2, 4). Они показывают, насколько можно повысить объёмный выход пиломатериалов и рента-

бельность их производства при полной или частичной локализации кривизны брёвен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Опыт переформатирования рамных лесопильных предприятий с крупно-поточной технологией на фрезернопильное оборудование с плавающими (гибкими) поставками показывает, что ожидания кратного повышения производительности лесопильных потоков подтверждаются в полной мере. Одна фрезернопильная линия заменяет два 8-рамных цеха.

2. Ожидания по упрощению сортировки брёвен по толщине и, тем более, отказу от неё – не оправдываются. При накоплении распиловочных партий брёвна следует сортировать с оптимальной дробностью через два чётных диаметра.

3. Реализация ожиданий по повышению объёмного выхода пиломатериалов пока не поддаётся оценке.

4. Подтверждается гипотеза, выдвинутая нами в статье, опубликованной в данном журнале, о том, что причина, как минимум, 10 %-ого разрыва между расчётным и фактическим объёмным выходом пиломатериалов заключается в вероятностной природе формы и размеров брёвен. В рейтинге причин кривизна стоит на первом месте с большим опережением других факторов.

5. Полученные в данной работе зависимости объёмного выхода и рентабельности производства от кривизны брёвен показывают на сколько можно повысить объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства при полной или частичной локализации кривизны брёвен.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Принципы установления дробности сортировки бревен по толщине при их массовой крупно-поточной распиловке жесткими поставками / В. В. Огурцов, Д. Н. Деревянных, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. 37, № 3-4. С. 250–255.

2. Огурцов В. В. Теория брусо-развальной распиловки брёвен : монография. Красноярск : СибГТУ, 2011. 230 с.

3. Огурцов В. В., Каргина Е. В., Матвеева И. С. Влияние эллиптичности брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства // Хвойные бореальной зоны. 2015. Т. 33, № 5-6. С. 283–285.

4. Огурцов В. В., Каргина Е. В., Матвеева И. С. Влияние кривизны брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства // Хвойные бореальной зоны. 2016. Т. 34, № 1-2. С. 101–106.

5. Огурцов В. В., Каргина Е. В., Матвеева И. С. Влияние случайного смещения брёвен от центра поставки пил на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства // Хвойные бореальной зоны. 2016. Т. 34, № 1-2. С. 107–110.

6. Турушев В. Г. Технологические основы автоматизированного производства пиломатериалов. М. : Лесная промышленность, 1975. 208 с.

7. Калитеевский Р. Е. Лесопиление в XXI веке. Технология, оборудование, менеджмент. 2-е изд., испр. и доп. СПб. : ПРОФИКС, 2008. 496 с.

8. Каргина Е. В., Матвеева И. С., Огурцов В. В. Теоретические основы расчёта поставок для распиловки брёвен с пороками формы // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 28, № 1-2. С. 141–145.

9. Каргина Е. В., Ридель Л. Н., Матвеева И. С., Огурцов В. В. Алгоритм имитационных исследований экономической эффективности лесопильных предприятий // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 28, № 1-2. С. 146–153.

10. Makkonen M. *Renewing the sawmill industry: studies on innovation, customer value and digitalization*. Academic Dissertation. Helsinki, Finland, University of Helsinki, 2019. 65 p.

11. Johansson J. Mechanical processing for improved products made from Swedish hardwood // *Acta Wexionensia* 2008, vol. 157, p. 58.

12. Chang S. J., Gazo R. Measuring the Effect of Internal Log Defect Scanning on the Value of Lumber Produced // *Forest Products Journal*. 2009. 59 (11-12). P. 56–59. DOI: 10.13073/0015-7473-59.11.56.

13. Hébert F., Grondin F., Plaire J. Mathematical modeling of curve sawing techniques for lumber industry // *Applied Mathematical Modelling*. 2000. Vol. 24, Is. 8-9. P. 677–687. DOI: 10.1016/S0307-904X(00)00009-3.

14. Hinostroza I., Pradenasa L., Parada V. Board cutting from logs: Optimal and heuristic approaches for the problem of packing rectangles in a circle // *International Journal of Production Economics*. 2013. Vol. 145, Is. 2. P. 541–546. DOI: 10.1016/j.ijpe.2013. 04.047.

15. Ikami Y., Matsumura Y., Murata K., Tsuchikawa S. Effect of Crosscutting Crooked Sugi (*Cryptomeria japonica*) Logs on Sawing Yield and Quality of Sawn Lumber // *Forest Products Journal*. 2010. Vol. 60 (3). P. 244–248. DOI: 10.13073/0015-7473-60.3.244.

16. Lin W., Wang J., Wu J., Vallance D. De. Log Sawing Practices and Lumber Recovery of Small Hardwood Sawmills in West Virginia. // *Forest Products Journal*. 2011. No. 61 (3). P. 216–224. DOI: 10.13073/0015-7473-61.3.216.

17. Montero R. S., Moya R. Reducing Warp and Checking in 4 by 4 Beams from Small-Diameter Tropical Species (*Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, and *Cordia alliodora*) Obtained by Turning the Pith Inside Out // *Forest Products Journal*. 2015. No. 65 (5-6). P. 285–291. DOI: 10.13073/FPJ-D-14-00089.

