

ISSN 1993-0135

ХВОЙНЫЕ



БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

2024

Том XLII
Номер 2

<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
№ 2

Красноярск
2024

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XLII, № 2

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

Выходит 6 раз в год

Главный редактор

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

Ответственный секретарь

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Авдеева Елена Владимировна, д.с.-х.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Алашкевич Юрий Давыдович, д.т.н., профессор, академик Российской академии образования (РАО) (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Бабич Николай Алексеевич, д.с.-х.н., профессор (САФУ, Архангельск)
Бессчетнов Владимир Петрович, д.б.н., профессор (НГСХА, Нижний Новгород)
Верховец Сергей Владимирович, к.с.-х.н., доцент (проректор по перспективным проектам СФУ, Красноярск)
Выводцев Николай Васильевич, д.с.-х.н., профессор (Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)
Ермолин Владимир Николаевич, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Залесов Сергей Вениаминович, д.с.-х.н., профессор (УГЛТУ, Екатеринбург)
Иванов Валерий Александрович, д.с.-х.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Кобаяси Рёсукэ, к.с.-х.н. (Центр полевых биосферных исследований Севера, Университет Хоккайдо)
Кзаков Яков Владимирович, д.т.н. (САФУ, Архангельск)
Крутовский Константин Валерьевич, профессор (Техасский агрономический университет, США)
Кузнецов Борис Николаевич, д.х.н., профессор (ИХХТ СО РАН, Красноярск)
Матвеева Римма Никитична, д.с.-х.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Нагимов Зуфар Ягфарович, д.с.-х.н., профессор (УГЛТУ, Екатеринбург)
Нимц Петер, профессор (Институт строительных материалов и физики древесины (IfB) Высшей швейцарской технической школы (ETH), Цюрих, Швейцария)
Огурцов Виктор Владимирович, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Онучин Александр Александрович, д.б.н., профессор (ИЛ СО РАН, Красноярск)
Пен Роберт Зусьевич, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
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. 2

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)
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 22.04.2024. Дата выхода в свет 20.05.2024. Формат 70×108/8.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 11,63. Уч.-изд. л. 14,9. Тираж 700 экз.
Заказ 3427. С 884/24. 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

Безденежных И. В., Залесов С. В. Обеспеченность подростом сосны сибирской (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour.) спелых и перестойных мягколиственных насаждений Западно-Сибирского северо-таёжного равнинного лесного района	7
Безруких В. А., Авдеева Е. В., Иванов Д. В., Лигасва Н. А., Кузнецова О. А. «Рискованное земледелие» или риски в аграрном природопользовании бореальной зоны Приенисейской Сибири	12
Федорец А. А., Третьякова Р. А., Паркина О. В., Якубенко О. Е. Оценка основных таксационных показателей сосны обыкновенной в Колыванском районе	16
Пахарькова Н. В., Масенцова И. В., Сорокина Г. А., Гетте И. Г., Калабина А. А., Позднякова Е. Е. Сезонные изменения пигментного комплекса хвои сосны сибирской в условиях высотной поясности Западного Саяна	22
Суховольский В. Г., Ковалев А. В., Астапенко С. А. Восприимчивость лесных насаждений к развитию вспышек массового размножения насекомых-вредителей: прогноз по данным дистанционного зондирования	30
Братилова Н. П., Щерба Ю. Е., Мантулина А. В., Коновалова Д. А. Перспективы выращивания сосны кедровой сибирской (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour.) в условиях Крайнего Севера	38
Цепордей И. С. Изменение высоты деревьев и древостоев некоторых хвойных и лиственных видов в климатических градиентах Евразии	45
Авдеева Е. В., Иванов Д. В., Шпагин Д. Е. Инвентаризационная оценка насаждений объектов озеленения и городского питомника (на примере г. Красноярска)	53

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Артёмов А. В., Буриндин В. Г., Ершова А. С. Исследование влияния гидрофобизирующей и антисептической добавки в виде гидролизного лигнина на эксплуатационные свойства пластиков без добавления связующих на основе древесного пресс-сырья	63
Казицин С. Н., Василишин Д. В., Шишмарева А. В., Добрынкина Д. Д., Ворончихин В. Д. Исследование процесса получения ацетата целлюлозы из механоактивированных частиц березы	73

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Федоров В. С., Рязанова Т. В., Мамаева О. О., Исаева Е. В., Гончарова Н. В. Комплексная переработка коры лиственницы сибирской с использованием моноэтаноламина. Сообщение 1. Получение и использование дубильного экстракта	80
Литвинова М. М., Алашкевич Ю. Д., Марченко Р. А. Особенности безножевого размола волокнистых полуфабрикатов из однолетних растений в целлюлозно-бумажном производстве	88
Рогова Е. А., Кожухов В. А., Алашкевич Ю. Д. Изменение качественных показателей бумаги из вторичного волокна в композиции с бактериальной целлюлозой	95

Авторская ссылка	100
-------------------------------	------------

Contents

BIOLOGY AND ECOLOGY, FORESTRY

Bezdenzhnyh I. V., Zalesov S. V. Provision of mature and overmature softwood plantations with undergrowth of siberian pine (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour.) for the territory of the western siberian north-taiga plain forest region	7
Bezrukikh V. A., Avdeeva E. V., Ivanov D. V., Ligaeva N. A., Kuznetsova O. A. “Risky farming” or risks in agricultural environmental management of the boreal zone of the Yenisei Siberia	12
Fedorets A. A., Tretyakova R. A., Parkina O. V., Yakubenko O. E. Assessment of the main taxation indicators of common pine in the Kolyvan district	16
Pakharkova N. V., Masentsova I. V., Sorokina G. A., Gette I. G., Kalabina A. A., Pozdnyakova E. E. Seasonal changes in the pigment complex of siberian pine needles in the conditions of the high-altitude zone of the Western Sayan	22
Soukhovolsky V. G., Kovalev A. V., Astapenko S. A. Susceptibility of forest plantations to the development of outbreaks of insect pests: forecast based on remote sensing data	30
Bratilova N. P., Shcherba Yu. E., Mantulina A. V., Konovalova D. A. Prospects of growing siberian cedar pine (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour.) in the conditions of the Far North	38
Tsepordey I. S. The change in tree and stand height of some coniferous and deciduous species in the climatic gradients of Eurasia	45
Avdeeva E. V., Ivanov D. V., Shpagin D. E. Inventory assessment of plantings of greening objects and city nursery (based on the example of Krasnoyarsk)	53

TECHNOLOGY OF HARVESTING AND MECHANICAL PROCESSING OF WOOD

Artemov A. V., Buryndin V. G., Ershova A. S. Investigation of the effect of hydrophobizing and antiseptic additives in the form of hydrolysis lignin on the performance properties of plastics without the addition of binders based on wood press raw materials	63
Kazitsin S. N., Vasilishin D. V., Shishmareva A. V., Dobrynina D. D., Voronchikhin V. D. Research of the process of obtaining cellulose acetate from mechanoactivated birch particles	73

CHEMICAL PROCESSING TECHNOLOGY

Fedorov V. S., Ryazanova T. V., Mamaeva O. O., Isaeva E. V., Goncharova N. V. Complex processing of siberian larch bark using monoethanolamine. Statement 1. Obtaining and utilization of tannin extract	80
Litvinova M. M., Alashkevich Y. D., Marchenko R. A. Peculiarities of knife-less milling of fiber semi-finished products from annual plants in pulp and paper production	88
Rogova E. A., Kozhukhov V. A., Alashkevich Y. D. Changing the quality indicators of recycled fiber paper in a composition with bacterial cellulose	95
Author's link	100

ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ПОДРОСТОМ СОСНЫ СИБИРСКОЙ (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR.) СПЕЛЫХ И ПЕРЕСТОЙНЫХ МЯГКОЛИСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО СЕВЕРО-ТАЕЖНОГО РАВНИННОГО ЛЕСНОГО РАЙОНА

И. В. Безденежных¹, С. В. Залесов²

Уральский государственный лесотехнический университет
Российская Федерация, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37
E-mail: ¹predeina@yandex.ru; ²zalesovsv@m.usfeu.ru

На основании баз данных лесоустроительных материалов проанализирована обеспеченность мягколиственных насаждений подростом сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) в Западно-Сибирском северотаёжном равнинном лесном районе. Отмечается, что только на территории «ключевого» Советского лесничества Ханты-Мансийского автономного округа – Югра на 25,8 тыс. га площади мягколиственных насаждений имеется подрост сосны сибирской. В том числе на 24,6 тыс. га количества подроста достаточно для обеспечения формирования на его основе молодняков сосны сибирской. Основные площади мягколиственных насаждений с наличием подроста сосны сибирской представлены производными древостоями, сформировавшимися на месте вырубок и гарей кедровников зеленомошной и травяной групп типов леса. Последнее свидетельствует о высокой потенциальной продуктивности молодняков сосны сибирской при условии сохранения подроста и правильного выбора вида выборочной рубки.

Максимальное количество подроста сосны сибирской накапливается под пологом спелых и перестойных мягколиственных насаждений с относительной полнотой в зеленомошной и травяной группах типов леса 0,7, а в насаждениях травяно-болотной группы типов леса 0,5. Последнее необходимо учитывать при выборе вида выборочной рубки и установлении интенсивности изреживания.

Ключевые слова: подзона северной тайги, мягколиственные насаждения, сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour.), подрост, лесовосстановление.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 2, P. 7–11

PROVISION OF MATURE AND OVERMATURE SOFTWOOD PLANTATIONS WITH UNDERGROWTH OF SIBERIAN PINE (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR.) FOR THE TERRITORY OF THE WESTERN SIBERIAN NORTH-TAIGA PLAIN FOREST REGION

I. V. Bezdenezhnyh¹, S. V. Zalesov²

Ural State Forestry Engineering University
37, Sibirsky Trakt str., Yekaterinburg, 620100, Russian Federation
E-mail: ¹predeina@yandex.ru; ²zalesovsv@m.usfeu.ru

The provision of softwood plantations with undergrowth of Siberian Pine (*Pinus sibirica* Du Tour.) in Western Siberian north-taiga plain forest region was analyzed on the base of the forest management data. It was noted that there is Siberian Pine undergrowth only on the territory of the core Soviet forestry in Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra on the area of 25.6 thousand ha. It includes 24.6 thousand hectares where the amount of undergrowth is sufficient to ensure the formation of young Siberian pine on its basis.

The main areas of softwood plantations with the presence of Siberian pine undergrowth are represented by derived stands formed on the site of felling and burned areas of cedar forests of the green-mossy and grass groups of forest types. The latter indicates a high potential productivity of young Siberian pine under the condition of preserving the undergrowth and the proper type of felling. The maximum number of Siberian pine undergrowth accumulated under the canopy of mature and overmature softwood plantations with relative fullness in green-moss and grass groups of forest type is 0.7. And it is 0.5 in plantations of grass-moss groups of forest type. The latter is necessary to take in to account when choosing the type of felling and setting the intensity of thinning.

Keywords: subzone of the north taiga, softwood plantations, Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour.), undergrowth, reforestation.

ВВЕДЕНИЕ

Планирование и проведение рубок спелых и перестойных насаждений во многом зависит от обеспеченности назначенных в рубку насаждений подростом предварительной генерации. Многочисленными исследованиями [Чмыр, 2001; Martin et al., 2004; Agnilar-Amuchastegui, Heneby, 2007; Залесов, 2020] и производственным опытом доказано, что при наличии достаточного количества хвойного подроста и его сохранении в процессе проведения лесосечных работ можно даже при проведении сплошнолесосечных рубок обеспечить предотвращение нежелательной смены пород и даже переформировать производные мягколиственные насаждения в коренные хвойные [Казанцев и др., 2006; Оплетев, Залесов 2014; Калачёв, 2020].

Выполненные в различных регионах страны исследования свидетельствуют, что под пологом большинства спелых и перестойных насаждений имеется значительное количество подроста основных лесных древесных пород [Обеспеченность ..., 2013; 2019 а, б]. Особенно важно сохранение подроста у медленно растущих древесных видов к каким относится сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour.). Известно [Танцырев, Санников, 2011; Дебров, Оплетев, 2017], что указанная древесная порода распространяется птицами и млекопитающими. В частности, кедровкой тонкоклювой (*Nucifraga caryocatactes* L.) и формируют насаждения с доминированием сосны сибирской через смены их на березняки, потом ельники и только после этого может идти речь о полноценном кедровом насаждении, то есть из сосны сибирской [Смолонов, Залесов, 2002; Седых, 2014].

Однако мягколиственные насаждения при достижении ими возраста спелости осваиваются, как правило, сплошнолесосечными рубками, что приводит к формированию вырубок и резкому изменению экологических условий. При этом имеющийся подрост сосны сибирской в большинстве своём погибает, и восстановительно-возрастная динамика кедрового насаждения вновь возвращается в исходную точку.

Поскольку выбор способа рубок зависит от таксационных показателей древостоя, наличия подроста и типа леса, важно иметь объективные данные о наличии жизнеспособного подроста сосны сибирской под пологом древостоев прежде всего мягколиственной формации. Именно спелые и перестойные мягколиственные насаждения могут стать объектами переформирования их в коренные кедровники при наличии второго яруса и (или) подроста и молодняка сосны сибирской.

Цель работы – анализ обеспеченности подростом сосны сибирской спелых и перестойных производных мягколиственных насаждений в условиях Западно-Сибирского северотаёжного равнинного лесного района.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований служили спелые и перестойные производные мягколиственные насаждения, сформировавшиеся в результате лесных пожаров и сплошнолесосечных рубок на территории лесного

фонда Советского лесничества Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (ХМАО-Югры). Территория указанного лесничества входит в Западно-Сибирский северотаёжный лесной район [Об утверждении Перечня ..., 2014] и при проведении исследований выбрана в качестве «ключевого» для вышеуказанного лесного района.

Анализ обеспеченности подростом спелых и перестойных мягколиственных насаждений выполнен на основе баз данных лесоустроительных материалов с использованием SQZ-запросов в программе MAP INFO [Чермных и др., 2013; Чермных, Оплетев, 2013]. В процессе исследований таксационные выдела по обеспеченности подростом сосны сибирской распределялись на 4 группы. В первую группу входили спелые и перестойные мягколиственные насаждения с подростом сосны сибирской в количестве более 1,5 тыс. шт./га, во вторую – от 1,0 до 1,5 тыс. шт./га, в третью – с количеством указанного подроста менее 1,0 тыс. шт./га и в четвёртую – от 0,5 до 1,0.

Указанная градация густоты подроста была установлена в связи с тем, что согласно действующего нормативно-правового документа [Об утверждении ..., 2021] для отнесения площади к землям, на которых расположены леса в Западно-Сибирском северотаёжном равнинном лесном районе требуется не менее 1,5 тыс. шт./га подроста сосны сибирской высотой 0,7 м. При этом наличие более 1,0 тыс. шт./га подроста сосны сибирской в травяных и травяно-болотных типах леса, а также более 1,5 тыс. шт./га в зеленомошной и чернично-долгомошной позволяет в качестве способа лесовосстановления выбрать естественный, путём сохранения подроста. При количестве подроста сосны сибирской менее 1,0 тыс. шт./га требуется искусственное лесовосстановление.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что при общей площади спелых и перестойных мягколиственных насаждений в лесном фонде Советского лесничества 99 364,2 га на долю насаждений, имеющих под пологом древостоев подрост сосны сибирской, приходится 25 852,4 га или 26,0 %.

Данные об обеспеченности подростом сосны обыкновенной спелых и перестойных мягколиственных насаждений приведены в табл. 1.

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что спелые и перестойные мягколиственные насаждения с наличием подроста сосны сибирской под пологом занимают площадь 25 852,4 га. При этом на долю спелых насаждений приходится 20,4 % площадей с наличием подроста сосны сибирской, а на долю перестойных – 79,6 %. Большинство мягколиственных насаждений с наличием подроста сосны сибирской представляют собой производные насаждения зеленомошной группы типов леса. Доля таких насаждений составляет 73,1 % от общей площади мягколиственных насаждений. При этом на более чем 17,9 тыс. га количество подроста сосны сибирской превышает 1,5 тыс. шт./га. Другими словами, доминирование сосны сибирской в составе будущих молодняков можно обеспечить проведением равномерно постепенных рубок.

Таблица 1

Обеспеченность подростом сосны сибирской спелых и перестойных мягколиственных насаждений Советского лесничества ХМАО-Югра по группам типов леса, га/%

Количество подроста сосны сибирской, тыс. шт./га	Группа возраста		Всего
	Спелые	Перестойные	
Зеленомошная			
Более 1,5	3612,5 14,0	14303,9 55,3	17916,4 69,3
1,0–1,5	438,8 1,7	524,6 2,0	963,4 3,7
Менее 1,0	0 0	27,9 0,1	27,9 0,1
Итого	4051,3 15,7	14856,4 57,4	18907,7 73,1
Травяная			
Более 1,0	868,9 3,4	4467,0 17,2	5335,9 20,6
0,5–1,0	63,3 0,2	143,2 0,6	206,5 0,8
Итого	932,2 3,6	4610,2 17,8	5542,4 21,4
Травяно-болотная			
Более 1,0	256,3 1,0	1079,4 4,2	1335,7 5,2
0,5–1,0	32,1 0,1	34,5 0,1	66,6 0,2
Итого	288,4 1,1	1113,9 4,3	1402,3 5,4
Всего по лесничеству	5271,9 20,4	20580,5 79,6	25852,4 100

Таблица 2

Обеспеченность подростом сосны обыкновенной спелых и перестойных мягколиственных насаждений Советского лесничества ХМАО-Югра по группам относительной полноты и типам леса, га/%

Количество подроста сосны сибирской, тыс. шт./га	Относительная полнота, ед.								Всего
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Зеленомошная									
Более 1,5	37,6 0,1	146,4 0,6	808,1 3,1	3482,6 13,5	7352,8 28,5	4501,5 17,4	1326,0 5,1	261,4 1,0	17916,4 69,3
1,0–1,5	4,7 0	10,8 0,1	8,6 0	372,6 1,4	138,2 0,5	199,9 0,8	228,6 0,9	0 0	963,4 3,7
Менее 1,0	0 0	0 0	19,6 0,1	0 0	0 0	8,3 0	0 0	0 0	27,9 0,1
Итого	42,3 0,1	157,2 0,7	836,3 3,3	3855,2 14,9	7491,0 29,0	4709,7 18,2	1554,6 6,0	261,4 1,0	18907,7 73,2
Травяная									
Более 1,0	0 0	99,5 0,4	429,9 1,6	1726,7 6,7	2121,0 8,2	824,3 3,2	134,5 0,5	0 0	5335,9 20,6
0,5–1,0	0 0	0 0	43,0 0,2	6,9 0	29,6 0,1	68,2 0,3	22,8 0,1	36,0 0,1	206,5 0,8
Итого	0 0	99,5 0,4	472,9 1,8	1733,6 6,7	2150,6 8,3	892,5 3,5	157,3 0,6	36,0 0,1	5542,4 21,4
Травяно-болотная									
Более 1,0	0 0	197,2 0,8	510,6 2,0	499,2 1,9	48,9 0,2	79,8 0,3	0 0	0 0	1335,7 5,2
0,5–1,0	0 0	0 0	32,1 0,1	27,3 0,1	7,2 0	0 0	0 0	0 0	66,6 0,2
Итого	0 0	197,2 0,8	542,7 2,1	526,5 2,0	56,1 0,2	79,8 0,3	0 0	0 0	1402,3 5,4
Всего по лесничеству	42,3 0,1	453,9 1,9	1851,9 7,2	6115,3 23,6	9697,7 37,5	5682,0 22,0	1711,9 6,6	297,4 1,1	25852,4 100

В условиях травяной и травяно-болотной групп типов леса доля мягколиственных насаждений с подростом сосны сибирской значительно ниже. Однако и в насаждениях данных типов леса 6 671,6 га имеют под пологом более 1,0 тыс. шт./га подрост сосны обыкновенной, что позволяет сделать вывод о возможности переформирования их в коренные кедровники, не прибегая к искусственному лесовосстановлению [Об утверждении ..., 2021].

В целом можно отметить, что за счёт правильного выбора выборочных рубок [Об утверждении ..., 2020] в мягколиственных насаждениях лесничества можно сформировать 24 588,0 га кедровых молодняков. При этом данные молодняки будут характеризоваться высокой продуктивностью, поскольку 23 252,3 га представлены наиболее потенциально продуктивными зеленомошной и травяной группами типов леса.