18. Murara Junior M. I., M. P. da Rocha, Trugilho P. F. Estimate of pine lumber yield using two sawing methods // *Floresta e Ambiente*. 2013. Vol. 20, No. 4. P. 556–563. Ref. 7.

REFERENCES

1. Printsipy ustanovleniya drobnosti sortirovki breven po tolshchine pri ikh massovoy krupno-potochnoy raspilovke zhestkimi postavami / V. V. Ogurtsov, D. N. Derevyannykh, Ye. V. Kargina, I. S. Matveyeva // *Khvoynyye boreal'noy zony*. 2019. T. 37, № 3-4. S. 250–255.

2. Ogurtsov V. V. *Teoriya bruso-razval'noy raspilovki b'reven* : monografiya. Krasnoyarsk : SiBG TU, 2011. 230 s.

3. Ogurtsov V. V., Kargina Ye. V., Matveyeva I. S. Vliyaniye elliptichnosti b'reven na ob'yemnyy vykhod pilomaterialov i rentabel'nost' ikh proizvodstva // *Khvoynyye boreal'noy zony*. 2015. T. 33, № 5-6. S. 283–285.

4. Ogurtsov V. V., Kargina Ye. V., Matveyeva I. S. Vliyaniye krivizny brëven na ob"yëmnyy vykhod pilomaterialov i rentabel'nost' ikh proizvodstva // *Khvoynyye boreal'noy zony*. 2016. T. 34, № 1-2. S. 101–106.

5. Ogurtsov V. V., Kargina Ye. V., Matveyeva I. S. Vliyaniye sluchaynogo smeshcheniya brëven ot tsentra postava pil na ob"yëmnyy vykhod pilomaterialov i rentabel'nost' ikh proizvodstva // *Khvoynyye boreal'noy zony*. 2016. T. 34, № 1-2. S. 107–110.

6. Turushev V. G. Tekhnologicheskiye osnovy avtomatizirovannogo proizvodstva pilomaterialov. M. : Lesnaya promyshlennost', 1975. 208 s.

7. Kaliteyevskiy R. Ye. Lesopileniye v XXI veke. Tekhnologiya, oborudovaniye, menedzhment. 2-e izd., ispr. i dop. SPb. : PROFIKS, 2008. 496 s.

8. Kargina Ye. V., Matveyeva I. S., Ogurtsov V. V. Teoreticheskiye osnovy raschëta postavov dlya raspilovki brëven s porokami formy // *Khvoynyye boreal'noy zony*. 2011. T. 28, № 1-2. S. 141–145.

9. Kargina Ye. V., Ridel' L. N., Matveyeva I. S., Ogurtsov V. V. Algoritmy imitatsionnykh issledovaniy ekonomicheskoy effektivnosti lesopil'nykh predpriyatiy // *Khvoynyye boreal'noy zony*. 2011. T. 28, № 1-2. S. 146–153.

10. Makkonen M. *Renewing the sawmill industry: studies on innovation, customer value and digitalization*. Academic Dissertation. Helsinki, Finland, University of Helsinki, 2019. 65 p.

11. Johansson J. Mechanical processing for improved products made from Swedish hardwood // *Acta Wexionensia* 2008, vol. 157, p. 58.

12. Chang S. J., Gazo R. Measuring the Effect of Internal Log Defect Scanning on the Value of Lumber Produced // *Forest Products Journal*. 2009. 59 (11-12). P. 56–59. DOI: 10.13073/0015-7473-59.11.56.

13. Héberta F., Grondin F., Plaice J. Mathematical modeling of curve sawing techniques for lumber industry // *Applied Mathematical Modelling*. 2000. Vol. 24, Is. 8-9. P. 677–687. DOI: 10.1016/S0307-904X(00)00009-3.

14. Hinostroza I., Pradenasa L., Parada V. Board cutting from logs: Optimal and heuristic approaches for the problem of packing rectangles in a circle // *International Journal of Production Economics*. 2013. Vol. 145, Is. 2. P. 541–546. DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.04.047.

15. Ikami Y., Matsumura Y., Murata K., Tsuchikawa S. Effect of Crosscutting Crooked Sugi (*Cryptomeria japonica*) Logs on Sawing Yield and Quality of Sawn Lumber // *Forest Products Journal*. 2010. Vol. 60 (3). P. 244–248. DOI: 10.13073/0015-7473-60.3.244.

16. Lin W., Wang J., Wu J., Vallance D. De. Log Sawing Practices and Lumber Recovery of Small Hardwood Sawmills in West Virginia. // *Forest Products Journal*. 2011. No. 61 (3). P. 216–224. DOI: 10.13073/0015-7473-61.3.216.

17. Montero R. S., Moya R. Reducing Warp and Checking in 4 by 4 Beams from Small-Diameter Tropical Species (*Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, and *Cordia alliodora*) Obtained by Turning the Pith Inside Out // *Forest Products Journal*. 2015. No. 65 (5-6). P. 285–291. DOI: 10.13073/FPJ-D-14-00089.

18. Murara Junior M. I., M. P. da Rocha, Trugilho P. F. Estimate of pine lumber yield using two sawing methods // *Floresta e Ambiente*. 2013. Vol. 20, No. 4. P. 556–563. Ref. 7.

© Огурцов В. В., Каргина Е. В.,
Матвеева И. С., 2024

Поступила в редакцию 20.04.2024
Принята к печати 22.07.2024

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

УДК 676.15

DOI: 10.53374/1993-0135-2024-4-101-106

Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. XLII, № 4. С. 101–106

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОЛОКНИСТОЙ МАССЫ НА СВОЙСТВА ГОТОВОГО ПРОДУКТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ГАРНИТУРЫ

А. А. Петрова*, Ю. Д. Алашкевич, И. А. Воронин, Н. С. Решетова

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

*E-mail: www.sss19951@gmail.com

Устойчивая тенденция улучшения процесса размола волокнистых полуфабрикатов в целлюлозно-бумажном производстве вызвана увеличением объемов потребления и стремлением к сокращению энергетических затрат с повышением качества готового продукта. Изменение параметров размола, к которым относятся концентрация волокнистой массы, скорость вращения ротора, зазор между дисками ротора и статора, позволяет контролировать характеристики получаемых изделий в широком диапазоне. В статье рассмотрено влияние концентрации волокнистой массы на свойства готового продукта. Оценены физико-механические характеристики готовых бумажных отливок, в числе которых разрывная длина бумаги, число двойных перегибов, показатели сопротивления продавливанию и раздиранию, а также отдельные бумагообразующие свойства в числе которых прирост степени помола по шкале Шоппер-Риглера. Размол производился на полупромышленной дисковой мельнице с использованием комбинированной гарнитуры с волнообразной формой межножевой полости с прямолинейными однонаправленными ножами.

Ключевые слова: размол, дисковая мельница, размалывающая гарнитура, волокнистый полуфабрикат, концентрация волокнистой массы.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 4, P. 101–106

THE INFLUENCE OF FIBER CONCENTRATION ON THE PROPERTIES OF THE FINISHED PRODUCT WHEN USING A COMBINED SET

A. A. Petrova*, Yu. D. Alashkevich, I. A. Voronin, N. S. Reshetova

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

*E-mail: www.sss19951@gmail.com

The steady trend towards improving the process of grinding semi-finished fibrous products in pulp and paper production is caused by an increase in consumption volumes and the desire to reduce energy costs while improving the quality of the finished product. Changing the grinding parameters, which include the concentration of the fibrous mass, the rotor rotation speed, and the gap between the rotor and stator disks, allows you to control the characteristics of the resulting products over a wide range. The article examines the influence of the concentration of fibrous mass on the properties of the finished product. The physical and mechanical characteristics of the finished paper castings were assessed, including the breaking length of the paper, the number of double bends, the resistance to punching and tearing, as well as individual paper-forming properties, including the increase in the degree of grinding on the Schopper-Rigler scale. Grinding was carried out on a semi-industrial disk mill using a combined set with a wave-shaped inter-knife cavity with straight unidirectional knives.

Keywords: refining, disk mill, grinding set, fibrous semi-finished product, consistency fibrous mass.

ВВЕДЕНИЕ

Производство целлюлозно-бумажного производства является неотъемлемой частью повседневной жизни человека и культурной деятельности общества. Постоянно растущие требования к качеству и увеличе-

ние объемов потребления готовой продукции ставят перед исследователями и производителями задачу по совершенствованию технологических процессов в целлюлозно-бумажном производстве с разработкой новых технологий и сокращением затрат на электро-

энергию. Одной из важнейших технологических операций в целлюлозно-бумажном и древесно-плитном производствах является процесс размола волокнистых полуфабрикатов. Вопросам исследования и улучшения процесса размола посвящено большое количество работ как отечественных, так и зарубежных авторов [1–11].

В процессе размола волокно подвергается продольному (фибриллирование) и поперечному воздействиям (рубка), в процессе чего волокнистая масса приобретает необходимый фракционный состав, а обработка поверхности волокон в процессе фибриллирования в дальнейшем придает волокнистой массе необходимые физико-химические свойства, от которых в дальнейшем будут зависеть физико-механические характеристики готового продукта. Варьировать свойства и характеристики готового продукта в широком диапазоне позволяет изменение параметров процесса размола. К управляемым параметрам процесса размола относятся удельное давление (зазор между ножами ротора и статора), концентрация волокнистой массы, продолжительность размола, скорость вращения ротора и вид размольного оборудования, остальные параметры в большей степени являются неуправляемыми и остаются практически постоянными.

Наиболее популярными размольными аппаратами на данный момент, являются конические и дисковые мельницы, работа которых основана на принципе трущихся поверхностей и скрецающихся кромок ножей. Размалывающая гарнитура является основным рабочим органом размалывающих аппаратов и может отличаться по профилю, рисунку ножевой полости, геометрическим особенностям поверхности размола (количеству и толщине ножей, наличию перегородок между ножами, наличием фасок на кромках ножей и т. д.).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В лаборатории кафедры машин и аппаратов промышленных технологий Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева проводятся исследования в области улучшения показателей процесса размола.

Объект исследования – процесс размола волокнистых растительных полимеров.

Предметом исследования выступает размол волокнистых полуфабрикатов с использованием комбинированной гарнитуры дисковой мельницы.

Целью данной работы является исследование влияния концентрации волокнистой массы на характеристики готовых бумажных отливок при использовании комбинированной гарнитуры.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Размол волокнистой массы различной концентрации с использованием комбинированной конструкции гарнитуры.

- Проведение физико-механических испытаний готовых бумажных отливок и анализ полученных данных.