Естественно, что обеспеченность подростом сосны сибирской зависит от относительной полноты мягколиственных насаждений (см. табл. 2).

Материалы табл. 2 свидетельствуют, что оптимальной относительной полнотой древостоев для накопления подрост сосны сибирской является 0,7 в зеленомошной и травяной группах типов леса. В травяно-болотной группе типов леса максимальное количество подрост сосны обыкновенной накапливается при относительной полноте 0,5.

Последнее следует учитывать при установлении интенсивности выборочных рубок в березняках.

Доля спелых и перестойных низкополнотных мягколиственных насаждений с наличием подрост сосны сибирской не превышает 2,0 %. Следовательно, сохранение спелых и перестойных мягколиственных древостоев с относительной полнотой 0,3–0,4 не целесообразно. Они должны поступать в рубку сразу после достижения ими возраста спелости и восстанавливаться искусственно хвойными породами, в частности сосной сибирской.

ВЫВОДЫ

1. Сплошнолесосечные рубки и лесные пожары в лесном фонде ХМАО-Югры привели к смене коренных хвойных насаждений на производные мягколиственные на значительной части территории.

2. Производные мягколиственные насаждения при достижении ими возраста спелости назначаются под сплошнолесосечные рубки, что отбрасывает ход восстановительно-возрастной динамики насаждений сосны сибирской в исходную точку.

3. Более 25,8 тыс. га мягколиственных насаждений зеленомошной, травяной и травяно-болотной групп типов леса, только в Советском лесничестве ХМАО-Югры, имеют под пологом подрост сосны сибирской.

4. На 24,6 тыс. га количество подрост сосны сибирской достаточно, чтобы за счёт его рубками спелых и перестойных насаждений можно было переформировать мягколиственные насаждения в кедровники, не прибегая к искусственному лесовосстановлению.

5. Максимальное количество подрост сосны сибирской в зеленомошной и травяной группах типов леса накапливается при относительной полноте мяг-

колиственных насаждений 0,7, а в травяно-болотной – 0,5. Последнее необходимо учитывать при проведении выборочных рубок в мягколиственных насаждениях Западно-Сибирского северо-таёжного равнинного лесного района.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

Aguilar-Amuchastegui N., Henebry G. M. Assessing Sustainability Indicators for Tropical Forests: Spatio-Temporal Heterogeneity, Logging Intensity, and Dung Beetle Communities // *Forest Ecology and Management*. 2007. Vol. 253. Iss. 1-3. Pp. 56–67. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.07.004.

Martin P. J., Browne-Clayton S., Taylor G. A. Results-Based System for Regulating Reforestation Obligations: Some Developments in 2003 // *The Forestry Chronicle*. 2004. Vol. 80, no. 2. Pp. 201–208. DOI: 10.5558/tfc.80201-2.

Дебков Н. М., Оплетаев А. С. О степени изученности консортивных связей кедровки тонкоклювой *Nucifraga caryocatactes* L. И сосны сибирской *Pinus sibirica* Du Tour. // *Леса России и хозяйство в них*. 2017. № 1 (60). С. 12–18.

Залесов С. В. Лесоводство. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 295 с.

Казанцев С. Г., Залесов С. В., Залесов А. С. Оптимизация лесопользования в производных березняках Среднего Урала. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2006. 156 с.

Калачёв А. А. Пихтовые леса Юго-Западного Алтая и их рациональное использование. Алматы : Изд-во «Арыс», 2020. 212 с.

Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации : Утв. Приказом Минприроды России от 18.08.2014 г. № 367.

Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, указанных в ст. 23 Лесного кодекса Российской Федерации : Утв. Приказом Минприроды России от 01.12.2020 г. № 993.

Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления : Утв. Приказом Минприроды России от 29.12.2021 г. № 1024.

Обеспеченность подростом кедр сибирского спелых насаждений различных формаций / С. В. Залесов, Л. А. Белов, С. Н. Гаврилов, А. В. Неволлин, А. И. Чермных // *Леса России и хозяйство в них*. 2013. № 1 (44).

Обеспеченность подростом спелых и перестойных темнохвойных насаждений Пермского края / Е. А. Ведерников, С. В. Залесов, Е. С. Залесов, А. Г. Магасумова, О. В. Толкач // *Лесн. журн*. 2019 б. № 3. С. 32–42 (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.32.

Обеспеченность спелых и перестойных светлосвойных насаждений Западно-Уральского таёжного лесного района подростом предварительной генерации / Е. С. Залесова, С. В. Залесов, Г. Г. Терехов,

О. В. Толкач, Н. А. Луганский, Д. А. Шубин // Успехи современного естествознания, 2019 а. № 1. С. 39–44.

Оплетаев А. С., Залесов С. В. Переформирование производных мягколиственных насаждений в лиственничники на Южном Урале. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. 178 с.

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

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

Танцырев Н. В., Санников С. Н. Анализ консортивных связей между сосной сибирской и кедровкой на Среднем Урале // Экология. 2011. № 1. С. 20–24.

Чермных А. И., Оплетаев А. С. Анализ повидельной геобазы с использованием SQL-запросов для определения статистически достоверной информации на примере ГИС MapInfo // Леса России и хозяйство в них. 2013. № 44 (1). С. 53–54.

Чермных А. И., Оплетаев А. С., Залесов С. В. Анализ таксационной базы данных с помощью SQL-запросов в программе MapInfo // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России. Екатеринбург : УГЛУТУ, 2013. Ч. 1. С. 130–131.

Чмыр А. Ф. Плавная смена поколений еловых лесов бореальной зоны России. СПб. : СПбНИИЛХ, 2001. 127 с.

REFERENCES

Aguiar-Amuchastegni N., Henebry G. M. Assessing Sustainability Indicators for Tropical Forests: Spatio-Temporal Heterogeneity, Logging Intensity, and Dung Beetle Communities // Forest Ecology and Management. 2007. Vol. 253. Iss. 1-3. Pp. 56–67. DOI: 101016/j.foreco.2007.07.004.

Martin P. J., Browne-Clayton S., Taylor G. A. Results-Based System for Regulating Reforestation Obligations: Some Developments in 2003 // The Forestry Chronicle. 2004. Vol. 80, no. 2. Pp. 201–208. DOI: 105558/tfc 80201-2.

Debkov N. M., Opletaev A. S. O stepeni izuchennosti konsortivnyh svyazey kedrovki tonkoklyuvoj Nucifraga caryocatactes L. I sosny sibirskoj Pinus sibirica Du Tour. // Lesa Rossii i hozyajstvo v nih. 2017. № 1 (60). S. 12–18.

Zalesov S. V. Lesovodstvo. Ekaterinburg : Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2020. 295 s.

Kazancev S. G., Zalesov S. V., Zalesov A. S. Optimizaciya lesopol'zovaniya v proiz-vodnyh bereznjakah Srednego Urala. Ekaterinburg : Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2006. 156 s.

Kalachyov A. A. Pihtovye lesa Yugo-Zapadnogo Altaya i ih racional'noe ispol'zovanie. Almaty : Izd-vo "Arys", 2020. 212 s.

Ob utverzhdenii Perechnya lesozastitel'nyh zon Rossijskoj Federacii i Perechnya lesnyh rajonov

Rossijskoj Federacii : Utv. Prikazom Minprirody Rossii ot 18.08.2014 g. № 367.

Ob utverzhdenii Pravil zagotovki drevesiny i osobennostej zagotovki drevesiny v lesnichestvah, ukazannyh v st. 23 Lesnogo kodeksa Rossijskoj Federacii : Utv. Prikazom Minprirody Rossii ot 01.12.2020 g. № 993.

Ob utverzhdenii Pravil lesovosstanovleniya, formy, sostava, poryadka soglasovaniya proekta lesovosstanovleniya, osnovanij dlya otkaza v ego soglasovanii, a takzhe trebovanij k formatu v elektronnoj forme proekta lesovosstanovleniya : Utv. Prikazom Minprirody Rossii ot 29.12.2021 g. № 1024.

Obespechennost' podrostom kedra sibirskogo spelyh nasazhdenij razlichnyh forma-cij / S. V. Zalesov, L. A. Belov, S. N. Gavrilov, A. V. Nevolin, A. I. Chernnyh // Lesa Rossii i hozyajstvo v nih. 2013. № 1 (44).

Obespechennost' podrostom spelyh i perestojnyh temnohvojnyh nasazhdenij Permskogo kraja / E. A. Vedernikov, S. V. Zalesov, E. S. Zalesov, A. G. Magasumova, O. V. Tolkach // Lesn. zhurn. 2019 b. № 3. S. 32–42 (Izv. vyssh. ucheb. zavedenij). DOI: 10.17238/issn 0536-1036.2019.3.32.

Obespechennost' spelyh i perestojnyh svetlohvojnyh nasazhdenij Zapadno-Ural'skogo tayozhnogo lesnogo rajona podrostom predvaritel'noj generacii / E. S. Zalesova, S. V. Zalesov, G. G. Terekhov, O. V. Tolkach, N. A. Luganskij, D. A. Shubin // Uspekhi so-vremennogo estestvoznaniya, 2019 а. № 1. S. 39–44.

Opletaev A. S., Zalesov S. V. Pereformirovanie proizvodnyh myagkolistvennyh nasazhdenij v listvennichniki na Yuzhnom Urale. Ekaterinburg : Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2014. 178 s.

Sedyh V. N. Dinamika ravninnyh kedrovyyh lesov Sibiri. Novosibirsk : Nauka, 2014. 232 s.

Smolonogov E. P., Zalesov S. V. Ekologo-lesovodstvennye osnovy organizacii i vedeniya hozyajstva v kedrovyyh lesah Urala i Zapadno-Sibirskoj ravniny. Ekaterinburg : Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2002. 186 s.

Tancyrev N. V., Sannikov S. N. Analiz konsortivnyh svyazey mezhdusosnoj sibirskoj i kedrovkoj na Srednem Urale // Ekologiya. 2011. № 1. S. 20–24.

Chermnyh A. I., Opletaev A. S. Analiz povydель'noj geobazy s ispol'zovaniem SQL-zaprosov dlya opredeleniya statisticheski dostovernoy informacii na primere GIS MapInfo // Lesa Rossii i hozyajstvo v nih. 2013. № 44 (1). S. 53–54.

Chermnyh A. I., Opletaev A. S., Zalesov S. V. Analiz taksacionnoj bazy dannyh s pomoshch'yu SQL-zaprosov v programme MapInfo // Nauchnoe tvorchestvo molodyozhi – lesnomu kompleksu Rossii. Ekaterinburg : UGLTU, 2013. Ch. 1. S. 130–131.

Chmyr A. F. Plavnaya smena pokolenij elovyh lesov boreal'noj zony Rossii. SPb. : SPbNIILH, 2001. 127 s.

© Безденежных И. В., Залесов С. В., 2024

«РИСКОВАННОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ» ИЛИ РИСКИ В АГРАРНОМ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ

В. А. Безруких¹, Е. В. Авдеева², Д. В. Иванов², 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

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

²E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

Приенисейская Сибирь в состав которой входит Красноярский край и Хакасия, простирается вдоль Енисея и занимает срединную часть Сибири между 51° и 81° с. ш. и 78°–113° в. д. Красноярский край относится к крупным административным районам страны. В связи с этим здесь выделяется три климатических пояса от арктического до умеренного, что приводит к разнообразным природно-климатическим условиям и специфике сельскохозяйственного производства. В статье даются особенности развития сельского хозяйства, описываются природные риски, которые нельзя предотвратить, а можно лишь учитывать и адаптировать к ним современную систему хозяйствования. Основная часть природных рисков связана, прежде всего, с погодно-климатическими условиями: короткий вегетационный период, поздние весенние и ранние осенние заморозки, наличие многолетнемерзлых грунтов, наводнения, ливни, засухи и т.д. Их экстремальность проявляется в большинстве регионов, лежащих севернее 55–56° с.ш., снижая производство отдельных видов сельскохозяйственной продукции на 15–20 % и более. Естественный ландшафт в течение времени подвергается антропогенному воздействию и является одной составляющих экологического потенциала. Его современное состояние в какой-то степени отличается от первоначального. Характеристика современного экологического состояния ландшафта требует изучения антропогенных наслоений на естественный фон. Большая нагрузка в антропогенном воздействии на природную среду связана с индустриальными формами хозяйственной деятельности. Аграрное природопользование, как любая деятельность антропогенного характера связанные с актуальными и потенциальными изменениями естественных экологических систем, относится к рисковому видам природопользования, является одновременно источником, реже - реципиентом риска. Приводятся примеры нерациональной распашки малопродуктивных земель, что привело к пыльным бурям, засоленности почв, потере почвенного плодородия. Дается экспертная оценка по рискам землепользования и мероприятия, направленные на предотвращение рисков в аграрном природопользовании.

Ключевые слова: аграрное природопользование, рискованное земледелие, риски в аграрном землепользовании, агроклиматические условия, залежи, ветровая эрозия, КАТЭК-СУЭК.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 2, P. 12–15

“RISKY FARMING” OR RISKS IN AGRICULTURAL ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF THE BOREAL ZONE OF THE YENISEI SIBERIA

V. A. Bezrukikh¹, E. V. Avdeeva², D. V. Ivanov², 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

²E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

Yenisey Siberia, which includes Krasnoyarsk Krai and Khakassia, extends along the Yenisey and occupies the middle part of Siberia between 51° and 81° north latitude and 78°–113° east longitude. Krasnoyarsk Krai belongs to the large administrative regions of the country. In this regard, there are three climatic zones here from arctic to temperate, which leads to diverse climatic conditions and the specifics of agricultural production. The article gives features of the development of agriculture, describes natural risks that cannot be prevented, but can only be taken into account and adapted to them by the modern management system. The main part of natural risks is associated, first of all, with

weather and climatic conditions: a short growing season, late spring and early autumn frosts, the presence of permafrost, floods, rainstorms, droughts, etc. Their extreme nature manifests itself in most regions lying north of 55–56° N, reducing the production of certain types of agricultural products by 15–20 % or more. The natural landscape is subject to anthropogenic influence over time and is one of the components of environmental potential. Its current state differs to some extent from its original state.

Characterization of the current ecological state of the landscape requires the study of anthropogenic layers on the natural background. A large burden of anthropogenic impact on the natural environment is associated with industrial forms of economic activity. Agricultural environmental management, like any anthropogenic activity associated with current and potential changes in natural ecological systems, is a risky type of environmental management; it is both a source and, less often, a recipient of risk. Examples are given of irrational plowing of unproductive lands, which led to dust storms, soil salinity, and loss of soil fertility. An expert assessment of land use risks and measures aimed at preventing risks in agricultural environmental management are provided.

Keywords: *agricultural environmental management, risky farming, risks in agricultural land use, agroclimatic conditions, deposits, wind erosion, KATEK-SUEK.*

При характеристике аграрного сектора России и обосновании его низкой продуктивности часто используют категорию «рискованное земледелие». Как известно, риски в сельском хозяйстве определяются факторами возникновения и степенью проявления рискованных ситуаций. По факторам возникновения наиболее значимы для России природные, производственные, финансовые и политические риски и др. Как отмечает А. Г. Исаченко, «первейшей задачей региональных эколого-географических исследований является всесторонняя оценка экологического состояния географической среды в различных регионах. В формировании этой среды участвуют природные и антропогенные факторы. Каждому компоненту ландшафта присущи специфические экологические функции, которые могут иметь как позитивный, так и негативный характер с точки зрения оценки влияния на жизнь, здоровье и деятельность человека» [6].

Основная часть природных рисков связана, прежде всего, с погодно-климатическими условиями: короткий вегетационный период, поздние весенние и ранние осенние заморозки, наличие многолетнемерзлых грунтов, наводнения, ливни, засухи и т. д. Их экстремальность проявляется в большинстве регионов, лежащих севернее 55–56° с. ш., снижая производство отдельных видов сельскохозяйственной продукции на 15–20 % и более. После распада СССР сегодняшняя Россия – «прижатая» к Северному Ледовитому, океану, холодная прибрежная полоса, значительную часть которой (почти две трети) составляют тундра, лесотундра и многолетнемерзлые грунты. Естественно, что в разных регионах разная степень проявления природных рисков. При этом важно определить порог «приемлемости» риска, т. е. ту степень проявления рискованной ситуации, за которой аграрная система теряет свои продуктивные свойства и переходит из одного класса продуктивности в другой. Считается, что порог «приемлемости» составляет 15–20 % отклонение от среднестатистической урожайности культуры.

Естественный ландшафт в течение времени подвергается антропогенному воздействию и является одной составляющих экологического потенциала. Его современное состояние в какой-то степени отличается от первоначального. Таким образом, характеристика современного экологического состояния ландшафта требует изучения антропогенных наслоений на есте-

ственный фон. Большая нагрузка в антропогенном воздействии на природную среду связана с индустриальными формами хозяйственной деятельности. Аграрное природопользование, как любая деятельность антропогенного характера связанные с актуальными и потенциальными изменениями естественных экологических систем, относится к рисковому видам природопользования, является одновременно источником, реже – реципиентом риска. Не существует деятельности, абсолютно безопасной [3].

Не следует отождествлять понятия «риск в аграрном природопользовании» и категорию «рискованного земледелия», которые в современной литературе широко употребляются при характеристике развития аграрного сектора в России и обосновании его низкой продуктивности. Например, в работе «Система ведения сельского хозяйства в Сибирских регионах» [9], отмечается, что практически все регионы Сибири могут быть отнесены к зоне рискованного земледелия, что объясняется недостатком тепла и влаги в отдельных регионах, коротким вегетационным периодом, наличием поздних весенних и ранних осенних заморозков. Мы считаем, что это не риск аграрного природопользования, а природные особенности конкретного региона, поэтому следует учитывать региональные природные условия, и адаптировать к ним современные формы и системы хозяйствования.

Климат чаще других абонентов является лимитирующим фактором, ему свойственны колебания температуры, отклонение ее от нормы, изменение количества осадков и влажности, характер их выпадения, скорость ветра, засухи, суховеи и т. д. Они определяют дискомфорт и экстремальность условий обитания ландшафтах [3]. А. Г. Исаченко считает, что «экологический эффект того или иного природного фактора зависит от сочетания с другими факторами, так крайний дефицит тепла и влаги может свести на нет благоприятные действия всех остальных компонентов. Поэтому оценка природных экологических факторов должна быть комплексной, то есть охватывать всю совокупность, воплощаемую в понятии «экологический потенциал ландшафта» (ЭПЛ) [6].

Исходя из теории рисков, более вероятные рискованные ситуации возникают при целевом типе территориальной организации аграрного природопользования, когда природопользование организовано без уче-

та природообусловленных систем, когда нарушается способность природных систем к самовосстановлению и самоочищению. Примером является реализация целевой программы освоения целинных и залежных земель в восточных районах СССР в 1955–1957 гг., когда существенно увеличилась площадь сельскохозяйственных угодий, особенно пашни. Всего за три года в Сибири распахали 9 767 тыс. га целинных и залежных земель [5]. В оборот были вовлечены кроме плодородной и малопродуктивные земли (например, сочетании черноземов с солонцами площадь последних превышала 30–40 и даже 70 % общей площади). Наряду с этим, распахке подверглись земли на склонах балок и оврагов более 6° или даже 8–10° со смытыми и маломощными черноземами, сократились площади естественных сенокосов и пастбищ, были вырублены участки лесов и колков. Результат – пыльные бури и засоление земель в Красноярском крае, низкая продуктивность пахотных земель и земель в Присянье [7]. «Черные бури» унесли миллионы тонн плодородной земли [5]. Низкая агротехника, отсутствие севооборотов привели к тому, что большинство хозяйств перешли к пшеничной монокультуре. Это, в свою очередь, привело к катастрофической потере почвенного плодородия и, как следствие, катастрофическому неурожаю 1963 г., когда в среднем по Восточной Сибири он составил 3,7 ц/га, а в ряде хозяйств Красноярского края – 1–2 ц/га, что составляет 20–30 % среднестатистической урожайности по краю.