- Сравнение физико-механических характеристик образцов при различной концентрации волокнистой массы.

В ходе проведения исследования использовались следующие лабораторные методы:

1. Измерение степени помола по Шоппер-Риглеру проводилось в соответствии с ISO 5267-1 (1999) [12].

2. Измерение показателя разрывной длины проводилось в соответствии с ГОСТ ИСО 1924-1–96 [13].

3. Измерение числа двойных перегибов определялось в соответствии с ГОСТ 13525.2–80 [14].

4. Определение показателя сопротивления продавливанию проводилось в соответствии с ГОСТ 13525.8–86 [15].

5. Показатель сопротивления раздиранию определялся в соответствии с ГОСТ 13525.3–97 [16].

В качестве сырья использовалась беленая сульфатная целлюлоза из хвойной древесины, с начальной степенью помола 12 °ШР, производства компании АО «Группа «Илим» в г. Братск [17]. Размол волокнистого полуфабриката производился на полупромышленной дисковой мельнице при частоте вращения ротора 2000 об/мин, межножевом зазоре 0,2 мм, концентрации волокнистой массы 1, 2 и 3 %. Для проведения исследований была использована комбинированная гарнитура с волнообразной формой межножевой полости с прямолинейными однонаправленными ножами (рис. 1) [18].

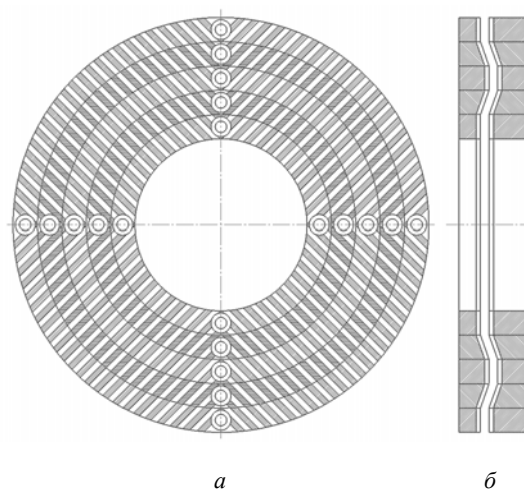


Рис. 1. Комбинированная гарнитура с прямолинейными однонаправленными ножами с волнообразной полостью размола:
а – вид сверху; б – диаметрально сечение

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 представлена зависимость степени помола от времени размола для концентраций волокнистой массы 1, 2 и 3 %. Как видно из графика качественные зависимости одинаковы во всех трех случаях, а наилучшие количественные значения показателя прироста степени помола достигаются при концентрации волокнистой массы 2 %.

Для оценки качества размола волокнистых полуфабрикатов необходимо провести анализ физико-механических характеристик готовых отливок, среди

которых: разрывная длина, число двойных перегибов, сопротивление продавливанию и сопротивление раздиранию.

На рис. 3 представлена зависимость разрывной длины от степени помола волокнистой массы концентраций различного значения. Из графика видно, что качественные зависимости носят схожий параболический характер, а количественные значения показателя разрывной длины для всех трех концентраций близки друг к другу.

При размоле волокнистой массы всех концентраций до 55 °ШР наблюдается рост показателя разрывной длины, а затем при повышении степени помола для концентрации массы 1 и 3 % видно снижение этого показателя при дальнейшем размоле. В то же время для массы концентрации 2 % продолжается повышение этого показателя.

При использовании массы концентрацией 2 % рост показателя сохраняется до окончания размола (75 °ШР), однако данная зависимость имеет меньшее количественное значения показателя чем в случаях, описанных выше.

На рис. 4 представлена зависимость числа двойных перегибов от степени помола волокнистой массы. Как видно из графика качественные значения изменения показателя числа двойных перегибов носят различный характер. Для размола массы с концентрацией 1 % наблюдается параболический характер. При размоле массы концентрации 2 % зависимость приближена к обратной параболе, а при размоле 3 % зависимость близка к линейной.

Что касается количественных значений, то они также носят различный характер. При размоле волокнистой массы концентрации 2 и 3 % наблюдается

увеличение показателя числа двойных перегибов с ростом степени помола. Что касается массы концентрации 1 % наблюдается повышение показателя при размоле до 55 °ШР, а затем с повышением степени помола показатель числа двойных перегибов падает.

Таким образом, при размоле волокнистой массы до 55 °ШР с точки зрения повышения показателя числа двойных перегибов целесообразно осуществлять размол волокнистой массы концентрацией 1 %. При размоле полуфабриката до значений выше 55 °ШР, для повышения показателя числа двойных перегибов целесообразно осуществлять размол волокнистой массы концентрацией 2 %. Самый низкий показатель числа двойных перегибов наблюдается при размоле полуфабриката концентрацией 3 %.

На рис. 5 представлена зависимость сопротивления продавливанию от степени помола волокнистой массы.

По графику видно, что зависимости носят схожий параболический характер (обратная парабола) во всех трех случаях. Повышение показателя сопротивления продавливанию для зависимостей концентраций 1 и 2 % сохраняется с ростом степени помола, соответственно, до 60 и 75 °ШР, после чего с дальнейшим ростом степени помола показатель начинает снижаться. При использовании волокнистой массы концентрации 3 % повышение показателя сопротивления продавливанию продолжается до достижения степени помола 60 °ШР, а количественные значения показателя для данной зависимости имеют меньшие значения по сравнению с зависимостями для массы концентраций 1 и 2 %.