«Катастрофической дефляции почв во многом способствовала сплошная распахка на громадных пространствах в сотни тысяч гектаров. При полном забвении правила необходимого разнообразия хозяйственных угодий, обоснованного еще В. В. Докучаевым [4], не сохранилось никаких естественных препятствий на пути ветрового потока, наоборот, стимулировала разгон ветра до скорости, приводящей к пыльным бурям». Низкая культура земледелия, высокая доля зерновых и пропашных культур в севооборотах, недостаток паров – все это привело к понижению содержания гумуса в черноземах, увеличение площади эродированных и эрозионно-опасных земель, вторичному засолению. Радикальные меры по спасению земель от деградации были применены в немедленном введении правильных зерно-паровых севооборотов и почвозащитной системы земледелия (безотвальная зяблевая обработка почвы с сохранением стерни в сочетании с мульчированием поверхностного слоя соломой, полезащитное лесоразведение, посев полос многолетних трав поперек господствующих ветров, среди зерновых полей и др.).

Еще один пример, когда формирование целевых систем увеличило риски в аграрном природопользовании – это функционирование КАТЭКа (СУЭК). Оно привело к загрязнению почв, поверхностных и подземных вод, воздушного бассейна, деградации почвенно-растительного покрова Шарыповского, Ачинского, Назаровского, Рыбинского, Канского и других районов, расположенных на востоке Красноярского края. В результате загрязнения почв, отчуждения сельскохозяйственных угодий под карьеры и золоотвалы сокращается площадь пахотно-пригодных угодий, изменяется их потенциал: снижается содержание гумуса, меня-

ется физико-химический состав почв и др. Многие виды аграрного природопользования не могут функционировать в индустриально нарушенной среде [2].

Кроме того, нельзя обойтись без учета неблагоприятных природных явлений, которые существенно усложняют не только возделывание сельскохозяйственных культур, но саму сельскохозяйственную деятельность. В большой степени они зависят от зонально-климатических условий территории размещения земельных угодий [1]. Для тайги и подтайги – это наличие многолетнемерзлых пород, заболоченность, поздние весенние и ранние осенние заморозки. В условиях глубокой сезонной и многолетней мерзлоты, сильного промерзания зимой и медленного оттаивания весной почвы легко размываются даже незначительным стоком. В лесостепных районах, особенно в условиях расчлененного рельефа, главная проблема эрозия почв, а в степи – недостаток влаги, засухи, пыльные бури и сдувание снега зимой. Именно эти явления лежат в основе рискованных ситуаций, от чего сельскохозяйственное производство несет ежегодные убытки. Раньше, до реформ в АПК, действовал механизм распределения рисков, когда государство компенсировало колхозам и совхозам потери в результате рискованных ситуаций. Однако это компенсация касалась лишь потерь, связанных с чрезвычайными ситуациями природного характера.

Экспертная оценка посевных площадей по рискам землепользования проводилась учеными Красноярского государственного аграрного университета в соответствии с концепцией снижения рисков и ущерба чрезвычайных ситуаций (ЧС) в сельскохозяйственном производстве и проектом государственной стратегии снижения рисков и смягчения последствий ЧС природного и техногенного характера. Риск землепользования оценивается по совокупности негативных природных явлений и процессов, приводящих к слабо прогнозируемой гибели посевов сельскохозяйственных культур. Эти данные послужили основой для подготовки предложений к страхованию угрожаемых сельскохозяйственных культур на случай утраты (гибели) и расчетов страховых тарифов.

Следует отметить, что уровень сельскохозяйственного страхования в России до настоящего времени довольно низкий. По оценкам экспертов страхованием урожая охвачено всего 12–13 % посевов. В то время как экономический ущерб от ЧС в растениеводстве составляет более 90 %. По предложению Е. В. Ряполовой районы, где фиксировались ЧС, должны подлежать обязательному страхованию, остальные районы – добровольному [8].

В связи с тем, что в новых условиях хозяйствования качественное состояние земель ухудшилось, деградационные процессы активизировались, плодородия снизилось, многие земли были выведены из сельскохозяйственного оборота. Кроме сокращения площади пашни ухудшилось экологическое состояние земель. На основе анализа причин неиспользования земель необходимо определить мероприятие по восстановлению экологического состояния и вовлечению их в сельскохозяйственный оборот.

В качестве информационной основы для целей экологического анализа, дальнейшего развития пра-

войной базы, повышения роли государства в совершенствовании механизма рационального использования и охраны земель предлагается внедрять паспорта для всех землепользователей, осуществляющих хозяйственную деятельность. В комплексе мер по восстановлению и улучшению земель кроме сертификации и паспортизации землепользований необходима классификация земель по видам использования, а также структурные изменения в органах управления и ориентация их на реализацию мер по улучшению земель. К ним прежде всего относятся:

- 1) восстановительные мероприятия для пашни увеличение пахотного слоя, внесение удобрений и мелиорантов особенно на кислых почвах;
- 2) для сенокосов, внесение удобрений, мелкое рыхление, расчистка от кустарников и мелкоколеса;
- 3) на пастбищах: осушительная мелиорация, залужение с последующим использованием под сенокосы;
- 4) инструментами реализации системы управления использованием земельных ресурсов должны стать мониторинг, государственной кадастр и землеустройство.

ВЫВОДЫ

Исходя из характера риска, необходимо выбирать стратегию развития аграрного природопользования, чаще всего – активны адаптации региональных систем к геодинамическим изменениям природной среды или периодичным изменениям климата. В качестве мероприятий, направленных на предотвращение рисков в аграрном природопользовании, необходимо предложить:

- адаптивный земледелие;
- использование селекционных сортов различных сельскохозяйственных культур;
- внедрение биологических методов защиты растений и животных;
- культуру землепользования: внедрение севооборотов, использование паров, качества паров (кулисный, сидеральный, чистый), длительность севооборотов;
- проведение различных видов мелиорации с использованием фитомелиорации, разновидностью которой является лесомелиорация;
- внедрение «скользящих» технологических карт и наблюдения графиков проведения основных сельскохозяйственных работ с учетом продолжительности вегетативного периода;
- учет агроклиматических условий региона с соблюдением сроков сева и уборки урожая;
- учет особенностей климата при организации сельскохозяйственного производства и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Алькова Е. И., Безруких В. А. Оценка агроприродного потенциала территории при изучении региональных курсов географии (на примере Красноярского края) // География в школе. 2009. № 10. С. 57–59.

2. Безруких В. А. Агроклиматическое районирование Причулымья // Объединение субъектов РФ и проблемы природопользования в Приенисейской Сибири : сб. Межрегиональной научно-практической конференции. Красноярск, 2005. С. 104–106.

3. Безруких В. А. Территориальная организация аграрного природопользования в условиях Приенисейской Сибири : монография / В. А. Безруких ; Краснояр. гос. пед. ун-т им. В. П. Астафьева. Красноярск, 2008. 204 с.

4. Докучаев В. В. Наши степи прежде и теперь. СПб. : Тип. Е. Евдокимова, 1892. 128 с. [переизд.: М. : Сельхозгиз, 1953. 152 с.].

5. Ильчиных В. А. «Зерновой проект» 1954 г. в контексте аграрной истории Сибири // Сибирь: проекты XX века. Новосибирск, 1996. С. 34–35.

6. Исаченко А. Г. Экологическая география России. СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2001. 328 с.

7. Природное районирование Алтайского края. М. : Изд-во АН СССР, 1958. 210 с.

8. Ряполова Е. В. Оценка экологических рисков землепользования в районах Красноярского края: автореф. ... канд. сельхоз. наук. Красноярск, 2009. 22 с.

9. Система земледелия Алтайского края. Новосибирск : СОБАСХНИЛ, 1988. 222 с.

REFERENCES

1. Al'kova Ye. I., Bezrukikh V. A. Otsenka agroprirodnogo potentsiala territorii pri izuchenii regional'nykh kursov geografii (na primere Krasnoyarskogo kraja) // Geografiya v shkole. 2009, № 10, S. 57–59.

2. Bezrukikh V. A. Agroklimaticheskoye rayonirovaniye Prichulym'ya // Ob'yedineniye Sub'yektov RF i problemy prirodogopol'zovaniya v Priyeniseyskoy Sibiri : Sb. Mezhhregional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Krasnoyarsk, 2005. S. 104–106.

3. Bezrukikh V. A. Territorial'naya organizatsiya agrarnogo prirodogopol'zovaniya v usloviyakh Priyeniseyskoy Sibiri: monografiya ; Krasnoyar. gos. ped. un-t im. V. P. Astaf'yeva. Krasnoyarsk, 2008. 204 s.

4. Dokuchayev V. V. Nashi stepi prezhde i teper'. Spb. : Tip. Ye. Yevdokimova, 1892. 128 s. [pereizd.: M. : Sel'khozgiz 1953 152 s.].

5. Il'chinykh V. A. “Zernovoy proyekt” 1954 g. v kontekste agrarnoy istorii Sibiri // Sibir' : proyekty XX veka. Novosibirsk, 1996. S. 34–35.

6. Isachenko A. G. Ekologicheskaya geografiya Rossii. SPb. : Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 2001. 328 s.

7. Prirodnoye rayonirovaniye Altayskogo kraja. M. : Izd-vo AN SSSR, 1958. 210 s.

8. Ryapolova Ye. V. Otsenka ekologicheskikh riskov zemlepol'zovaniya v rayonakh Krasnoyarskogo kraja: avtoref. ... kand. sel'khoz. nauk. Krasnoyarsk, 2009. 22 s.

9. Sistema zemledeliya Altajskogo kraja. Novosibirsk : SOVASKHNIL, 1988. 222 s.

© Безруких В. А., Авдеева Е. В., Иванов Д. В.,
Лигаева Н. А., Кузнецова О. А., 2024

ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В КОЛЫВАНСКОМ РАЙОНЕ

А. А. Федорец, Р. А. Третьякова, О. В. Паркина, О. Е. Якубенко

Новосибирский государственный аграрный университет
Российская Федерация, 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160

В работе рассмотрены биологические особенности роста и развития сосновых древостоев на территории Колыванского лесничества Новосибирской области. Выявлено соотношение показателей, характеризующих продуктивность насаждений сосны обыкновенной. Представлен анализ распределения покрытой лесом площади и запасов по группам возраста за период с 1979 по 2021 гг.

Проведены исследования и аналитический обзор сведений о динамике изменения сосновых насаждений по основным таксационным показателям, определяющим особенности роста и развития древостоя.

Определен характер и структура размещения сосновых древостоев на территории лесохозяйственного участка с целью оценки текущего состояния и прогнозирования дальнейшего целевого использования для получения лесных ресурсов.

Выявлены закономерности возрастных изменений основных таксационных показателей деревьев сосны обыкновенной с периодичностью около десяти лет для оценки эффективности проведенных лесохозяйственных мероприятий.

Многолетний анализ распределения площади насаждений по группам возраста свидетельствует о достаточно неравномерном распределении отдельных групп. В начальный период изучения с 1979 г. по 1996 г. установлена значительная доля средневозрастной группы с уменьшением процента молодняков и повышением доли спелых и перестойных насаждений. С 2006 г. отмечена тенденция повышения процентного участия спелых и перестойных насаждений и существенное уменьшение группы молодняков. В 2021 г. доля спелых и перестойных насаждений увеличилась до 56%, увеличения площади, занятой молодыми насаждениями не происходит. Наблюдается неравномерное распределение по группам возраста и площади на землях, покрытых лесной растительностью.

Помимо изменений, связанных с трансформацией лесопокрытой площади, изменения площади по возрастным группам также вызваны естественным переходом насаждений из одной возрастной группы в другую, формированием естественных молодняков на нелесных и не покрытых лесной растительностью землях, переводом несомкнувшихся лесных культур в покрытые лесной растительностью земли.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, насаждения, таксационные показатели.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 2, P. 16–21

ASSESSMENT OF THE MAIN TAXATION INDICATORS OF COMMON PINE IN THE KOLYVAN DISTRICT

A. A. Fedorets, R. A. Tretyakova, O. V. Parkina, O. E. Yakubenko

Novosibirsk State Agricultural University
160, Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630039, Russian Federation

The paper considers the biological features of growth and development of pine stands in Kolyvan forestry of the Novosibirsk Oblast. The correlation of indicators characterizing the productivity of pine stands is revealed. The distribution of forested area and reserves by age groups for the period from 1979 to 2021 is analyzed.

The research and analytical review of the data on the dynamics of pine plantations change by the main taxation indicators determining the features of growth and development of the stand have been carried out.

The character and structure of pine stands location on a certain territory of the forest management area was determined in order to assess the current state and forecast further target use for obtaining forest.

The regularities of age changes in the main taxation indices of common pine trees with a periodicity of about ten years have been revealed to assess the effectiveness of forest management measures.

The long-term analysis of the distribution of the area of plantations by age groups indicates a rather uneven distribution of individual groups. During the initial period of the study from 1979 to 1996, a significant share of the middle-aged group was established, with a decrease in the percentage of young stands and an increase in the share of

mature and overmature stands. Since 2006, a tendency of increasing percentage of mature and overmature stands and a significant decrease in the group of young stands was noted. In 2021 the share of mature and overmature stands increased to 56%, there is no increase in the area occupied by young stands. Uneven distribution by age and area groups on lands covered with forest vegetation is observed.

In addition to changes associated with the transformation of forest area, changes in the area by age groups are also caused by the natural transition of plantations from one age group to another, the formation of natural young stands on non-forested and forested lands, and the conversion of unbroken forest crops into forested lands.

Keywords: common pine, plantations, taxation indicators.

ВВЕДЕНИЕ

В середине прошлого века была разработана широко используемая в России классификация типов леса В.Н. Сукачева. В дальнейшем часть исследователей предложили динамическую типологию лесов, при которой тип леса рассматривался в возрастной динамике [1]. При создании типологии практически одновременно описанные участки леса выстраивались в ряды; наблюдения за изменениями фитоценозов во времени на зафиксированных участках были исключениями. Для проектирования рационального ведения лесного хозяйства необходимо использовать объективную и достоверную информацию о динамике изменения насаждений по основным таксационным показателям. В частности, распределению насаждений по породному составу, площади и возрасту.

Сосна обыкновенная широко распространена на территории нашей страны и играет важную роль в формировании структуры и функций лесных экосистем [2]. Хвойные насаждения, с участием сосны в составе древесных пород, выполняют средозащитные, санитарно-гигиенические и рекреационные функции и способствуют сохранению биоразнообразия в лесных массивах. Сосняки становятся ключевыми звеньями лесных экосистем, занимая широкий спектр местообитаний со сложной типологической структурой, эдафо-фитоценозными и зональными особенностями.

Издано значительное количество научно-исследовательских работ по оценке биологических характеристик, экологического значения и хозяйственного применения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Авторы работ подчеркивают актуальность теоретического изучения и дальнейшего практического применения исследуемой древесной породы.

Изменение таксационных показателей растущих деревьев во времени имеет важное значение в лесном хозяйстве и является одной из первостепенных задач в области лесной таксации. Лес является самовозобновляемым природным ресурсом, он нуждается в рациональном использовании и эффективном воспроизводстве [3; 4].

Всестороннее изучение становится более приоритетным и актуальным направлением как с точки зрения рационального ведения хозяйства, так и со стороны использования их ресурсного и экологического потенциала.

Целью исследования является изучение динамики возрастной структуры древостоев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на территории Колыванского лесничества Новосибирской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования послужили насаждения, с участием сосны обыкновенной. Исследования были проведены в Колыванском лесничестве на Орско-Симанском лесохозяйственном участке Колыванского района.

Колыванский район располагается на северо-востоке Новосибирской области. Рельеф местности однороден, территория, на которой находятся лесосеменные объекты, представляет собой переходную часть Приобского плато. Почвообразующими породами являются серые лесные, дерново-подзолистые и черноземные почвы [5].

Территория Колыванского района по лесорастительному районированию лесов Западной Сибири [6] относится к двум зонам: северная часть – к зоне южной тайги, южная – к зоне лесостепи.

Климат района – континентальный с коротким летом и продолжительной зимой.

Количество выпадающих осадков в среднем составляет 595 мм, при этом в теплое время года выпадает 292 мм (49 %). Достаточные запасы влаги в почве за счет осенне-зимних осадков и близкое залегание грунтовых вод исключают опасность почвенной засухи.

Продолжительность безморозного периода равна на севере 87 дней, на юге 110–115 дней, вегетационного периода – 119–157 дней. Краткость вегетационного периода компенсируется большой суммой положительных температур и продолжительным солнечным сиянием. Первые осенние заморозки начинаются с 18 сентября, последние – 30 мая, но в отдельные годы сроки сдвигаются в ту или иную сторону.

Средняя продолжительность периода с устойчивым снежным покровом составляет на севере 164–170 дней, на юге района 157–162 дня. Средняя высота снежного покрова на севере района 37–45 см, на юге – 29 см.

Ветровой режим характеризуется абсолютным преобладанием ветров юго-западного направления, скорости ветров в отдельные месяцы достигают значительной силы, а средняя за год составляет 4,3 м/сек. В среднем число дней с атмосферной засухой и суховеями составляет 18 дней, наибольшее число из них приходится на июнь месяц – 6 дней.

На рис. 1 представлены гидротермические условия по ГМС «Колывань» за исследуемые годы.

Климатические условия района расположения обеспечивают нормальные условия роста и развития древесной и кустарниковой растительности.

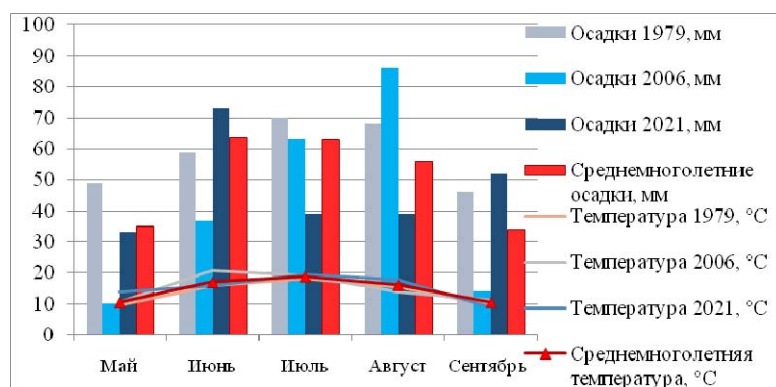


Рис. 1. Гидротермические условия по ГМС «Колывань»

Вместе с тем необходимо отметить неблагоприятные погодные явления, оказывающие отрицательное влияние на условия роста и развития растений (неустойчивый температурный режим весной и осенью, неравномерное распределение снежного покрова, избыточное увлажнение в северной части района).

Исследование динамики изменения сосновых насаждений по основным таксационным показателям выполнено в соответствии с нормативными документами по ведению лесного хозяйства в РФ [7].

При этом предварительный отбор насаждений осуществлялся по лесоустроительным данным общепринятым аналитическим методом. В исследование включены насаждения, с преобладанием в составе сосны обыкновенной. В предварительно намеченных насаждениях после натурного осмотра, проводили дополнительное изучение в соответствии с данными лесоустройства.

При выполнении лесоустроительных работ закладывали постоянные пробные площади со сплошным перечётом деревьев по общепринятым в таксации методам [8, 9]. При натурном обследовании объектов, осуществлялась оценка их состояния на период проведения исследований.

Материалы, для получения результатов исследования, обрабатывались с применением статистических пакетов программы Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Породный состав и возрастная структура насаждений обусловлена изменениями лесного фонда по категориям земель, возраста и влиянием хозяйственной деятельности. Изменение запасов насаждений связано с текущим приростом, вырубкой и естественным отпадом насаждений (табл. 1).

Таблица 1

Динамика возрастной структуры сосны обыкновенной (площадь, га) с 1979 по 2021 год

По данным настоящего лесоустройства					Изменения за ревизионный период, +(%)				
Молодняки	Средневозрастные	Приспевающие	Спелые и перестойные	Итого	Молодняки	Средневозрастные	Приспевающие	Спелые и перестойные	Итого
1979 год									
10032	54036	5301	5396	74765					
1987 год									
4332	46968	16549	7923	75772	-56,8	-13,1	212,2	46,8	1,3
1996 год									
1700	40202	16640	17360	75902	-60,8	-14,4	0,5	119,1	0,2
2006 год									
935	22784	24805	33626	82150	-45,0	-43,3	49,1	93,7	8,2
2014 год									
2017	29966	27779	35440	95202	115,7	31,5	12,0	5,4	15,9
2021 год									
1765	19503	21012	53951	96231	-12,5	-34,9	-24,4	52,2	1,1

Таблица 2

Динамика процентного соотношения сосны к покрытой лесом площади хвойными насаждениями за период с 1979 по 2021 гг.

Основные хвойные лесообразующие породы	Ед. изм.	Площадь земель, занятых хвойными насаждениями (покрытая лесом площадь) в отношении которых проводилось лесоустройство					
		2021 г.	2014 г.	2006 г.	1996 г.	1987 г.	1979 г.
Хвойные							
Сосна	га	96231	95202	82150	75902	75772	74765
Ель	га	6708	7016	5715	6953	12958	9595
Пихта	га	838	841	820	900	726	551
Лиственница	га	15	50	0	77	304	0
Кедр	га	14961	15306	12892	11752	3154	4382
Итого хвойных	га	118753	118415	101577	95584	92914	89293
% сосны по отношению к покрытой лесом площади хвойными насаждениями	%	81,0	80,4	80,9	79,4	81,6	83,7

Породный состав лесов зависит главным образом от их географического положения. По мере продвижения с севера на юг меняется и становится богаче видовой состав лесов, повышается их продуктивность. Качественная продуктивность – это, во-первых, улучшение породного состава лесов, восстановление главных пород, улучшение товарной структуры древостоев, во-вторых, качество самой древесины [10].

Сосна обыкновенная представляет значимый интерес для биологического разнообразия насаждений и является главной породой в лесном хозяйстве, обеспечивая получение качественной древесины.

Следуя рассуждениям большинства исследователей, в пределах Западной Сибири все основные виды – лесообразователи способны формировать достаточно продуктивные древостои. Изменение климата и огромные размеры климатических зон создают благоприятные условия для миграции растительности. Экологические ареалы древесных пород перекрываются на огромных территориях. Инкубация ареалов, пестрота почвенных и гидротермических условий создают разнообразие динамических процессов. Устойчивость видов и лесных сообществ определяется экологической амплитудой и конкурентными возможностями лесообразователей, а также внешними, в том числе антропогенными воздействиями. Проведен анализ хвойных насаждений, где выполняли лесоустройство для определения долевого участия пород (табл. 2).

Согласно данным табл. 2, в 1979 г. хвойные насаждения занимали площадь равную 89 293 га, из которой на долю сосны по отношению к покрытой лесом площади приходилось 83,7 % – 74 765 га. В 1987 г. хвойные насаждения занимали площадь равную 92 914 га, из которой на долю сосны по отношению к покрытой лесом площади приходилось 81,6 % – 75 772 га. В 1996 г. хвойные насаждения занимали площадь равную 95 584 га, из которой на долю сосны по отношению к покрытой лесом площади приходилось 79,4 % – 75 902 га. В 2006 г. хвойные насаждения занимали площадь равную 101 577 га, из которой на долю сосны по отношению к покрытой лесом площади приходилось 80,9 % – 82 150 га. В 2014 г. хвойные насаждения занимали площадь равную 118 415 га, из

которой на долю сосны по отношению к покрытой лесом площади приходилось 80,4 % – 95 202 га. В 2021 г. хвойные насаждения занимали площадь равную 118 753 га, из которой на долю сосны по отношению к покрытой лесом площади приходилось 81,0 % – 96 231 га.

За временной период, с 1979 по 2021 гг. отмечается тенденция увеличения площади земель, с участием сосны, а также увеличение общей площади хвойных лесообразующих пород.

Необходимо также отметить положительную тенденцию расширения биоразнообразия и увеличения доли ценной породы, такой как кедр. В структуре лесного фонда появляется лиственница, увеличивается площадь занятая елью.

Динамика возрастной структуры сосны обыкновенной в Колыванском районе на землях лесного фонда по состоянию с 2006 по 2021 гг. и Государственного Лесного Фонда по состоянию за период 1979 по 1996 гг. представлена на рис. 2.

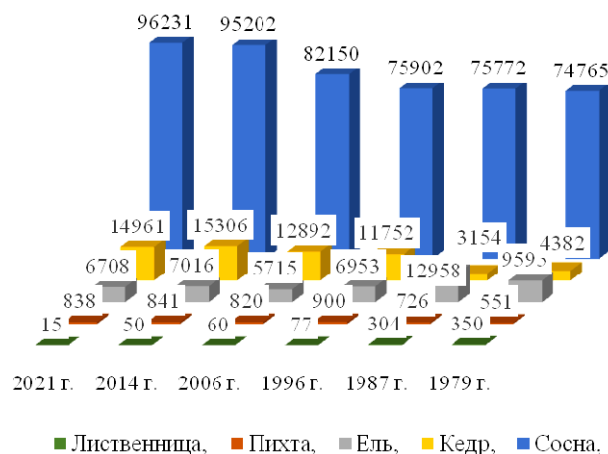


Рис. 2. Динамика возрастной структуры

В соответствии с распределением площадей и запасов лесного фонда по группам возрастов, проекта организации и развития лесного хозяйства 1979 года, на территории Колыванского района, покрытая лесом площадь сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) составляет: молодняки 10032 га, от общей площади

14 %; средневозрастные 54036 га, от общей площади 72 %; приспевающие 5301 га, от общей площади 7 %; спелые и перестойные 5396 га, от общей площади 7 %; итого покрытая лесом площадь 74 765 га. В 1987 г.: молодняки 4 332 га, от общей площади 6 %; средневозрастные 46 968 га, от общей площади 62 %, приспевающие 16 549 га, от общей площади 22 %; спелые и перестойные 7923 га, от общей площади 10 %; итого покрытая лесом площадь 75 772 га. В 1996 г. до лесоустройства распределение составляет: молодняки 1 700 га, от общей площади 2 %; средневозрастные 40 202 га, от общей площади 53 %; приспевающие 16 640 га, от общей площади 22 %; спелые и перестойные 17 360 га; от общей площади 23 %; итого покрытая лесом площадь 75 902 га. В период 2006 г. после лесоустройства: молодняки 935 га, от общей площади 1 %; средневозрастные 22 784 га, от общей площади 28 %; приспевающие 24 805 га, от общей площади 30 %; спелые и перестойные 33 626 га, от общей площади 41 %; итого покрытая лесом площадь 82 150,0 га. По состоянию на 01.01.2014 г., распределение покрытой лесом площади: молодняки 2 017 га, от общей площади 2 %; средневозрастные 29 966 га от общей площади 32 %; приспевающие 27 779 га, от общей площади 29 %; спелые и перестойные 35 440 га, от общей площади 37 %; итого покрытая лесом площадь 95 202,0 га. По данным государственного лесного реестра на 01.01.2015 г.: молодняки 2 073 га, от общей площади 2 %; средневозрастные 29 966 га, от общей площади 32 %; приспевающие 27 779 га, от общей площади 29 %; спелые и перестойные 35 440 га, от общей площади 37 %; итого покрытая лесом площадь 95 258,0 га. По состоянию на 01.01.2022 г. распределение покрытой лесом площади по сосне обыкновенной: молодняки 1 765 га, от общей площади 2 %; средневозрастные 19 503 га, от общей площади 20 %; приспевающие 21 012 га, от общей площади 22 %; спелые и перестойные 53 951 га, от общей площади 56 %; итого покрытая лесом площадь 96 231 га.

Проанализированные данные свидетельствуют об увеличении площади, покрытой лесной растительностью на территории Колыванского района за исследуемый период. Сохраняется тенденция неравномерного распределения в структуре хозяйства по площади и группам возраста, что требует проведения дополнительных лесохозяйственных мероприятий, направленных на рациональное ведение лесного хозяйства в соответствии с принципом сохранения средообразующих, водоохранных, защитных, санитарно-гигиенических, оздоровительных и иных полезных функций лесов в интересах обеспечения права каждого на благоприятную окружающую среду.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты аналитического обзора позволяют выявить некоторые закономерности по оценке основных показателей сосны обыкновенной, определяющие распределение по группам возраста для оценки общего состояния соснового древостоя в динамике за ревизионный период. Отмечена стабильная тенденция сохранения и увеличения площади, покрытой лесом, с

преобладанием в породном составе сосны обыкновенной. Распределение по группам возраста определяет тренд на увеличение площади спелых и перестойных насаждений, что свидетельствует о недостаточном внимании к своевременному проведению мероприятий по лесовосстановлению. Накопление старовозрастных насаждений и неравномерное распределение по площади и возрасту также свидетельствует о низкой эффективности мероприятий главного лесопользования, которые проводятся в недостаточно полном объеме. В результате исследований установлено, что деревья любой породы, относящиеся к тому или другому классу роста и развития, отличаются различной продуктивностью запаса.

Реализация основных принципов лесоводства, обеспечивающих постоянство и устойчивость лесопользования, становится важным условием ведения современного и рационального лесного хозяйства. Особый интерес представляет информация о породном составе насаждения в составе хвойного хозяйства для использования древесных ресурсов определённой товарной структуры с целью получения максимальной экономической выгоды и сохранения ресурсного потенциала леса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бемманн А., Кожухов Н. И., Обыденников В. И. Динамическая типология леса – современная научно-практическая основа лесохозяйственных систем // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2005. № 5. С. 23–33.
2. Новиков П. С., Милютин Т. Н., Шейкина О. В. Оптимизация проведения ПЦР-реакции при ISSR-анализе ДНК плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2011. № 14. С. 79–81.
3. Lur H., Wersenger H. Anthropogene Klimaveränderungen – Auswirkungen auf Pflanzenwachstum und tntwicrlun // Diol. Rdsch. 2005. № 4. P. 185–194.
4. Salemaa M., Jukola-Sulonen E.-L., Lindgren M. Forest condition in Finland, 1986–1990 // Silva Fenn. 1990. № 25. P. 147–175.
5. Лесохозяйственный регламент Колыванского лесничества Новосибирской области на 2015–2024 гг. от 30.12.2008 № 811 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mpr.nso.ru/page/655?ysclid=lo2o2rq88g91341234> (дата обращения: 20.09.2023).
6. Крылов Г. В. Леса Западной Сибири. М. : Изд-во АН СССР, 1961. 255 с.
7. Лесной кодекс Российской Федерации : ЛК : текст с изменениями и дополнениями на 01 сентября 2023 года : [принят Государственной думой от 08 ноября 2006 года : одобрен Советом Федерации 24 ноября 2006 года]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/?ysclid=lnegm6t2ib366661061 (дата обращения: 20.09.2023). Текст: электронный.
8. Наставление по отводу и таксации лесосек в лесах Российской Федерации : утверждено Федеральной службой лесного хозяйства РФ от 15 июня 1993 года № 155. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9013525?ysclid=lo2o5zc7g716160672> (дата обращения: 20.09.2023). Текст: электронный.

9. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустroительные. Метод закладки. М. : Госкомплекс СССР, 1983.

10. Чибисов Г. А., Минин Н. С. Рост сосняков под влиянием рубок ухода 40-летней давности // Лесной журнал. 2004. № 3. С. 10–14.

REFERENCES

1. Bemmann A., Kozhukhov N. I., Obydennikov V. I. Dinamicheskaya tipologiya lesa – sovremennaya nauchno-prakticheskaya osnova lesokhozyaystvennykh sistem // Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik. 2005. № 5. S. 23–33.

2. Novikov P. S., Milyutina T. N., Sheykina O. V. Optimizatsiya provedeniya PTSR-reaktsii pri ISSR-analize DNK plyusovykh derev'yev sosny obyknovennoy // Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy. 2011. № 14. S. 79–81.

3. Lur H., Wersenger H. Anthropogene Rlimaverrinderungen – Auswirkungen auf Pflanzenwachstum und tntwicrlun // Diol. Rdsch. 2005. № 4. P. 185–194.

4. Salemaa M., Jukola-Sulonen E.-L., Lindgren M. Forest condition in Finland, 1986–1990 // Silva Fenn. 1990. № 25. P. 147–175.

5. Lesokhozyaystvennyy reglament Kolyvanskogo lesnichestva Novosibirskoy oblasti na 2015–2024 gg. ot

30.12.2008 № 811 [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://mpr.nso.ru/page/655?ysclid=lo2o2rq88g91341234> (data obrashcheniya: 20.09.2023).

6. Krylov G. V. Lesa Zapadnoy Sibiri. M. : Izd-vo AN SSSR, 1961. 255 s.

7. Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii : LK : tekst s izmeneniyami i dopolneniyami na 01 sentyabrya 2023 goda : [prinyat Gosudarstvennoy dumoy ot 08 noyabrya 2006 goda : odobren Sovetom Federatsii 24 noyabrya 2006 goda]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/?ysclid=lnegm6t2ib366661061 (data obrashcheniya: 20.09.2023). Tekst: elektronnyy.

8. Nastavleniye po otvodu i taksatsii lesosek v lesakh Rossiyskoy Federatsii : utverzhdeno Federal'noy sluzhboy lesnogo khozyaystva RF ot 15 iyunya 1993 goda № 155. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9013525?ysclid=lo2o5zc7g716160672> (data obrashcheniya: 20.09.2023). Tekst: elektronnyy.

9. OST 56-69-83. Ploshchadi probnyye lesoustroitel'nyye. Metod zakladki. M.: Goskompleks SSSR, 1983.

10. Chibisov G. A., Minin N. S. Rost sosnyakov pod vliyaniyem rubok ukhoda 40-letney davnosti // Lesnoy zhurnal. 2004. № 3. S. 10–14.

© Федорец А. А., Третьякова Р. А., Паркина О. В., Якубенко О. Е., 2024

Поступила в редакцию 27.10.2023

Принята к печати 15.04.2024

**СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПИГМЕНТНОГО КОМПЛЕКСА ХВОИ СОСНЫ СИБИРСКОЙ
В УСЛОВИЯХ ВЫСОТНОЙ ПОЯСНОСТИ ЗАПАДНОГО САЯНА*****Н. В. Пахарькова, И. В. Масенцова, Г. А. Сорокина, И. Г. Гетте, А. А. Калабина, Е. Е. Позднякова**Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79/10

На территории природного парка «Ергаки» была заложена трансекта с четырьмя пробными площадями, пересекающая верхнюю границу леса при переходе от горно-таежного к гольцово-тундровому поясу. На высоте более 1630 м над уровнем моря древесная растительность представлена стланиковыми формами *Pinus sibirica* высотой до 1 м. Линия передовых деревьев, имеющих типичную для сосны сибирской стволовую форму, проходит между высотами 1630 и 1550 м над уровнем моря, а верхняя граница леса – между 1550 и 1500. Ниже 1500 м расположен смешанный мелкотравный пихтово-кедровый лес с преобладанием *Pinus sibirica*, а ниже 1450 – смешанный крупнотравный кедрово-пихтовый лес с преобладанием *Abies sibirica*. В ходе исследования пространственно-временной изменчивости пигментного комплекса хвои сосны сибирской в условиях высотной поясности Западного Саяна были выявлены как общие тенденции сезонной динамики хлорофиллов и каротиноидов, так и особенности пигментного состава хвои деревьев сосны сибирской, произрастающих на разной высоте над уровнем моря. Высокое отношение ССК/ХБК, характерное для растений верхней пробной площади, свидетельствует об их малой продуктивности, а низкое отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам – о стрессоустойчивости в отношении сочетания низкой температуры и высокой освещенности. Естественный отбор выше границы леса, по-видимому, направлен на выживание не высокопродуктивных особей сосны сибирской, а стрессоустойчивых медленно растущих стланиковых форм, которые, создавая микрокуртины, могут стать основой для появления стволовых форм сосны сибирской.

Ключевые слова: сосна сибирская, *Pinus sibirica*, хвоя, хлорофилл, каротиноиды, светособирающий комплекс (ССК), хлорофилл-белковый комплекс (ХБК).

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 2, P. 22–29**SEASONAL CHANGES IN THE PIGMENT COMPLEX OF SIBERIAN PINE NEEDLES
IN THE CONDITIONS OF THE HIGH-ALTITUDE ZONE OF THE WESTERN SAYAN****N. V. Pakharkova, I. V. Masentsova, G. A. Sorokina, I. G. Gette, A. A. Kalabina, E. E. Pozdnyakova**Siberian Federal University
79/10 Svobodny prosp., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

A transect with four test areas was laid on the territory of the Ergaki Natural Park, crossing the upper border of the forest during the transition from the mountain taiga to the goltsovo-tundra zone. At the altitude of more than 1,630 m above sea level, woody vegetation is represented by *Pinus sibirica* krummholz forms up to 1 m high. The line for trees with typical Siberian pine trunk shape runs between altitudes of 1,630 and 1,550 m above sea level, and the upper line is between 1,550 and 1,500. Below 1500 m, there is a mixed small-grass forest with a predominance of *Pinus sibirica*, and below 1450, there is a mixed large-grass forest with a predominance of *Abies sibirica*. During the study of the spatial and temporal variability of the pigment complex of Siberian pine needles in the conditions of the high-altitude zone of the Western Sayan, both general trends in the seasonal dynamics of chlorophylls and carotenoids and features of the pigment composition of the needles of Siberian pine trees growing at different heights above sea level were revealed. The high LHC/CPC ratio characteristic of plants of the upper sample area indicates their low productivity, and the low ratio of the amount of chlorophylls to carotenoids indicates stress resistance in relation to a combination of low temperature and high illumination. Natural selection above the forestline, apparently, is aimed at the survival not of highly productive Siberian pine individuals, but of stress-resistant slow-growing krummholz forms, which, by creating microcourtines, can become the basis for the emergence of stem forms of Siberian pine.

Keywords: Siberian pine, *Pinus sibirica*, needles, chlorophyll, carotenoids, light-harvesting complex (LHC), chlorophyll-protein complex (CPC).

* Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ 23-24-00251 «Внутрипопуляционная изменчивость экофизиологических признаков деревьев сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) в условиях изменения климата».

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдающееся в последние десятилетия изменение климата [21] приводит к трансформации лесных экосистем, сдвигу как широтных [33], так и высотных [29; 31] границ ареалов лесообразующих видов хвойных. Отмечено, что повышение температуры весеннего периода приводит к смещению начала вегетации хвойных на более ранние сроки [1], а зимне-весенние оттепели вызывают усыхание хвои [30]. Не только температура, но и осадки могут в разные периоды года являться лимитирующим фактором и приводить к снижению продуктивности хвойных лесов, в частности, сосны сибирской [23].

В пределах вида [7], и даже в пределах одной популяции [13] существуют особи, в разной степени приспособленные к перенесению действующих стресс-факторов. Особенно часто такие экземпляры встречаются на границе распространения вида. Поскольку для высокогорных районов характерно большое экологическое разнообразие, на верхней границе леса проявляются адаптивные изменения на уровне как морфологических и анатомических особенностей, так и ряда физиологических функций и биохимических процессов [10]. В последние годы проведено немало исследований сезонных изменений структуры фотосинтетического аппарата хвойных [11; 14; 38], пигментного состава хвои [22; 35], функциональных изменений в ассимилирующих тканях [3; 4; 26], но остается открытым вопрос понимания механизмов устойчивости тех экземпляров сосны сибирской, которые успешно растут и развиваются выше границы леса в суровых условиях горных экосистем.

Изменения пигментного комплекса хвои являются хорошим индикаторным признаком акклимационных стратегий ассимиляционного аппарата растений. Соотношение хлорофиллов а и b и каротиноидов свидетельствуют о приспособлении хвойных к условиям среды. В работах, выполненных на видах флоры арктических территорий (о. Шпицберген, о. Врангель) и таежной зоны Республики Коми, показано, что различия в содержании и соотношении хлорофиллов и каротиноидов определяются жизненной формой, широтным ареалом и эколого-ценотическими условиями [16; 27]. Для разных северных регионов показано увеличение относительного содержания каротиноидов в ряду бореальные–гипоарктические–арктоальпийские виды [5; 6; 8; 16; 24].