На рис. 6 представлена зависимость сопротивления раздиранию от степени помола волокнистой массы.

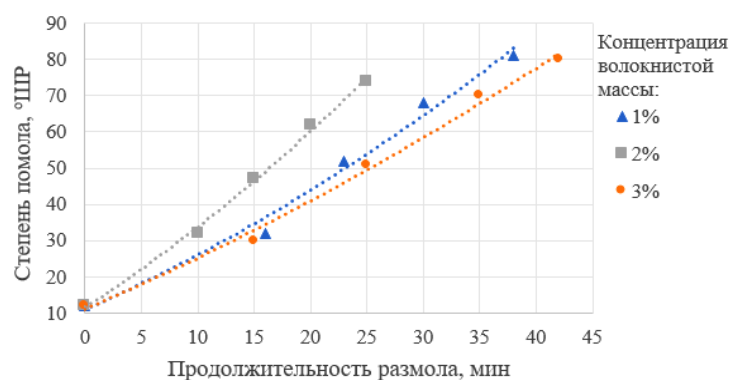


Рис. 2. Зависимость степени помола от времени размола

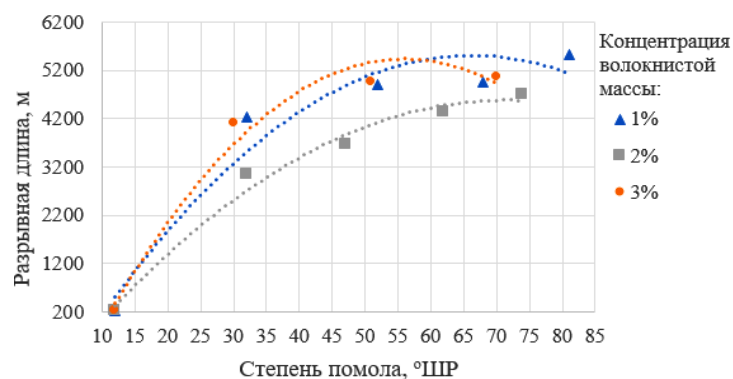


Рис. 3. Зависимость разрывной длины от степени помола

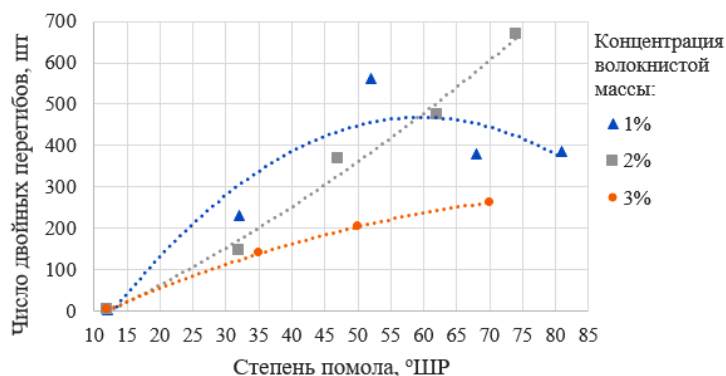


Рис. 4. Зависимость числа двойных перегибов от степени помола

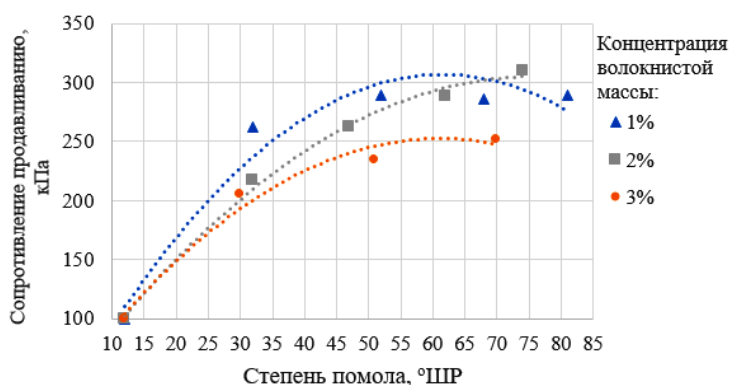


Рис. 5. Зависимость сопротивления продавливанию от степени помола

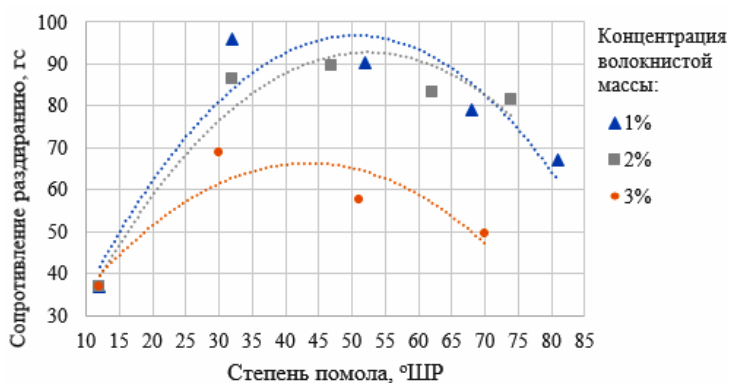


Рис. 6. Зависимость сопротивления раздиранию от степени помола

Из графика видно, что все зависимости носят схожий параболический характер (обратная парабола), а повышение показателя для массы концентрацией 1 и 2 % продолжается с ростом степени помола до 50 и 53 °ШР, соответственно. Зависимость для массы 3 % концентрации имеет меньшие количественные значения, а рост показателя сопротивления продавливанию сохраняется при размоле до 45 °ШР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, зависимости степени помола волокнистой массы по шкале Шоппер–Риглера от вре-

мени размолы при обработке волокнистой массы трех видов концентраций близки друг к другу по качественным и количественным значениям. Наиболее высокая степень помола наблюдается при обработке массы концентрацией 2 %.