Целью данной работы являлось определение пространственно-временной изменчивости пигментного комплекса хвои сосны сибирской в условиях высотной поясности Западного Саяна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На территории природного парка «Ергаки» (Ермаковский район Красноярского края) была заложена трансекта, пересекающая верхнюю границу леса при переходе от горно-таежного к гольцово-тундровому поясу. Средняя температура января в районе исследований составляет $-17,7^{\circ}\text{C}$, июля $-13,2^{\circ}\text{C}$. Годовое количество осадков около 1200 мм, при этом в среднем 440 мм приходится на летние месяцы [20]. Вдоль

трансекты выделены четыре пробных площади (ПП), со следующими координатами их центральных точек: ПП1 – $\text{N } 52^{\circ}50'40.4''$ $\text{E } 93^{\circ}16'24.2''$ абсолютная высота 1636 м; ПП2 – $\text{N } 52^{\circ}50'26.3''$ $\text{E } 93^{\circ}16'26.9''$ абсолютная высота 1558 м; ПП3 – $\text{N } 52^{\circ}50'17.2''$ $\text{E } 93^{\circ}16'21.0''$ абсолютная высота 1505 м; ПП4 – $\text{N } 52^{\circ}50'14.6''$ $\text{E } 93^{\circ}15'28.4''$ абсолютная высота 1455 м.

На ПП1 древесная растительность представлена стланиковыми формами *Pinus sibirica* высотой до 1 м, которые образуют микрокуртины. Диаметр стволов 3–5 см. На ПП2 отмечено редколесье *Pinus sibirica*. Сомкнутость крон 0,1. Древостой однородный, формула древостоя К10. Высота деревьев до 5 м, диаметр стволов 8–12 см. ПП3 – смешанный мелкотравный пихтово-кедровый лес с преобладанием *Pinus sibirica*. Сомкнутость крон 0,4. Формула древостоя 6К4П. Высота деревьев сосны сибирской до 15 м. Диаметр стволов 15–20 см. ПП4 – смешанный крупнотравный кедрово-пихтовый лес с преобладанием *Abies sibirica*. Сомкнутость крон 0,7. Формула древостоя 6П4К. Высота деревьев сосны сибирской до 15 м. Диаметр стволов 15–20 см. Линия передовых деревьев, имеющих типичную для сосны сибирской стволовую форму, проходит между ПП1 и ПП2, а верхняя граница леса – между ПП2 и ПП3. ПП4 расположена в нижней части склона на выположенном участке, а ПП3, так же как ПП2 и ПП1, на склоне южной экспозиции.

В качестве объектов исследования были выбраны молодые деревья сосны сибирской второго класса возраста. В пределах каждой пробной площади было промаркировано по 20 типичных экземпляров сосны сибирской, с каждого из них срезано по три побега. Таким образом, общее количество растительных образцов составило 240 штук, отбор проб был произведен в феврале, апреле, июле и ноябре 2023 года.

Для определения пигментного состава использовали хвою второго года жизни с боковых побегов второго порядка. Количественное определение пигментов проводили в спиртовой вытяжке на спектрофотометре SPEKOL 1300 AnalytikJenna AG при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения определяемых пигментов в данном растворителе [37]. При определении сухой массы хвою сушили в сушильном шкафу при температуре 95°C , взвешивание до постоянной массы проводили на аналитических весах ГОСМЕТР ВЛ-124В-С с погрешностью $\pm 0,5$ мг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для хвойных растений, произрастающих выше границы леса, основными рисками являются высокая интенсивность солнечной радиации в начале лета, вызывающая фотоингибирование фотосинтеза при низких положительных температурах, и более короткий вегетационный период. В зависимости от пигментного состава хвои, структурных особенностей фотосинтетического аппарата, интенсивности фотосинтеза и других параметров, растения оказываются в разной степени устойчивыми к таким угрозам.

Пигменты растений отличаются по локализации, выполняемым функциям и роли в процессах поглощения и трансформации энергии в ходе фотосинтеза.

Согласно современным представлениям, все первичные процессы трансформации световой энергии, в том числе и флуоресценция, связаны с мембранами тилакоидов хлоропластов, представляющих из себя жидкие кристаллы со встроенными белковыми комплексами: хлорофилл-белковые комплексы фотосистемы 1 (ХБК-1), фотосистемы 2 (ХБК-2) и светособирающий хлорофилл-белковый комплекс (ССК). Характерной чертой большинства зеленых растений является дифференциация хлоропластов на область гран, стромы. Область гран обогащена комплексами фотосистемы 2 и светособирающим хлорофилл а/б белковым комплексом, тогда как тилакоиды стромы – фотосистемой 1 и системой синтеза АТФ [25].

К основным фотосинтезирующим пигментам высших растений можно отнести два близких друг к другу по химическому составу хлорофиллов – а и б, основой химического строения которых является пиррольное кольцо. Хлорофилл а входит в состав всех основных хлорофилл-белковых комплексов, выполняя функции светосбора и преобразовании солнечной энергии в энергию химических связей. Весь хлорофилл б зеленых растений по данным Дж. Торнберга сосредоточен в светособирающем комплексе (ССК), поэтому данная форма хлорофилла может служить маркером формирования самого комплекса [36].

Каротиноиды также выполняют ряд важных функций в процессе фотосинтеза: антенную (дополнительные пигменты в процессе поглощения солнечной энергии), защитную (тушители триплетного хлорофилла и синглетного кислорода) и фотопротекторную (предохраняют реакционный центр фотосистемы от мощных потоков энергии при высоких интенсивностях света и стабилизируют липидную фазу тилакоидных мембран, защищая ее от перекисления).

На рисунке представлены данные сезонных изменений содержания фотосинтетических пигментов в хвое сосны сибирской, произрастающей на различной высоте над уровнем моря.

Минимальное содержание хлорофиллов в хвое *Pinus sibirica* на всех пробных площадях зафиксировано зимой (февраль), максимальное – летом (июль), что согласуется с данными других авторов [12; 35]. Однако количественные значения на разных пробных площадях весьма отличаются. По содержанию хлорофилла а в хвое (рис. 1, А) обнаружены статистически достоверные различия ($p \geq 0,95$) в феврале и апреле для ПП1 относительно остальных пробных площадей, в июле – между всеми пробными площадями, в ноябре – для всех пробных площадей, кроме ПП3–ПП4. По содержанию хлорофилла б (рис. 1Б) в зимне-весенний период получены достоверные различия ($p \geq 0,95$) также для ПП1 по сравнению с остальными пробными площадями, в летний период – для всех, кроме ПП1–ПП2, осенью – для всех, кроме ПП2–ПП3. Нужно отметить, что наибольшее содержание хлорофиллов отмечено в хвое деревьев сосны сибирской, входящих в состав лесных фитоценозов (ПП3 и ПП4), а минимальное – для расположенных выше границы леса (ПП2 и, особенно, ПП1). Для верхней пробной площади ПП1 эта закономерность прослеживается в течение всего года, для остальных – в период актив-

ной вегетации. На пробных площадях ПП2–ПП4 количественные различия в содержании хлорофиллов в хвое деревьев сосны сибирской обусловлены, скорее всего, условиями освещения. Для *Pinus sibirica*, произрастающих на ПП1 выше линии передовых деревьев и представленных только стланныковыми формами, сниженное количество хлорофилла, возможно, является адаптационным признаком.

Содержание каротиноидов (рис. 1, В) в хвое увеличивается при переходе от зимнего к весеннему периоду, несколько снижается летом, и вновь возрастает осенью. Однако более показательным является не количество каротиноидов как таковое, а отношение суммы хлорофиллов а и б к каротиноидам. В частности, воздействие ультрафиолетового излучения может фиксироваться по уменьшению отношения содержания хлорофиллов и каротиноидов [2]. Механизмы, предотвращающие это повреждение с участием каротиноидов, включают дезактивацию возбужденных состояний хлорофиллов реакционных центров и светособирающих комплексов, активных форм кислорода и высвобождение избыточно поглощенной световой энергии [28]. Минимальные значения отношения суммы хлорофиллов к каротиноидам характерны как раз для хвои с ПП1 (см. таблицу). Низкая температура воздуха, характерная для гольцового пояса, в сочетании с сильной солнечной радиацией является типичной ситуацией, в которой может произойти торможение или частичное разрушение фотосинтетического аппарата избыточной энергией. В зимне-весенний период это также может свидетельствовать о разном уровне потенциальной готовности хвои деревьев, произрастающих на различной высоте над уровнем моря, к возобновлению фотосинтетической деятельности.

В свою очередь, энергетика растения зависит от соотношения хлорофилл-белковых комплексов. Светособирающий комплекс может выполнять важные структурно-образовательные (формирование гран), энергетические и регуляторные функции (распределение потоков энергии между хлорофилл-белковыми комплексами). Кроме того, согласно подтвержденной концепции У. Шрайбера и П. Армонда [34] структура ССК и его связь с мембранами тилакоидов определяет температурную устойчивость фотосинтетического аппарата и может служить её показателем. Расчет доли хлорофиллов в ССК от их суммы производили с учетом того, что весь хлорофилл б находится в ССК и соотношение хлорофиллов а/б в ССК равно 1.2.

Проведенные расчеты по распределению пигментов между основными хлорофилл-белковыми комплексами показали, что на данной ПП1 в зимний период практически все пигменты включены в состав ССК (см. таблицу). Доля пигментов, включенных в ССК в хвое деревьев с верхней пробной площади, остается более высокой по сравнению с аналогичным показателем для других пробных площадей в течение всего периода исследований.

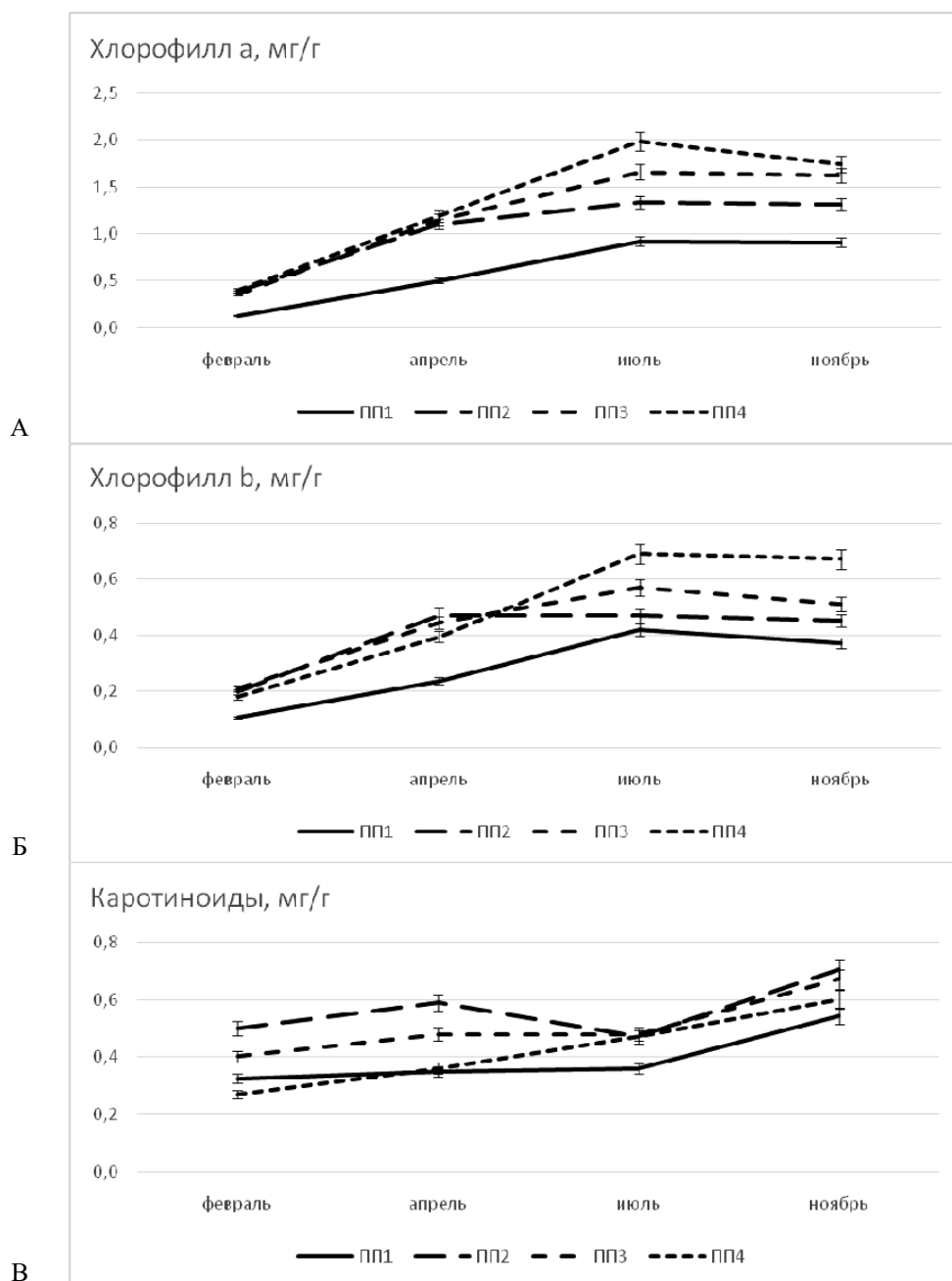
Считается, что чем выше отношение ССК/ХБК, тем менее продуктивным является растение, тем меньше мембранных компонентов энергопреобразующей системы содержат его хлоропласты [9; 18]. Более низкие значения отношения ССК/ХБК в актив-

ном состоянии отмечены для сосны сибирской, расположенной на ПП3 и ПП4, которые характеризуются, по-видимому, наиболее благоприятными условиями для произрастания растений данного вида на изученной трассе.

В условиях арктических территорий, высокогорья и среднегорья важным компонентом пигментного комплекса являются каротиноиды. На верхней пробной площади в зимний период суммарное содержание хлорофиллов ниже содержания каротиноидов – их отношение меньше единицы. В ходе сезонных изменений повышенное содержание каротиноидов на ПП1 относительно содержания хлорофиллов, в отличие от других пробных площадей, сохраняется в течение всего вегетационного периода (см. таблицу). Аналогичные данные показаны в работах ряда авторов.

Наиболее высокие значения содержания желтых пигментов были обнаружены у высокогорных растений Памира, пустынь Кара-Кум и Гоби, что связано с высокой освещенностью и обилием УФ-лучей [15; 19].

Полученные результаты о росте доли каротиноидов относительно суммарного содержания хлорофиллов хорошо вписываются в концепцию о защитной роли каротиноидов в структуре фотосинтетического аппарата. Поглощая излишнюю энергию от хлорофилла, каротиноиды способны ее дезактивировать в виде тепловой энергии. Каротиноиды действуют как фильтры и, накапливаясь в покровных тканях растений, поглощают избыточные количества синего и ближнего ультрафиолетового света, которые могут оказывать ингибирующее действие на функциональную активность фотосинтетического аппарата [12; 32].



Сезонная динамика содержания хлорофилла а (А), хлорофилла b (Б) и каротиноидов (В) в хвое *Pinus sibirica*

Пигментный состав хвои *Pinus sibirica*

	Пробная площадь	Отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам	ССК, мг/г	ССК, доля %	ХБК, мг/г	ССК/ХБК
февраль	ПП1	0,72	0,23	100	0	–
	ПП2	1,16	0,44	75	0,15	2,93
	ПП3	1,41	0,46	82	0,10	4,60
	ПП4	2,13	0,40	69	0,18	2,22
апрель	ПП1	2,11	0,52	71	0,22	2,36
	ПП2	2,66	1,04	66	0,53	1,96
	ПП3	3,33	0,98	61	0,62	1,58
	ПП4	4,37	0,87	55	0,71	1,23
июль	ПП1	3,72	0,92	69	0,42	2,19
	ПП2	3,83	1,03	57	0,77	1,34
	ПП3	4,65	1,25	56	0,98	1,28
	ПП4	5,68	1,52	57	1,15	1,32
ноябрь	ПП1	2,37	0,82	64	0,46	1,78
	ПП2	2,50	1,00	56	0,77	1,30
	ПП3	3,18	1,13	53	1,01	1,12
	ПП4	4,02	1,48	61	0,94	1,57

В работе Масловой с сотр. показано, что у исследованных вечнозеленых растений, как хвойных, так и покрытосеменных, адаптированных в ходе интродукции к произрастанию в высоких широтах, отсутствует процесс фотодеструкции пигментных комплексов в условиях зимы, так как они обладают системой защиты фотосинтетического аппарата пластид клеток мезофилла. Основу этой системы составляют каротиноиды – пигменты виолаксантинового цикла, родоксантин, зеаксантин и лютеин [17].

Таким образом, можно отметить, что выше границы леса выживают стрессоустойчивые медленно растущие стланиковые формы сосны сибирской, имеющие пониженное содержание хлорофиллов *a* и *b* в и высокие значения ССК/ХБК в течение всего года. Повышенное содержание каротиноидов на верхней пробной площади (ПП1) относительно содержания хлорофиллов, в отличие от других пробных площадей, также сохраняется в течение всего вегетационного периода

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выше границы леса хвойные растения часто подвергаются различным стрессовым воздействиям, что в сочетании с высокой освещенностью часто приводит к фотоингибированию фотосинтеза и фотоповреждению клеток хвои. В ходе исследования пространственно-временной изменчивости пигментного комплекса хвои сосны сибирской в условиях высотной поясности Западного Саяна было выявлено увеличение концентрации хлорофиллов *a* и *b* при переходе от состояния зимнего покоя к периоду активного метаболизма. При этом минимальное содержание фотосинтетических пигментов отмечается для пробной площади, расположенной в верхней части склона (абсолютная высота 1636 м). Как показывает анализ литературы, чувствительность к стрессу усиливается при высоких освещенностях. Это связано с тем, что любой стресс (водный дефицит, низкая температура и др.), вызывая различные метаболические нарушения,

затрагивает энергетику растения. В результате растение начинает корректировать приход и использование световой энергии как наиболее простой и экономичный путь адаптации для коррекции метаболизма. Высокое отношение ССК/ХБК, характерное для растений верхней пробной площади, свидетельствует об их малой продуктивности, а низкое отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам – о стрессоустойчивости в отношении сочетания низкой температуры и высокой освещенности.

Естественный отбор выше границы леса, по-видимому, направлен на выживание не столько продуктивных особей сосны сибирской, сколько стрессоустойчивых медленно растущих стланиковых форм, которые, создавая микрокуртины, могут стать основой для появления стволовых форм сосны сибирской.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Анализ изменений сроков сезонных явлений у древесных растений заповедника Столбы в связи с климатическими факторами / Т. М. Овчинникова, В. А. Фомина, Е. Б. Андреева [и др.] // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 28, № 1-2. С. 54–59.
2. Бендер О. Г., Зотикова А. П., Велисевич С. Н. Особенности водного обмена и состояния пигментного комплекса хвои кедрового сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в горах Северо-Восточного Алтая // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2009. № 3(7). С. 63–72.
3. Бендер О. Г. Структурные и функциональные особенности хвои кедрового сибирского и кедрового стланика в условиях юга западной Сибири // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2019. № 18. С. 467–471.
4. Влияние условий произрастания сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) на процессы фотосинтеза и транспирации / А. П. Глинушкин, С. М., Хамитова, Н. А. Бабиц, Е. В. Думачева [и др.] // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. 40, № 5. С. 361–368.