Что касается физико-механических характеристик, выяснилось, что во всех случаях наблюдается рост показателей разрывной длины, числа двойных перегибов, сопротивления продавливанию и сопротивления раздиранию с увеличением степени помола по шкале Шоппер–Риглера, особенно в пределах изменения степени помола до 50 °ШР.

В каждом отдельном случае в зависимости от вида получаемой готовой продукции целесообразно отдавать предпочтения одному из физико-механических показателей за счет использования массы определенной концентрации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Алашкевич Ю. Д., Ковалев В. И., Набиева А. А. Влияние рисунка гарнитуры на процесс размол волокнистых полуфабрикатов : монография. В 2-х ч. Ч. 1. Красноярск : СибГТУ, 2010. 168 с.
2. Юртаева Л. В., Алашкевич Ю. Д., Слизикова Е. А., Каплёв Е. В., Пожаркова С. А. Влияние вида ножевой размалывающей гарнитуры на процесс получения микрокристаллической целлюлозы // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2024. № 2(398). С. 152–165.
3. Богоявленский И. И. Технология бумаги. Ч. 1. М.-Л. : Гослесбумиздат, 1946. 258 с.
4. Сутерлэнд М. Размол массы в дисковой мельнице // Труды технической ассоциации. Нью-Йорк, 1936. Т. 19. С. 175–187.
5. Иванов С. Н. Технология бумаги. М. : Школа бумаги, 2006. 696 с.
6. Набиева А. А. Оценка влияния и совершенствования технологических параметров ножевых размалывающих машин : дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2004. 156 с.
7. Ковалев В. И. Размол волокнистых полуфабрикатов при различном характере построения рисунка ножевой гарнитуры : дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2007. 209 с.
8. Чистова Н. Г. Размол древесноволокнистой массы на промышленных установках при производстве ДВП : дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2000. 193 с.
9. Смит С. Рациональная теория ролла. Берлин, 1922. 105 с. Нем.
10. Видуэлл Г., Сутерлэнд М. Основные параметры размол целлюлозы в дисковом рафинере // Труды технической ассоциации. Нью-Йорк, 1936. Т. 19. С. 162–175.
11. Steenberg B. Review of the Effect of Mechanical Treatment of Fibres // Svensk Papperstidning. 1963. Vol. 66, № 22. P. 933–939.
12. ISO 5267-1:1999/Cor.1:2001. Cellulose. Determination of the ability to dehydrate. Part 1. ShopperRigler Method. 8 p.
13. ГОСТ ИСО 1924-1-96. Бумага и картон. Определение прочности при растяжении. Ч. 1: Метод нагружения с постоянной скоростью. Взамен ГОСТ 13525.1-79. Введ. 01.01.2000. Минск : Изд-во стандартов, 2000. 10 с.
14. ГОСТ 13525.2-80. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод определения прочности на излом при многократных перегибах. Взамен ГОСТ 13525.2-68. Введ. 1981-30-06. М. : Стандартинформ, 2007. 4 с.
15. ГОСТ 13525.8-86. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод определения сопротивления продавливанию. Взамен ГОСТ 13525.8-78;

ГОСТ 13648.7-78. Введ. 1988-01-01. М. : Стандартинформ, 2007. 6 с.

16. ГОСТ 13525.3-97. Полуфабрикаты волокнистые и бумага. Метод определения сопротивления раздиранию (метод Эльмендорфа). Взамен ГОСТ 13525.3-78. Введ. 30.06.2001. М. : Стандартинформ, 2007. 8 с.

17. ГОСТ Р 56847-2015. Процессы производства целлюлозы. Нормативы образования отходов.

18. Патент № 2314380 С1 Российская Федерация, МПК D21D 1/30, B02C 7/12. Размалывающая гарнитура дисковой мельницы : № 2006121708/12 : заявл. 19.06.2006 : опубл. 10.01.2008 / Ю. Д. Алашкевич, В. И. Ковалев, М. А. Карбышев [и др.] ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный технологический университет».

REFERENCES

1. Alashkevich Yu. D., Kovalev V. I., Nabiyeva A. A. Vliyaniye risunka garnitury na protsess razmola voloknistykh polufabrikatov : monografiya. V 2-kh ch. Ch. 1. Krasnoyarsk : SiBG TU, 2010. 168 s.
2. Yurtayeva L. V., Alashkevich Yu. D., Slizikova Ye. A., Kaplëv Ye. V., Pozharkova S. A. Vliyaniye vida nozhevoy razmalyvayushchey garnitury na protsess polucheniya mikrokrystallicheskoj tsellyulozy // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 2024. № 2(398). S. 152–165.
3. Bogoyavlenskiy I. I. Tekhnologiya bumagi. Ch. 1. M.-L. : Goslesbumizdat, 1946. 258 s.
4. Suterl'end M. Razmol massy v diskovoy mel'nitse // Trudy tekhnicheskoy assotsiatsii. N'yu-York, 1936. T. 19. S. 175–187.
5. Ivanov S. N. Tekhnologiya bumagi. M. : Shkola bumagi, 2006. 696 s.
6. Nabiyeva A. A. Otsenka vliyaniya i sovershenstvovaniya tekhnologicheskikh parametrov nozhevyykh razmalyvayushchikh mashin : dis. ... kand. tekhn. nauk. Krasnoyarsk, 2004. 156 s.
7. Kovalev V. I. Razmol voloknistykh polufabrikatov pri razlichnom kharaktere postroyeniya risunka nozhevoy garnitury : dis. ... kand. tekhn. nauk. Krasnoyarsk, 2007. 209 s.
8. Chistova N. G. Razmol drevesnovoloknistoy massy na promyshlennykh ustanovkakh pri proizvodstve DVP : dis. ... kand. tekhn. nauk. Krasnoyarsk, 2000. 193 s.
9. Smit S. Ratsional'naya teoriya rolla. Berlin, 1922. 105 s. Nem.
10. Viduell G., Suterl'end M. Osnovnyye parametry razmola tsellyulozy v diskovom rafinere // Trudy tekhnicheskoy assotsiatsii. N'yu-York, 1936. T. 19. S. 162–175.
11. Steenberg B. Review of the Effect of Mechanical Treatment of Fibres // Svensk Papperstidning. 1963. Vol. 66. № 22. Pp. 933–939.
12. ISO 5267-1:1999/Cor.1:2001. Cellulose. Determination of the ability to dehydrate. Part 1. ShopperRigler Method. 8 p.
13. GOST ISO 1924-1-96. Bumaga i karton. Opredeleniye prochnosti pri rastyazhenii. CH. 1: Metod na-

gruzheniya s postoyannoy skorost'yu. Vzamen GOST 13525.1–79. Vved. 01.01.2000. Minsk : Izd-vo standartov, 2000. 10 s.

14. GOST 13525.2–80. Polufabrikaty voloknist'yye, bumaga i karton. Metod opredeleniya prochnosti na izlom pri mnogokratnykh peregibakh. Vzamen GOST 13525.2–68. Vved. 1981–30–06. M. : Standartinform, 2007. 4 s.

15. GOST 13525.8–86. Polufabrikaty voloknist'yye, bumaga i karton. Metod opredeleniya soprotivleniya prodavlivaniyu. Vzamen GOST 13525.8–78; GOST 13648.7–78. Vved. 1988–01–01. M. : Standartinform, 2007. 6 s.

16. GOST 13525.3–97. Polufabrikaty voloknist'yye i bumaga. Metod opredeleniya soprotivleniya razdiraniyu

(metod El'mendorfa). Vzamen GOST 13525.3–78. Vved. 30.06.2001. M. : Standartinform, 2007. 8 s.

17. GOST R 56847–2015. Protsessy proizvodstva tsellyulozy. Normativy obrazovaniya otkhodov)

18. Patent № 2314380 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK D21D 1/30, B02C 7/12. Razmalyvayushchaya garnitura diskovoy mel'nitsy : № 2006121708/12 : zayavl. 19.06.2006 : opubl. 10.01.2008 / Yu. D. Alashkevich, V. I. Kovalev, M. A. Karbyshev [i dr.] ; zayavitel' Gosudarstvennoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego professional'nogo obrazovaniya “Sibirskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet”.