5. Газообмен и пигментная система растений Кольской Субарктики (Хибинский горный массив) / Л. М. Лукьянова, Т. Н. Локтева, Т. М. Булычева. Апатиты : Изд-во Кольский филиал АН СССР, 1986. 128 с.
6. Герасименко Т. В., Попова И. А., Александрова Н. М. К характеристике фотосинтетического аппарата фотосинтеза растений арктической тундры (о. Врангеля) // Ботанический журнал. 1989. Т. 74, № 5. С. 669–679.
7. Генетическое разнообразие кедров сибирского при интродукции на Южном Урале и в Башкирском Предуралье / Шигапов З. Х., Путенихина К. В., Шигапова А. И. [и др.] // Сибирский лесной журнал. 2016. № 5. С. 137–146.
8. Головкин Т. К., Яцко Я. Н., Дымова О. В. Сезонные изменения состояния фотосинтетического аппарата трех бореальных видов хвойных растений в подзоне средней тайги на европейском северо-востоке // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. 30, № 1–2. С. 73–78.
9. Зарубина Л. В., Хамитов Р. С., Филиппко Е. Н. Особенности формирования пигментного фонда в хвое елового подростка в березняках черничных в зависимости от светового режима в условиях Архангельской области // The Scientific Heritage. 2021. № 75-4(75). С. 8–12.
10. Зотикова А. П., Бендер О. Г. Структура и функция ассимиляционного аппарата кедров сибирского в горах Центрального Алтая // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2009. № 2 (1). С. 80–89.
11. Котеева Н. К. Особенности сезонной ритмики ультраструктуры клеток апикальной меристемы побега и мезофиллы хвои *Pinus sylvestris* (Pinaceae) // Ботанический журнал. 2002. № 87 (11). С. 50–60.
12. Маслова Т. Г., Марковская Е. Ф., Слемнев Н. Н. Функции каротиноидов в листьях высших растений (обзор) // Журнал общей биологии. 2020. Т. 81, № 4. С. 297–310.
13. Пахарькова Н. В., Кузьмина Н. А., Кузнецова Г. В., Кузьмин С. Р. Диагностика устойчивости представителей рода *Pinus* к периодическим повышением температуры в зимне-весенний период // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. № 227. С. 88–106.
14. Плюснина С. Н., Тужилкина В. В. Структурно-функциональная характеристика фотосинтетического аппарата подростка *Pinus sylvestris* (Pinaceae) в подзоне средней тайги европейского Северо-Востока // Ботанический журнал. 2021. № 106 (11). С. 1072–1084.
15. Попова О. Ф., Слемнев Н. Н., Попова И. А., Маслова Т. Г. Содержание пигментов пластид у растений пустынь Гоби и Каракумы // Ботанический журнал. 1984. Т. 69, № 3. С. 334–344.
16. Растения и лишайники Западного Шпицбергена: экология, физиология / Е. Ф. Марковская, Н. Ю. Шмакова. Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2017. 270 с.
17. Структурно-функциональные изменения фотосинтетического аппарата у зимневегетирующих хвойных растений в различные сезоны года / Т. Г. Маслова, Н. С. Мамушина, О. А. Шерстнева, Л. С. Буболо [и др.] // Физиология растений. 2009. Т. 56, № 4. С. 672–681.
18. Рубин А. Б., Венедиктов П. С., Кренделева Т. Е. Регуляция первичных стадий фотосинтеза при изменении физиологического состояния растений // Фотосинтез и продукционный процесс. М. : Наука, 1988. С. 29–39.
19. Разнообразие фотосинтетического аппарата растений: анализ биологических, экологических и эволюционных рядов / Н. Н. Слемнев, С. Н. Шереметьев, Т. Г. Маслова, [и др.] // Ботанический журнал. 2012. Т. 97, № 11. С. 1377–1396.
20. Справочно-информационный портал «Погода и климат» 2004-2023 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/>.
21. Тихонова И. В., Корец М. А. Изменчивость метеорологических условий произрастания хвойных пород в Средней Сибири с 1960 г. // Лесоведение. 2021. № 2. С. 173–186.
22. Тужилкина В. В., Цепордей И. С., Данилин И. М. Пигментный комплекс хвои сосны в лесах европейского Северо-Востока // Лесоведение. 2012. № 4. С. 16–23.
23. Усольцев В. А., Цепордей И. С., Данилин И. М. Прогнозирование биомассы кедровых сосен Северной части Азии при изменении климата // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. 40, № 5. С. 410–423.
24. Шмакова Н. Ю., Лукьянова Л. М., Ермолаева О. В. Фотосинтетический аппарат растений Хибин // Ботанический журнал. 2011. Т. 96, № 2. С. 273–278.
25. Andersson B., Haehnel W. Location of Photosystem 1 and Photosystem 2 reaction centres in different thylakoid regions of stacked chloroplasts // FEBS Lett. 1982. Vol. 146, № 1, P. 13–17.
26. Bag P., Chukhutsina V., Zhang Z., et al. Direct energy transfer from photosystem II to photosystem I confers winter sustainability in Scots Pine // Nature Communications. 2020. № 11. P. 6388.
27. Dymova O., Dalke I., Golovko T. Pigment characteristics of the plants of northern ecosystems and their correlation with photosynthetic activity // Photosynthetic Pigments – Chemical Structure, Biological Function and Ecology. Syktyvkar : Komi SC UB RAS, 2014. P. 221–236.
28. Gilmore A. M. Mechanistic aspects of xanthophyll cycle dependent photoprotection in higher plant chloroplast and leaves // Physiol. Plant. 1997. Vol. 99, № 2. P. 197–209.
29. Kharuk V. I., Im S. T., Petrov I. A. Alpine ecotone in the Siberian Mountains: vegetation response to warming // Journal of Mountain Science. 2021. № 18 (12). P. 3099–3108.
30. Pakharkova, N. V., Heilmeyer, H., Gette, I. G., et al. Quantitative characteristics of the phases of winter dormancy of conifer species at a site in Central Siberia // Revista Brasileira de Botanica. 2016. № 39 (4). P. 1005–1014.
31. Pakharkova N., Borisova I., Sharafutdinov R., Gavrikov V. Photosynthetic pigments in Siberian pine and fir under climate warming and shift of the timberline // Forests. 2020. № 11 (1). P. 63.
32. Ruban A. V. Evolution under the sun: optimizing light harvesting in photosynthesis // Journal of Experimental Botany. 2015. Vol. 66, № 1. P. 7–23.
33. Shiyatov S. G., Hantemirov R. M., Schwein-gruber F. H., et al. Potential long-chronology develop-

ment on the Northwest Siberian Plain: early results // *Dendrochronologia*. 1996. № 14. P. 13–29.

34. Schreiber U., Armond P. A. Heat-induced changes of chlorophyll fluorescence in isolated chloroplasts and related heat damage at the pigment level // *BBA*, 1978, Vol. 502, № 1. P. 138–151.

35. Sofronova V. E., Dymova O. V., Golovko T. K., et al. Adaptive Changes in Pigment Complex of *Pinus sylvestris* Needles upon Cold Acclimation // *Russian Journal of Plant Physiology*. 2016. № 63 (4). P. 433–442.

36. Thornber J. P. Chlorophyll-proteins: light-harvesting and reaction Centre components of plants // *Annual Rev. Pl. Physiol*. 1975. Vol. 26. P. 127–158

37. Wintermans, J. E. G.; De Mots, A. Spectrophotometric Characteristics of chlorophyll a and b and their phaeophytins in ethanol // *Biochimica et Biophysica Acta*. 1965, № 109. P. 448–453.

38. Zagirova S. V. Structure and CO₂ Exchange in the Needles of *Pinus sylvestris* and *Abies sibirica* // *Russian Journal of Plant Physiology*. 2001. № 48 (1). P. 23–28.

REFERENCES

1. Analiz izmenenij srokov sezonnyh yavlenij u drevesnyh rastenij zapovednika Stolby v svyazi s klimaticheskimi faktorami / T. M. Ovchinnikova, V. A. Fomina, E. B. Andreeva [i dr.] // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2011. T. 28, No. 1–2. S. 54–59.

2. Bender O. G., Zotikova A. P., Velisevich S. N. Osobennosti vodnogo obmena i sostoyaniya pigmentnogo kompleksa hvoi kedra sibirskogo (*Pinus sibirica* Du Tour) v gorah Severo-Vostochnogo Altaya // *Vestnik Tomsogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2009. No. 3(7). S. 63–72.

3. Bender O. G. Strukturnye i funkcional'nye osobennosti hvoi kedra sibirskogo i kedrovogo stlanika v usloviyah yuga zapadnoj Sibiri // *Problemy botaniki Yuzhnoj Sibiri i Mongolii*. 2019. No. 18. S. 467–471.

4. Vliyanie uslovij proizrastaniya sosny kedrovoy sibirskoj (*Pinus sibirica* Du Tour) na processy fotosinteza i transpiracii / A. P. Glinushkin, S. M., Hamitova, N. A. Babich, E. V. Dumacheva [i dr.] // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2022. T. 40, No. 5. S. 361–368.

5. Gazoobmen i pigmentnaya sistema rastenij Kol'skoj Subarktiki (Hibinskij gornyj massiv) / L. M. Luk'yanova, T. N. Lokteva, T. M. Bulycheva. Apatity : Izd-vo Kol'skij filial AN SSSR, 1986. 128 s.

6. Gerasimenko T. V., Popova I. A., Aleksandrova N. M. K karakteristike fotosinteticheskogo apparata fotosinteza rastenij arkticheskoy tundry (o. Vrangelya) // *Botanicheskij zhurnal*. 1989. Vol. 74, No. 5. S. 669–679.

7. Geneticheskoe raznoobrazie kedra sibirskogo pri introdukcii na Yuzhnom Urale i v Bashkirskom Predural'e / Shigapov Z. H., Putenihina K. V., Shigapova A. I. [i dr.] // *Sibirskij lesnoj zhurnal*. 2016. No. 5. S. 137–146.

8. Golovko T. K., Yacko Ya. N., Dymova O. V. Sezonnye izmeneniya sostoyaniya fotosinteticheskogo apparata trekh boreal'nyh vidov hvojnyh rastenij v podzone srednej tajgi na evropejskom severo-vostoke // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2013. T. 30, No. 1–2. S. 73–78.

9. Zarubina L. V., Hamitov R. S., Pilipko E. N. Osobennosti formirovaniya pigmentnogo fonda v hvoe

elovogo podrosta v bereznyakah chernichnyh v zavisimosti ot svetovogo rezhima v usloviyah Arhangel'skoj oblasti // *The Scientific Heritage*. 2021. No. 75-4(75). S. 8–12.

10. Zotikova A. P., Bender O. G. Struktura i funkciya assilyacionnogo apparata kedra sibirskogo v gorah Central'nogo Altaya // *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya : Biologiya*. 2009. No. 2 (1). S. 80–89.

11. Koteeva N. K. Osobennosti sezonnoj ritmiki ul'trastrukturny kletok apikal'noj meristemy pobega i mezofilla hvoi *Pinus sylvestris* (Pinaceae) // *Botanicheskij zhurnal*. 2002. No. 87 (11). S. 50–60.

12. Maslova T. G., Markovskaya E. F., Slemnev N. N. Funkcii karotinoidov v list'yah vysshih rastenij (obzor) // *Zhurnal obshchej biologii*. 2020. T. 81, No. 4. S. 297–310.

13. Pahar'kova N. V., Kuz'mina N. A., Kuznecova G. V., Kuz'min S. R. Diagnostika ustojchivosti predstavitelej roda *Pinus* k periodicheskim povyseniyam temperatury v zimne-vesennij period // *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2019. No. 227. S. 88–106.

14. Plyusnina S. N., Tuzhilkina V. V. Strukturno-funkcional'naya harakteristika fotosinteticheskogo apparata podrosta *Pinus sylvestris* (Pinaceae) v podzone srednej tajgi evropejskogo Severo-Vostoka // *Botanicheskij zhurnal*. 2021. No. 106 (11). S. 1072–1084.

15. Popova O. F., Slemnev N. N., Popova I. A., Maslova T. G. Soderzhanie pigmentov plastid u rastenij pustyn' Gobi i Karakumy // *Botanicheskij zhurnal*. 1984. T. 69, No. 3. S. 334–344.

16. Rasteniya i lishajniki Zapadnogo Shpicbergena: ekologiya, fiziologiya / E. F. Markovskaya, N. Yu. Shmakova. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2017. 270 s.

17. Strukturno-funkcional'nye izmeneniya fotosinteticheskogo apparata u zimnevegetiruyushchih hvojnyh rastenij v razlichnye sezony goda / T. G. Maslova, N. S. Mamushina, O. A. Sherstneva, L. S. Bubolo [i dr.] // *Fiziologiya rastenij*. 2009. Vol. 56, No. 4. S. 672–681.

18. Rubin A. B., Venediktov P. S., Krendeleva T. E. Regulaciya pervichnyh stadij fotosinteza pri izmenenii fiziologicheskogo sostoyaniya rastenij // *Fotosintez i produkcionnyj process*. M. : Nauka, 1988. S. 29–39.

19. Raznoobrazie fotosinteticheskogo apparata rastenij: analiz biologicheskikh, ekologicheskikh i evolyucionnyh ryadov / N. N. Slemnev, S. N. Sheremet'ev, T. G. Maslova [i dr.] // *Botanicheskij zhurnal*. 2012. Vol. 97, No. 11. S. 1377–1396.

20. Spravochno-informacionnyj portal «Pogoda i klimat» 2004–2023 [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/>.

21. Tihonova I. V., Korec M. A. Izmenchivost' meteorologicheskikh uslovij proizrastaniya hvojnyh porod v Srednej Sibiri s 1960 g. // *Lesovedenie*. 2021. No. 2. S. 173–186.

22. Tuzhilkina V. V., Cepordej I. S., Danilin I. M. Pigmentnyj kompleks hvoi sosny v lesah evropejskogo Severo-Vostoka // *Lesovedenie*. 2012. No. 4. S. 16–23.

23. Usol'cev V. A. Prognozirovanie biomassy kedrovyyh sosen Severnoj chasti Azii pri izmenenii klimata // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2022. Vol. 40, № 5. S. 410–423.

24. Shmakova N. Yu., Luk'yanova L. M., Ermolaeva O. V. Fotosinteticheskij apparat rastenij Hibirin // *Botanicheskij zhurnal*. 2011. Vol. 96, No. 2. S. 273–278.

25. Andersson B., Haehnel W. Location of Photosystem 1 and Photosystem 2 reaction centres in different thylakoid regions of stacked chloroplasts // FEBS Lett. 1982. Vol. 146, No. 1, P. 13–17.
26. Bag P., Chukhutsina V., Zhang Z., et al. Direct energy transfer from photosystem II to photosystem I confers winter sustainability in Scots Pine // Nature Communications. 2020. No. 11. P. 6388.
27. Dymova O., Dalke I., Golovko T. Pigment characteristics of the plants of northern ecosystems and their correlation with photosynthetic activity // Photosynthetic Pigments – Chemical Structure, Biological Function and Ecology. Syktyvkar : Komi SC UB RAS, 2014. P. 221–236.
28. Gilmore A. M. Mechanistic aspects of xanthophyll cycle dependent photoprotection in higher plant chloroplast and leaves // Physiol. Plant. 1997. Vol. 99, No. 2. P. 197–209.
29. Kharuk V. I., Im S. T., Petrov I. A. (2021) Alpine ecotone in the Siberian Mountains: vegetation response to warming // Journal of Mountain Science, 18 (12): 3099–3108
30. Pakharkova N., Borisova I., Sharafutdinov R., Gavrikov V. Photosynthetic pigments in Siberian pine and fir under climate warming and shift of the timberline // Forests. 2020. No. 11 (1). P. 63.
31. Pakharkova N. V., Heilmeyer H., Gette I. G. et al. Quantitative characteristics of the phases of winter dormancy of conifer species at a site in Central Siberia // Revista Brasileira de Botanica. 2016. No. 39 (4). P. 1005–1014.
32. Ruban A. V. Evolution under the sun: optimizing light harvesting in photosynthesis // Journal of Experimental Botany. 2015. Vol. 66, No. 1. P. 7–23.
33. Shiyatov S. G., Hantemirov R. M., Schweingruber F. H., et al. Potential long-chronology development on the Northwest Siberian Plain: early results // Dendrochronologia. 1996. No. 14. P. 13–29.
34. Schreiber U., Armond P. A. Heat-induced changes of chlorophyll fluorescence in isolated chloroplasts and related heat damage at the pigment level // BBA, 1978, Vol. 502, No. 1. P. 138–151.
35. Sofronova V. E., Dymova O. V., Golovko T. K., et al. Adaptive Changes in Pigment Complex of *Pinus sylvestris* Needles upon Cold Acclimation // Russian Journal of Plant Physiology. 2016. No. 63 (4). P. 433–442.
36. Thornber J. P. Chlorophyll-proteins: light-harvesting and reaction Centre components of plants // Annual Rev. Pl. Physiol. 1975. Vol. 26. P. 127–158.
37. Wintermans J. E. G.; De Mots A. Spectrophotometric Characteristics of chlorophyll a and b and their phaeophytins in ethanol // Biochimica et Biophysica Acta. 1965, No. 109. P. 448–453.
38. Zagirova S. V. Structure and CO₂ Exchange in the Needles of *Pinus sylvestris* and *Abies sibirica* // Russian Journal of Plant Physiology. 2001. No. 48 (1). P. 23–28.

© Пахарькова Н. В., Масенцова И. В.,
Сорокина Г. А., Гетте И. Г.,
Калабина А. А., Позднякова Е. Е., 2024

Поступила в редакцию 20.11.2023
Принята к печати 15.04.2024

**ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ К РАЗВИТИЮ ВСПЫШЕК
МАССОВОГО РАЗМНОЖЕНИЯ НАСЕКОМЫХ-ВРЕДИТЕЛЕЙ:
ПРОГНОЗ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ***

В. Г. Суховольский¹, А. В. Ковалев², С. А. Астапенко³

¹Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН

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

²Красноярский научный центр СО РАН

Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50

³Центр защиты леса Красноярского края

Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50а

E-mail: ¹soukhovolsky@yandex.ru, ²sunhi.prime@gmail.com, ³serega3000@inbox.ru

Предложены методы анализа восприимчивости насаждений к нападению лесных насекомых на основе данных дистанционного зондирования Земли. В качестве индикатора состояния насаждений предложено использовать показатель восприимчивости вегетативного индекса растительности в течение сезона (NDVI) к изменению радиационной температуры территории (LST), получаемые по спутниковым данным системы Terra/Aqua. Показатель рассчитывался как передаточная спектральная функция отклика в интегральном уравнении, связывающем изменения NDVI и LST.

*Анализ проводился для трех опытных объектов. В первом случае исследовались пихтовые насаждения таежной зоны Красноярского края – территории, которые с 2015 г. повреждались гусеницами сибирского шелкопряда *Dendrolimus sibiricus* Tschetv. и соседние неповрежденные участки. Во втором случае объектом исследования были горные пихтовые древостои в Ермаковском районе на юге Красноярского края, поврежденные в 2013 году черным пихтовым усачем *Monochamus urussovi* Fischer. Наконец, рассматривалось состояние пихтовых лесов в Бирилюкском районе Красноярского края в 2023 г., когда повреждений насаждений еще не наблюдалось, но в феромонных ловушках были найдены особи сибирского шелкопряда.*

Показано, что показатель восприимчивости насаждения на изучаемых пробных площадях значительно изменился за 2–3 года до начала вспышки массового размножения вредителя. Предложенный показатель может быть использован при прогнозе вспышек массового размножения насекомых-вредителей.

Ключевые слова: лесные насекомые, оценка состояния леса, вспышки массового размножения, наземные методы ДЗЗ.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 2, P. 30–37

**SUSCEPTIBILITY OF FOREST PLANTATIONS TO THE DEVELOPMENT OF OUTBREAKS
OF INSECT PESTS: FORECAST BASED ON REMOTE SENSING DATA**

V. G. Soukhovolsky¹, A. V. Kovalev², S. A. Astapenko³

¹V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS

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

²Krasnoyarsk Scientific Center, SB RAS

50, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

³Center of forest protection for Krasnoyarsk region

50a, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

E-mail: ¹soukhovolsky@yandex.ru, ²sunhi.prime@gmail.com, ³serega3000@inbox.ru

Methods are proposed for analyzing the susceptibility of forest stands to attack by forest insects based on Earth remote sensing data. As an indicator of the state of trees, it is proposed to use the indicator of the susceptibility of the vegetative vegetation index during the season (NDVI) to changes in the radiative temperature of the territory (LST), obtained from satellite data of the Terra/Aqua system. The indicator was calculated as the spectral response transfer function in the integral equation relating changes in NDVI and LST.

*The analysis was carried out for three experimental objects. In the first case, fir stands of the taiga zone of Krasnoyarsk Krai were studied. Those were territories that have been damaged by caterpillars of the Siberian silkmoth *Dendrolimus sibiricus* Tschetv since 2015 and adjacent undamaged areas. In the second case the object of the study*

* Работа поддержана грантом РФФИ 23-66-10015 (This work was supported by RSF grant 23-66-10015).

was mountain fir stands in the Ermakovsky District in the south of Krasnoyarsk Krai, damaged in 2013 by the black fir longhorned beetle *Monochamus urussovi* Fischer. Finally, the state of fir forests in the Birilyussky District of Krasnoyarsk Krai was examined in 2023, when no damage to the stands had yet been observed, but individuals of the Siberian silkmoth were found in pheromone traps.

It was shown that the indicator of plant susceptibility in the studied sample areas changed significantly 2–3 years before the outbreak of the pest. The proposed indicator can be used to predict outbreaks of insect pests.

Keywords: forest insects, assessment of the forest state, population outbreaks, ground-based remote sensing methods.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных факторов ослабления древостоев являются вспышки массового размножения насекомых. Значительные экономические и экологические потери при усыхании и гибели лесов при воздействии насекомых делают крайне важным оценку текущего состояния и устойчивости насаждений к атакам вредителей. Не менее важен краткосрочный прогноз ситуации на ближайшие годы. Однако наземные учеты численности вредителей и оценки риска возникновения вспышек массового размножения насекомых в лесах бореальной зоны крайне затруднительны в связи с гигантскими площадями лесов и труднодоступностью лесных территорий, а оценки по визуальным признакам (состоянию кроны, повреждениям стволов) появляются на поздних этапах повреждений, когда возможности управления состоянием этих насаждений становятся практически невозможными.

Единственной реальной возможностью оценки состояния насаждений на больших площадях (таких, как таежные территории) является использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В настоящий момент такие исследования используются в основном для определения нанесенного насекомыми ущерба. При этом одним из основных методов, используемых при анализе, является измерение различных вариантов вегетационного индекса растительности, основанного на разнице отражения красного и ближнего инфракрасного излучения [Tucker, Sellers 1986]. Вегетационный индекс NDVI позволяет оценить продуктивность и физиологические свойства растительной компоненты экосистемы [Liu et al., 2017; Rechid et al., 2009] и представляет собой спектральный индикатор фотосинтеза и интенсивности метаболизма растений [Bayarjargal et al., 2006; Cunha, Richter, 2014]. При изучении динамики вегетационных индексов растительного покрова рассматриваются как внутригодовые, так и межгодовые изменения, связанные с изменчивостью климата [Jacquin et al., 2010]. Данные ДЗЗ широко используются для картирования пространственной динамики уже реализовавшихся очагов вспышек насекомых [Liang et al., 2014; Senf et al., 2017; Verbesselt et al., 2012]. Основной целью таких исследований является оценка ущерба, нанесенного вспышкой, и расчет площади потери. Такой индекс достоверно и оперативно показывает деградацию кроны деревьев в ходе развития вспышки массового размножения насекомых. В то же время ослабление деревьев, уменьшение интенсивности защитных реакций и противодействия дерева нападению насекомых развивается в течение нескольких лет до начала резкого подъема численности вредителя, но

не регистрируется по показателям NDVI и попытки использовать данные дистанционного зондирования для оценки устойчивости лесных насаждений к внешним воздействиям не приводят к успеху [Spruce et al., 2011; Thayn, 2013; Olsson et al., 2016].

Однако разработка методов заблаговременной оценки устойчивости деревьев к нападению насекомых необходима, так как важно определить районы будущих вспышек насекомых, по крайней мере, за один или два сезона до начала повреждения. Такая информация может улучшить прогнозы будущих воздействий и позволит заблаговременно разработать эффективные профилактические меры по снижению потерь в насаждениях. В настоящей работе рассмотрена возможность использования оригинального метода обработки данных дистанционного зондирования для прогнозирования зон вспышек массового размножения лесных насекомых в лесах Сибири.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Анализ проводился для пихтовых насаждений таежной зоны в очаге массового размножения сибирского шелкопряда на территории Енисейского и Северо-Енисейского районов Красноярского края. Данная вспышка массового размножения реализовалась в 2015–2017 гг. В ходе вспышки вредитель повредил и уничтожил около 1 млн га леса. Реализация мер по пресечению вспышки обошлось краевому бюджету минимум в 300 млн рублей.

Рассматривались площадки, которые с 2015 г. повреждались гусеницами сибирского шелкопряда *Dendrolimis sibiricus* Tschetv. и соседние неповрежденные участки. На схеме на рис. 1 показано местоположение пробных площадок размером 250×250 м в пределах очага массового размножения сибирского шелкопряда (бассейн р. Енисей вблизи п. Усть-Пит, координаты 58.721310°N, 90.421236°E) и контрольных неповрежденных пробных площадей.

2. Также в качестве опытного объекта рассматривались пихтовые древостои горной тайги на юге Ермаковского района Красноярского края. Данные участки были значительно повреждены черным пихтовым усачем *Monochamus urussovi* Fischer. в 2013 г. (координаты 52.408660°N, 93.582923°E). Пробные площадки расположены на двух соседних поврежденных склонах гор, ближайшие склоны с неповрежденными насаждениями использовались в качестве контроля.

Необходимо учитывать, что сибирский шелкопряд является филлофагом и питается только хвоей, в то время как черный пихтовый усач – стволовой вредитель. Это накладывает определенные отличия в динамики ослабления древостоя этими видами насекомых-вредителей.



Рис. 1. Пробные площади:

- 1 – вблизи очага массового размножения сибирского шелкопряда (бассейн р. Енисей вблизи п. Усть-Пит);
- 2 – вблизи очагов массового размножения черного пихтового усача в Ермаковском районе;
- 3 – в пихтовых насаждениях в Бирилюсском районе Красноярского края

3. В 2023 г. на территории Бирилюсского района Красноярского края в феромонных ловушках в небольшом количестве были найдены особи самцов сибирского шелкопряда (56.9971 N, 91.5227 E). Эта находка поставила вопрос о возможностях развития в этой зоне вспышки массового размножения этого вредителя. Для оценки восприимчивости пихтовых насаждений на этой территории было проведено дистанционное зондирование на 10 выбранных пробных площадках размером 250×250 м. Пять пробных площадок в зоне А были выбраны непосредственно в зоне, где были расставлены феромонные ловушки, а пять других пробных площадок в зоне Б – на расстоянии около 7 км от зоны феромонного мониторинга.

МЕТОДЫ

В настоящей работе делается попытка перейти от количественных измерений биомассы растений по показателям абсолютных значений NDVI к оценке реакции фотосинтезирующего аппарата на изменения состояния окружающей среды. Входные и выходные параметры для такой модели могут быть получены одновременно по данным ДЗЗ и быть синхронизированы по времени и месту наблюдения.

На сегодняшний день существуют спутниковые комплексы, с использованием которых возможно получить оперативные данные о характеристиках окружающей среды на локальной площади. Ключевым факторами при выборе такой системы является периодичность получения данных ДЗЗ, достаточное пространственное разрешение, наличие необходимых спектральных, оптических и лидарных каналов передачи данных. В данной работе выбор был сделан в пользу спутников Terra/Aqua действующих в рамках программы NASA EOS (Earth Observing System). Оборудование этих двух спутников в достаточной степени дублируется, что позволяет восстанавливать получаемую информацию, убирая атмосферные помехи для одного из спутников. Исходные данные ДЗЗ со

спутников Terra/Aqua доступны для свободного скачивания на сервере NASA. Основным прибором сбора необходимой информации на спутнике является спектрорадиометр среднего разрешения MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer).

Вычленение необходимых показателей для выбранной координаты из сырых данных ДЗЗ представляет собой технически сложную ГИС-задачу. Для выбранных продуктов существует серверное программное решение Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples (AppEEARS) <https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appeears/>. В рамках запроса к базе данных указывается тип используемого продукта (исходный или расчетный показатель), набор координат мест наблюдения, временной период. Результат формируется также на сервере NASA и может быть скачен в виде текстового файла.

В качестве показателя, характеризующего состояние насаждений, в настоящей работе предложено использовать показатель восприимчивости вегетационного индекса растительность (NDVI) в течение сезона к изменению радиационной температуры территории (LST).

Для анализа были использованы следующие продукты системы Terra/Aqua:

- Продукты MOD11A1 и MYD11A1. Содержат информацию о температуре подстилающей поверхности LST. Данный показатель хорошо коррелирует с метеонаблюдениями о температуре воздуха. Наблюдения ежедневные. Пространственное разрешение 1×1 км.

- Исходные спектральные каналы `sur_refl_b01` (красный) и `sur_refl_b02` (ближний инфракрасный) для расчета вегетативного индекса NDVI, содержащиеся в продуктах MOD09Q1 и MYD09Q1. Они представляют собой восьмидневный композит (очищенные и селектированные данные за период в восемь дней). Пространственное разрешение – 250×250 метров.

Показатели NDVI успешно используются для различных оценок состояния и изменений в растительном покрове, поскольку значения NDVI связаны с фотосинтетически активным излучением. В данной работе показатель NDVI вычисляется по стандартной формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}, \quad (1)$$

где NIR и Red – нормализованные значения интенсивности отражения в ближнем инфракрасном и красном диапазонах спектра для данной точки земной поверхности (каналы sur_refl_b02 и sur_refl_b01 продуктов MOD09Q1 и MYD09Q1).

Поскольку рост и состояние кроны деревьев существенно зависит от изменений температуры окружающей среды, то анализ связей между NDVI и LST позволит оценить адаптивный ресурс деревьев в насаждении. В этом случае изменение NDVI можно рассматривать как некоторую функцию от изменений погодных условий и для отдельного года переменную LST можно рассматривать как входную в системе, а переменную NDVI – как выходную. Если предполагать, что выходной сигнал линейно зависит от входного, то эту связь можно записать через некоторый линейный оператор F :

$$NDVI = F(LST). \quad (2)$$

На оператор F можно наложить естественное условие причинности: значение $NDVI(t)$ в момент t будет зависеть только от значений $LST(t-\tau)$ в прошлые моменты времени $(t-\tau)$. Так как сезонная динамика $NDVI(t)$ и $LST(t)$ характеризуется наличием немонотонного нелинейного тренда, то для расчетов линейного оператора F следует перейти от рядов немонотонных переменных NDVI и LST к рядам первых разностей

$$\Delta NDVI(t) = NDVI(t) - NDVI(t-1)$$

и

$$\Delta LST(t) = LST(t) - LST(t-1),$$

и при описании связи между этими переменными учитывать возможное запаздывание отклика NDVI на изменение LST.

Рассмотрим кросс-корреляционную функцию Φ_{yx} , связывающую $\Delta NDVI(t)$ и $\Delta LST(t)$ [Ким, 2007; Краснова и др., 2007]:

$$\begin{aligned} \Phi_{yx} &= E[\Delta LST(t-\tau) \cdot \Delta NDVI(\tau)] = \\ &= E\left[\int_0^t h(\tau)x(t-\tau)x(t)d\tau\right], \end{aligned} \quad (3)$$

где E – оператор математического ожидания; y – $\Delta NDVI$; x – ΔLST .

Так как операции математического ожидания E и линейного преобразования F можно переставить, то можно записать [Макс, 1983; Морс, Фешбах, 1960]:

$$E\left[\int_0^t h(\tau)x(t-\tau)x(t)d\tau\right] =$$

$$= \int_0^t h(\tau)E[x(t)x(t-\tau)]d\tau = \int_0^t h(\tau)\Phi_{xx}d\tau, \quad (4)$$

где $h(\tau)$ – так называемая весовая функция (ядро интегрального уравнения (4), функция отклика); Φ_{xx} – автокорреляционная функция ΔLST .

Тогда из (3) и (4) получим:

$$\Phi_{yx} = \int_0^t h(\tau)\Phi_{xx}d\tau, \quad (5)$$

Так как временные ряды $\Delta NDVI$ и ΔLST в течение сезона известны, то по их значениям однозначно рассчитываются кросс- и автокорреляционные функции и в уравнении (5) неизвестна только весовая функция (функция отклика) $h(\tau)$, характеризующая восприимчивость NDVI к изменению LST.

Для нахождения функции отклика произведем фурье-преобразование FT левой и правой частей уравнения (5):

$$\begin{aligned} FT(\Phi_{yx}) &= FT\left(\int_0^t h(\tau)\Phi_{xx}d\tau\right) = \\ &= FT(h(\tau) \cdot FT(\Phi_{xx})) = H(f)FT(\Phi_{xx}), \end{aligned} \quad (6)$$

где $H(f) = FT(h(\tau))$.

Из (6) можно найти значение спектра $H(f)$ функции отклика:

$$H(f) = \frac{FT(\Phi_{yx})}{FT(\Phi_{xx})}. \quad (7)$$

Полученная спектральная функция $H(f)$ характеризует скорость и интенсивность воздействия погоды на состояние фотосинтетического аппарата древостоя. Типичный вид спектра функции отклика $H(f)$ представлен на рис. 2.

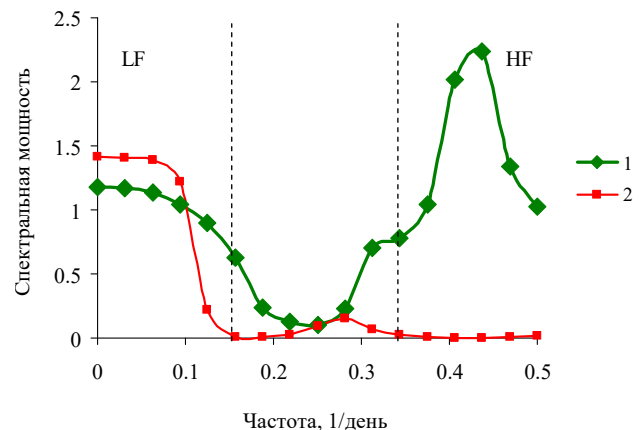


Рис. 2. Типичные виды спектра функции $H(f)$ отклика NDVI на изменение LST:

1 – контроль; 2 – год вспышки сибирского шелкопряда в Енисейском районе

Значение спектральной функции отклика $H(f_0)$ на некоторой частоте f характеризуют интенсивность и скорость $v = 1/f$ отклика NDVI на изменение LST. Составляющие спектра $H(f)$ на низких частотах (вблизи $f = 0$) характеризуют сильно инерционную реакцию

NDVI на изменение LST; составляющие спектра $H(f)$ на высоких частотах (вблизи $f = 0,5$) характеризуют быстрый отклик NDVI на изменение LST.

Спектральная мощность функции отклика в сезон t есть площадь под кривой спектра на рис. 2:

$$S(t) = \int_0^{0,5} H(f, t) df. \quad (8)$$

В дальнейшем анализе используются относительные мощности в низкочастотной (LF) составляющей ($0 < f < 0,16$ 1/день) и в высокочастотной (HF) составляющей ($0,35 < f < 0,5$ 1/день) спектра функции отклика $H(f)$;

$$LF(t) = \frac{\int_0^{0,16} H(f, t) df}{S(t)}; \quad HF(t) = \frac{\int_{0,35}^{0,50} H(f, t) df}{S(t)}. \quad (9)$$

Пары значений сравниваются для поврежденных и контрольных насаждений.

Для автоматизированного расчета спектральной функции отклика в течение сезона использовалась оригинальная программа расчета. Программа представляет собой автономную оболочку, исполняемую под операционной системой Windows. В качестве входных данных в программу вводятся временные ряды индексов NDVI и LST. Предварительная подготовка данных требует исправления возможных ошибок и коррекции метеорологических помех (облачности и др. эффектов) наблюдения методом сглаживания по соседним значениям. В программе также убираются из расчета зимние наблюдения, не относящиеся к вегетативному периоду. Результат расчета представляется в виде набора дискретных значений спектральной функции отклика $H(f)$ в диапазоне частот $f = 0 - 0,5$ 1/день для каждого года наблюдения. Далее по этим данным вычисляются относительные значения низко- и высокочастотных составляющих $LF(t)$ и $HF(t)$ спектра функции отклика.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сезонные данные NDVI и LST в 2009–2019 гг. были собраны для 7 поврежденных пробных площадках и 8 контрольных неповрежденных пробных площадках) для территории, поврежденной в 2015 г. сибирским шелкопрядом. В очаге черного пихтового усача 2013 г. измерялись показатели с 16 пробных и 16 контрольных площадок. Для повышения точности измерений на каждой площади рассматривалось 6 участков 250×250 м, что соответствует минимальному пространственному разрешению системы AQUA/MODIS для выбранных спектральных каналов.

Насколько величины NDVI в течение сезона характеризуют состояние насаждений? Для поврежденных и контрольных пробных площадей были вычислены средние значения фотосинтетического индекса в течение сезона:

$$SNDVI = \frac{1}{t_c - t_0} \int_{t_0}^{t_c} NDVI(t) dt. \quad (10)$$

где t_0 и t_c – начальный и конечный моменты сезона.

Полученные данные NDVI и LST усреднялись для поврежденных и контрольных участков. На рис. 3 приведены средние сезонные значения NDVI для очагов и контроля.

Как видно из рис. 3, до начала вспышки (2015 г.) значимых различий NDVI деревьев в будущих очагах массового размножения и в контрольных неповрежденных насаждениях не наблюдалось. Только после повреждений хвои вредителями такие различия появились. Таким образом, по суммарным показателям NDVI не удастся получить заблаговременную оценку рисков нападения насекомых на насаждения.

Далее рассмотрим возможность использования для заблаговременной оценки рисков нападения вредителей на насаждения спектральных функций отклика из уравнения (8). Для сопоставления спектральных функций отклика поврежденных и неповрежденных пробных площадей удобно «свернуть» эту функцию и представить ее в виде двух параметров, характеризующих относительные мощности спектра в LF и HF-диапазонах.

На рис. 4 приведены средние по всем поврежденным и контрольным участкам значения LF-и HF-составляющих в разные годы.

Из рис. 4 видно, что за 4–9 лет до начала повреждений (2015 г.) характеристики спектра функций отклика в насаждениях, в будущем поврежденных, были близки к характеристикам спектров функций отклика контрольных неповрежденных насаждений. Непосредственно перед началом повреждений наблюдались отклонения параметров спектра функции отклика насаждений в будущих очагах массового размножения сибирского шелкопряда от характеристик спектров функций отклика в контрольных насаждениях. После повреждения древостоя насекомыми в 2015–2016 гг. показателя спектров функций отклика существенно упали по отношению к контролю.

Аналогичные расчеты были проделаны для очагов черного пихтового усача и контрольных неповрежденных насаждений в районе Ергаков (рис. 5).

Представленные на рис. 5 показатели LF и HF для территории, поврежденной черным пихтовым усачем, качественно схожи с аналогичными данными для очагов сибирского шелкопряда: характеристики спектров функций отклика у насаждений, которые затем будут повреждены вредителями, за 3 года до начала вспышки не отклоняются от характеристик в контроле, за 2 года до начала видимых повреждений деревьев наблюдается сдвиги LF- и HF-показателей, которые остаются такими же в год начала видимых повреждений, на следующий год после начала вспышки черного пихтового усача, точно так же, как и при вспышке сибирского шелкопряда, наблюдается резкий сдвиг в сторону более высоких значений LF-показателей и уменьшения HF-параметра.

Можно ли говорить о прогнозе вспышек массового размножения еще до начала видимых повреждений деревьев? Для анализа возможности такого прогноза по дистанционным характеристикам, и в частности, по параметрам спектра функций отклика, рассмотрим данные для пихтовых насаждений в Бирилюском районе Красноярского края.

Насаждения на территории Бирилюсского района к настоящему времени не повреждались насекомыми, однако в связи с обнаружением имаго сибирского шелкопряда в феромонных ловушках эти территории рассматриваются как зоны возможного риска вспышек вредителя. Для оценки состояния насаждений были выбраны насаждения в двух зонах. Зона А включала 5 пробных площадок вблизи точек, где были установлены феромонные ловушки, зона Б вклю-

чала 5 пробных площадок на расстоянии примерно 5 км от зоны А. Точно так же, как и для описанных выше вспышек сибирского шелкопряда в Енисейском районе и черного пихтового усача в Ергаках был проведен анализ дистанционных данных в зонах А и Б на территории Бирилюсского района с 2014 по 2023 гг. На рис. 6 приведены расчеты средних характеристик спектров функций отклика для насаждений в этих зонах в 2014–2023 гг.