© Петрова А. А., Алашкевич Ю. Д.,
Воронин И. А., Решетова Н. С., 2024

Поступила в редакцию 28.03.2024
Принята к печати 22.07.2024

АВТОРСКАЯ ССЫЛКА

- Авдеева Е. В.** Историко-культурная ценность древесных растений, с. 45–54
- Авдеева Е. В.**, см. Безруких В. А.
- Алашкевич Ю. Д.**, см. Петрова А. А.
- Ангальт Е. М.**, см. Плюха Н. И.
- Безруких В. А.** Продуктивность почвенного покрова ландшафтов бореальной зоны Приенисейской Сибири, с. 17–22
- Бессчетнов В. П.**, см. Миронова А. Ю.
- Бессчетнова Н. Н.**, см. Миронова А. Ю.
- Воронин И. А.**, см. Петрова А. А.
- Гостев В. В.**, см. Дубенок Н. Н.
- Гришлова М. В.**, см. Комаров И. В.
- Демина Н. А.**, см. Тюкавина О. Н.
- Дубенок Н. Н.** Образующая, форма и объем стволов деревьев ели Костромской области, с. 23–32
- Зайцева А. С.**, см. Усов С. В.
- Каргина Е. В.**, см. Огурцов В. В.
- Каргина Е. В.**, см. Огурцов В. В.
- Колесников П. Г.**, см. Безруких В. А.
- Комаров И. В.** Показатели роста сосны кедровой сибирской раннего образования микростробилов во втором поколении, с. 75–81
- Кузнецова О. А.**, см. Безруких В. А.
- Кулакова Н. Н.**, см. Усов С. В.
- Лебедев А. В.**, см. Дубенок Н. Н.
- Лигаева Н. А.**, см. Безруких В. А.
- Мальцев Г. И.** Применение хлоропреновых, пипериленовых и изопреновых латексов при изготовлении бумагоподобных материалов, с. 82–88
- Матвеева И. С.**, см. Огурцов В. В.
- Матвеева И. С.**, см. Огурцов В. В.
- Миронова А. Ю.** Регенерационная способность черенков декоративных форм и сортов пузыреплодника калинолистного при интродукции в Нижегородскую область, с. 62–74
- Огурцов В. В.** Двухкритериальная математическая модель оптимизации дробности сортировки брёвен по толщине, с. 89–94
- Огурцов В. В.** Локализация случайных характеристик пиловочника для повышения эффективности его распиловки, с. 95–100
- Петрова А. А.** Влияние концентрации волокнистой массы на свойства готового продукта при использовании комбинированной гарнитуры, с. 101–106
- Плюха Н. И.** Видовые особенности изменения базисной плотности древесины и коры вдоль по стволу дерева, с. 11–16
- Решетова Н. С.**, см. Петрова А. А.
- Рудо А. И.**, см. Авдеева Е. В.
- Третьякова И. Н.**, см. Шемберг А. М.
- Тюкавина О. Н.** Качество семян в постоянных питомниках открытого грунта Северотаежного лесорастительного района, с. 38–45
- Усов С. В.** Объемы стволов осины в зоне островных лесостепей Средней Сибири, с. 55–61
- Усольцев В. А.**, см. Плюха Н. И.
- Файзулин Д. Х.**, см. Тюкавина О. Н.
- Цепордей И. С.** Влияет ли календарный сдвиг используемых климатических данных на результаты моделирования фитомассы хвойных?, с. 7–10
- Шевелев С. Л.**, см. Усов С. В.
- Шемберг А. М.** Исследование семенной продуктивности *Larix sibirica* и *Larix gmelinii* в Сибири, с. 33–37
- Щерба Ю. Е.**, см. Комаров И. В.
- Юрьев Ю. Л.**, см. Мальцев Г. И.

AUTHOR'S LINK

- Alashkevich Yu. D.**, see Petrova A. A.
- Anhalt E. M.**, see Plyukha N. I.
- Avdeeva E. V.** Historical and cultural value of woody plants, p. 45–54
- Avdeeva E. V.**, see Bezrukikh V. A.
- Besschetnov V. P.**, see Mironova A. Y.
- Besschetnova N. N.**, see Mironova A. Y.
- Bezrukikh V. A.** Soil cover productivity of landscapes of the boreal zone of the Yenisei Siberia, p. 17–22
- Demina Nadezhda A.**, see Tyukavina Olga N.
- Dubenok N. N.** Stem taper, shape and volume of spruce tree trunks of the Kostroma oblast, p. 23–32
- Fayzulin Danyal Kh.**, see Tyukavina Olga N.
- Gostev V. V.**, see Dubenok N. N.
- Grishlova M. V.**, see Komarov I. V.
- Kargina E. V.**, see Ogurtsov V. V.
- Kargina E. V.**, see Ogurtsov V. V.
- Kolesnikov P. G.**, see Bezrukikh V. A.
- Komarov I. V.** Growth indicators of *pinus sibirica* by the early formation of microstrobiles in the second generation, p. 75–81
- Kulakova N. N.**, see Usov S. V.
- Kuznetsova O. A.**, see Bezrukikh V. A.
- Lebedev A. V.**, see Dubenok N. N.
- Ligaeva N. A.**, see Bezrukikh V. A.
- Maltsev G. I.** The use of chloroprene, piperylene and isoprene latexes in the manufacture of paper-like materials, p. 82–88
- Matveeva I. S.**, see Ogurtsov V. V.
- Matveeva I. S.**, see Ogurtsov V. V.
- Mironova A. Y.** Regenerative ability of cuttings of decorative forms and varieties of common ninebark when introduced to the Nizhny Novgorod region, p. 62–74
- Ogurtsov V. V.** A two-criterion mathematical model for optimizing the fractional sorting of logs by thickness, p. 89–94
- Ogurtsov V. V.** Localization of random characteristics of saw log to increase the efficiency of its sawing, p. 95–100
- Petrova A. A.** The influence of fiber concentration on the properties of the finished product when using a combined set, p. 101–106
- Plyukha N. I.** Species features of changes in the basic density of wood and bark along the stem of a tree, p. 11–16
- Reshetova N. S.**, see Petrova A. A.
- Rudo A. I.**, see Avdeeva E. V.
- Schemberg A. M.** Study of seed productivity of *Larix sibirica* and *Larix gmelinii* in Siberia, p. 33–37
- Shcherba Yu. E.**, see Komarov I. V.
- Shevelev S. L.**, see Usov S. V.
- Tretyakova I. N.**, see Schemberg A. M.
- Tsepordey I. S.** Does the calendar shift in used climate data affect the results of modeling biomass of coniferous species?, p. 7–10
- Tyukavina Olga N.** The quality of seedlings in field permanent nursery of the North Taiga forest growing area, p. 38–44
- Usoltsev V. A.**, see Plyukha N. I.
- Usov S. V.** Volumes of aspen trunks in the zone of island forest-steppes of Central Siberia, p. 55–61
- Voronin I. A.**, see Petrova A. A.
- Yuryev Y. L.**, see Maltsev G. I.
- Zaitseva A. S.**, see Usov S. V.