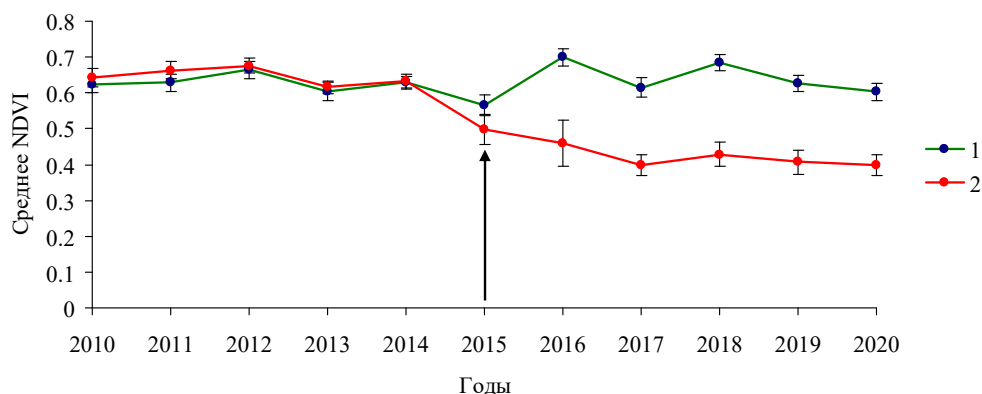


Рис. 3. Динамика средних сезонных значений NDVI в контрольных насаждениях (1) и в очагах массового размножения сибирского шелкопряда (2). Стрелка – год начала вспышки

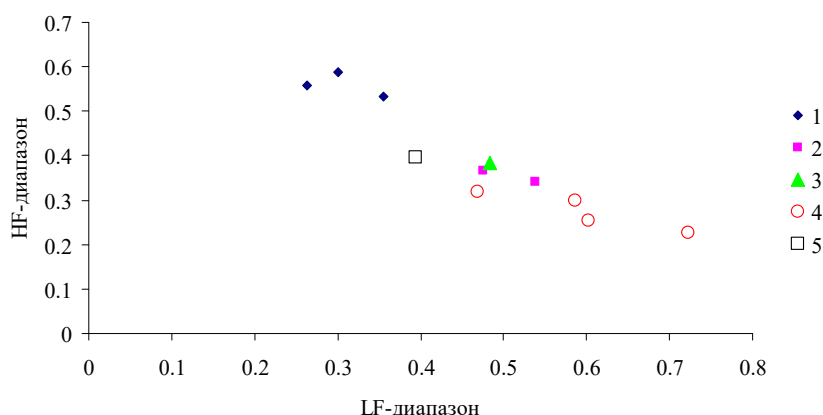


Рис. 4. LF-и HF- составляющих поврежденных и контрольных участков в разные годы: 1 – за 5 лет до начала видимых повреждений крон деревьев вредителями; 2 – за 1–2 года до начала повреждений; 3 – в год начала видимых повреждений крон; 4 – в течение 4 лет после начала вспышки; 5 – контрольные неповрежденные насаждения за год до начала вспышки

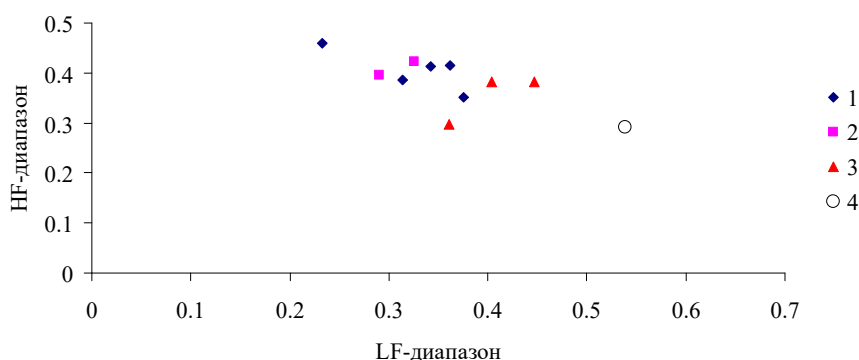


Рис. 5. Показатели LF и HF спектральных функций отклика для территории, поврежденной черным пихтовым усачем, и неповрежденных насаждений: 1 – контрольные насаждения за все годы до и после начала вспышки; 2 – насаждения в зоне вспышки за 3–4 года до начала вспышки (2009–2010 гг.); 3 – насаждения в зоне вспышки за 1–2 года до начала вспышки и в год изменения окраски крон деревьев при повреждении их жуками (2013 г.); 4 – насаждения в зоне вспышки в 2014 г.

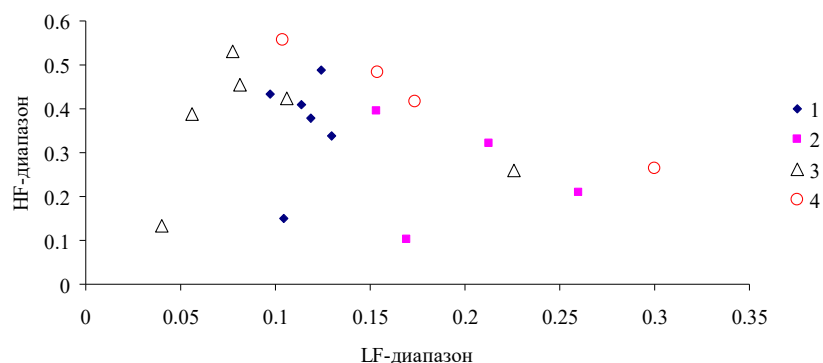


Рис. 6. Значения LF и HF-составляющих для пробных участков зон А и Б:

1 – зона А, 2014–2019 гг.; 2 – зона А, 2020–2023 гг.; 3 – зона Б, 2014–2019 гг.; 4 – зона Б, 2020–2023 гг.

Как видно из рис. 6, для пробных площадей в зоне А характерны значительные различия между характеристиками спектров функций отклика в 2014–2019 гг. и в 2020–2023 гг. Для пробных площадей в зоне Б такие различия менее выражены. При этом значимых различий характеристик спектров функций отклика пробных площадей в зонах А и Б в 2014–2019 гг. не наблюдается.

ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из сравнения рис. 4 и 5, в годы, непосредственно предшествующие началу вспышки массового размножения вредителей, и в период повреждений насаждений вредителями, характеристики спектра функций отклика NDVI в ответ на изменение LST отличаются от соответствующих характеристик LF и HF насаждений в периоды времени задолго до начала вспышки. После повреждений насаждений величины LF растут, а значения HF падают, то есть реакция характеристик фотосинтетического аппарата становится более медленной по сравнению с реакцией NDVI задолго до начала вспышки. Величины же HF, напротив, падают в процессе повреждения деревьев насекомыми. Непосредственно перед началом вспышки значения LF и HF достигает промежуточных значений между величинами этих характеристик до начала вспышки и после повреждений вредителями. Таким образом, можно полагать, что сдвиги характеристик спектра функций отклика могут использоваться в качестве индикаторов изменения состояния насаждений и его реакции на внешние воздействия. Если за 3–4 года до начала вспышки величины LF насаждений находятся вблизи значения $LF = 0,3$, а величины HF – вблизи значения $HF = 0,6$, то за год – два до начала вспышки эти значения сдвигаются к величинам $LF = 0,45$ и $HF = 0,40$.

Подобные же изменения характеристик спектра функций отклика наблюдаются и для пихтовых насаждений, еще не поврежденных сибирским шелкопрядом, но уже классифицируемых как находящиеся в зоне риска вспышки в связи с регистрацией самцов вредителя с помощью феромонных ловушек. Если в 2014–2019 гг. характеристики спектров функций отклика находились в области значений $LF \approx 0,1$ и $HF \approx 0,5$, то в 2020–2023 гг. эти значения сдвинулись в область с $LF \approx 0,2$ и $HF \approx 0,4$. Дальнейшие исследования, по-видимому, позволят оценить риск возникновения вспышки сибирского шелкопряда в этом районе. Заметим, что для оценок характеристик спектров функций

отклика нам понадобился день работы на компьютере без выезда в лес, так что рассматриваемые показатели возможно использовать для предварительных оценок восприимчивости насаждений к атакам вредителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что восприимчивость характеристик фотосинтетического аппарата дерева к изменению температуры среды в течение сезона может быть описана интегральным уравнением свертки и рассчитана по данным дистанционного зондирования. Это открывает возможность оценок таких показателей для любого участка планеты, покрытого растительностью. Для лесных насаждений Сибири показано, что за несколько лет до успешной атаки насекомых реакция древостоя, в будущем подвергшегося нападению вредителей, в ответ на изменение окружающей среды (в данном случае – температуры подстилающей поверхности) качественно изменяется. Предложенные расчетные показатели непосредственно перед вспышкой массового размножения лесных насекомых существенно отличаются от аналогичных показателей предшествующих лет. Используя предложенную методику оценки устойчивости насаждений, можно прогнозировать реализацию вспышки размножения насекомых на определенной территории и оптимизировать лесозащитные мероприятия. Как было сказано ранее, подобные прогнозы не могут быть получены по абсолютным показателям вегетативного состояния древостоев NDVI.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т. 2. М. : Физматлит, 2007. 440 с.
- Краснов М. Л., Киселев А. И., Макаренко Г. И. Интегральные уравнения. М. : КомКнига, 2007. 192 с.
- Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. М. : Мир, 1983. Т. 1. 312 с.
- Морс Ф. М., Фешбах Г. Методы теоретической физики. М. : ИЛ, 1960. Т. 2. 942 с.
- Общедоступная база данных спутниковых систем MODIS [Электронный ресурс]. URL: <http://modis.gsfc.nasa.gov> [Public database of MODIS satellite systems].
- Bayarjargal Y., Karnieli A., Bayasgalan M., Khudumur S., Gandush C., Tucker C. J., 2006. A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis // Int. J. Remote Sens. 105 (1), 9–22.

- Cunha, M., Richter, C., 2014. A time-frequency analysis on the impact of climate variability with focus on semi-natural montane grassland meadows // *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 52 (10), 6156–6164.
- Jacquin, A., Sheeren, D., & Lacombe, J.-P. (2010). Vegetation cover degradation assessment in Madagascar savanna based on trend analysis of MODIS NDVI time series. // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, S3–S10.
- Lewis M. A., Nelson W., Xu C. A structured threshold model for mountain pine beetle outbreak // *Bull. Math. Biol.* 2010.72, 565–589.
- Liang L., Chen Y., Hawbaker T., Zhu Z., Gong P. Mapping mountain pine beetle mortality through growth trend analysis of time-series landsat data // *Remote Sens.* 2014. 6, 5696–5716.
- Liu Yan, Hill Michael J., Zhang Xiaoyang, Wang Zhuosen, Richardson Andrew D., Hufkens Koen, Filippa Gianluca, Baldocchi Dennis D., Ma Siyan, Verfaillie Joseph, Schaaf Crystal B. Using data from Landsat, MODIS, VIIRS and Pheno Cams to monitor the phenology of California oak/grass savanna and open grassland across spatial scales // *Agricultural and Forest Meteorology*, 237–238 (2017), 311–325.
- Olsson P. O., Lindstrom J., Eldundh L. Near real-time monitoring of insect induced defoliation in subalpine birch forests with MODIS derived NDVI // *Remote Sens. Environ.* 2016. 181, 42–53.
- Rechid D., Raddatz T. J., Jacob D., 2009. Parameterization of snow-free land surface albedo as a function of vegetation phenology based on MODIS data and applied in climate modelling // *Theor. Appl. Climatol.* 95, 245–255.
- Senf C., Seidl R., Hostert P. Remote sensing of forest insect disturbances: Current state and future directions // *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*. 2017. 60. 49–60.
- Spruce J. P., Sader S., Ryan R. E., Smoot J., Kuper P., Ross, K., Prados D., Russell J., Gasser G., McKellip R., 2011. Assessment of MODIS NDVI time series data products for detecting forest defoliation by gypsy moth outbreaks // *Remote Sens. Environ.* 115, 427–437.
- Thayn J. B. Using a remotely sensed optimized Disturbance Index to detect insect defoliation in the Apostle Islands, Wisconsin, USA // *Remote Sens. Environ.* 2013. 136, 210–217.
- Tucker C. J., Sellers P. J. Satellite remote sensing of primary production // *Int. J. Remote Sens.* 1986, 7, 1395–1416.
- Verbesselt J., Zeileis A., Herold M. Near real-time disturbance detection using satellite image time series // *Remote Sens. Environ.* 2012. 123, 98–108.
- Obshchedostupnaya baza dannykh sputnikovykh sistem MODIS [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://modis.gsfc.nasa.gov>. [Public database of MODIS satellite systems].
- Bayarjargal, Y., Karnieli, A., Bayasgalan, M., Khudumur, S., Gandush, C., Tucker, C.J., 2006. A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis // *Int. J. Remote Sens.* 105 (1), 9–22.
- Cunha, M., Richter, C., 2014. A time-frequency analysis on the impact of climate variability with focus on semi-natural montane grassland meadows // *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 52 (10), 6156–6164.
- Jacquin, A., Sheeren, D., & Lacombe, J.-P. (2010). Vegetation cover degradation assessment in Madagascar savanna based on trend analysis of MODIS NDVI time series // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, S3–S10.
- Lewis M. A., Nelson W., Xu C. A structured threshold model for mountain pine beetle outbreak // *Bull. Math. Biol.* 2010. 72, 565–589.
- Liang L., Chen Y., Hawbaker T., Zhu Z., Gong P. Mapping mountain pine beetle mortality through growth trend analysis of time-series landsat data // *Remote Sens.* 2014. 6, 5696–5716.
- Liu Yan, Hill Michael J., Zhang Xiaoyang, Wang Zhuosen, Richardson Andrew D., Hufkens Koen, Filippa Gianluca, Baldocchi Dennis D., Ma Siyan, Verfaillie Joseph, Schaaf Crystal B. Using data from Landsat, MODIS, VIIRS and Pheno Cams to monitor the phenology of California oak/grass savanna and open grassland across spatial scales // *Agricultural and Forest Meteorology*, 237–238 (2017), 311–325.
- Olsson P. O., Lindstrom J., Eldundh L. Near real-time monitoring of insect induced defoliation in subalpine birch forests with MODIS derived NDVI // *Remote Sens. Environ.* 2016. 181, 42–53.
- Rechid, D., Raddatz, T. J., Jacob, D., 2009. Parameterization of snow-free land surface albedo as a function of vegetation phenology based on MODIS data and applied in climate modelling // *Theor. Appl. Climatol.* 95, 245–255.
- Senf C., Seidl R., Hostert P. Remote sensing of forest insect disturbances: Current state and future directions // *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*. 2017. 60. 49–60.
- Spruce, J. P., Sader, S., Ryan, R. E., Smoot, J., Kuper, P., Ross, K., Prados, D., Russell, J., Gasser, G., McKellip, R., 2011. Assessment of MODIS NDVI time series data products for detecting forest defoliation by gypsy moth outbreaks // *Remote Sens. Environ.* 115, 427–437.
- Thayn J. B. Using a remotely sensed optimized Disturbance Index to detect insect defoliation in the Apostle Islands, Wisconsin, USA // *Remote Sens. Environ.* 2013. 136, 210–217.
- Tucker C. J., Sellers P. J. Satellite remote sensing of primary production // *Int. J. Remote Sens.* 1986, 7, 1395–1416.
- Verbesselt J., Zeileis A., Herold M. Near real-time disturbance detection using satellite image time series // *Remote Sens. Environ.* 2012. 123, 98–108.

REFERENCES

- Kim D. P. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya*. T. 2. M. : Fizmatlit, 2007. 440 s.
- Krasnov M. L., Kiselev A. I., Makarenko G. I. *Integral'nyye uravneniya*. M. : KomKniga, 2007. 192 s.
- Maks Zh. *Metody i tekhnika obrabotki signalov pri fizicheskikh izmereniyakh*. M. : Mir, 1983. T. 1. 312 s.
- Mors F. M., Feshbakh G. *Metody teoreticheskoy fiziki*. M. : IL, 1960. T. 2. 942 s.

© Суховольский В. Г., Ковалев А. В.,
Астапенко С. А., 2024

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫРАЩИВАНИЯ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ (*PINUS SIBIRICA DU TOUR*) В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА*

Н. П. Браилова, Ю. Е. Щерба, А. В. Мантулина, Д. А. Коновалова

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

В статье рассматривается перспективность выращивания сосны кедровой сибирской в условиях Крайнего Севера России – одного из приоритетных регионов для освоения, восстановления и развития. В условиях изменения климата вопросы лесовосстановления и лесоразведения на Крайнем Севере являются актуальными, в том числе в связи с комплексом негативных факторов среды, включая специфические для данного региона. Отмечается уникальная экологическая значимость Крайнего Севера и в вопросах секвестрации углерода. Высокая ценность в лесном хозяйстве Российской Федерации позволяет авторам рассматривать сосну кедровую сибирскую в качестве перспективного вида для выращивания в условиях интродукции, на территориях, выходящих за пределы северной границы ареала. Выделяет данный вид и его обширный ареал произрастания, который заходит на территорию Крайнего Севера что, в том числе, обеспечивает генетическое разнообразие северными и субальпийскими климатипами. Авторами предлагается рассматривать перспективность выращивания сосны кедровой сибирской на Крайнем Севере с учетом использования близких климатипов для размножения. В статье приводятся гипотезы об успешной акклиматизации и получении посадочного материала, отличающегося повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам Крайнего Севера России при выращивании с применением инновационных технологий и селекционных методов.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, селекционный посадочный материал, интродукция, Крайний Север.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 2, P. 38–44

PROSPECTS OF GROWING SIBERIAN CEDAR PINE (*PINUS SIBIRICA DU TOUR*) IN THE CONDITIONS OF THE FAR NORTH

N. P. Bratilova, Yu. E. Shcherba, A. V. Mantulina, D. A. Konovalova

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

The article considers the prospects of growing Siberian cedar pine in the conditions of the Far North of Russia, which is one of the priority regions for exploration, restoration and development. In the context of climate change, the issues of reforestation and afforestation in the Far North are relevant, among them in connection with a complex of negative environmental factors, including those specific to this region. The unique ecological significance of the Far North in the issues of carbon sequestration is also noted. The high value in the forestry of the Russian Federation allows the authors to consider Siberian cedar pine as a promising species for cultivation in conditions of introduction, in territories beyond the northern boundary of the range. This species is distinguished by its extensive habitat, which enters the territory of the Far North, which, among other things, provides the genetic diversity of the species with northern and subalpine ecotypes. The authors propose to consider the prospects of growing Siberian cedar pine in the Far North, taking into account the use of close ecotypes as maternal forms for reproduction. The article presents hypotheses about successful acclimatization and successful production of improved planting material, characterized by a set of indicators of increased resistance to adverse factors in the Far North of Russia because of using innovative technologies and breeding methods.

Keywords: *Pinus sibirica Du Tour*, breeding planting material, introduction, the Far North.

* Работа выполнена при поддержке «Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках реализации проекта «Разработка научно-методических рекомендаций по выращиванию посадочного материала сосны кедровой сибирской с учетом региональных особенностей Крайнего Севера» по договору от 21.12.2023 г. № 696.

Крайний Север – часть территории России, располагающая мощной сырьевой базой [49] и представляющей большой интерес для освоения ее природных богатств ещё с конца XVII века [26]. В 2022 г. вступило в силу Постановление Правительства РФ, где был утвержден обновленный перечень районов Крайнего Севера, в который входят острова Северного Ледовитого океана, Берингова и Охотского морей, все территории Республики Саха, Камчатского края, Магаданской и Мурманской областей, Ненецкого, Чукотского и Ямало-Ненецкого автономных округов, часть Ханты-Мансийского автономного округа, а также ряд округов и районов республик Карелии, Коми, Тывы, Красноярского и Хабаровского краев, Архангельской, Иркутской и Сахалинской областей [36].

В настоящее время регион Крайнего Севера является одним из приоритетных для всестороннего изучения и освоения [4; 27; 37; 49]. Значительная часть его территорий нуждается в биологической рекультивации [5; 42]. Большое внимание уделяется вопросам озеленения населенных пунктов северных регионов [3; 14; 21; 41; 43]. Также, в связи с прогнозируемым потеплением климата целесообразно рассматривать данный регион перспективным для лесоразведения с использованием современных знаний и методов лесной селекции и лесокультурного производства [29; 46; 48].

Климат Крайнего Севера сформирован под влиянием основных взаимодействующих факторов: солнечного света и тепла; движения воздушных масс; вертикального обмена теплом и влагой в атмосфере, подстилающей поверхности и между ними [15]. По мнению В. И. Турчинского [44] все факторы, действующие в северном регионе, делятся на две группы: неспецифические (встречающиеся и на других территориях), такие как низкая температура воздуха, низкая абсолютная и высокая относительная влажность воздуха, сильные ветра, и специфические: изменения фотопериодизма (короткий световой день зимой и длинный световой день в летний период), особенности электромагнитной природы и колебания атмосферного давления. [15].

А. Б. Гудков и др. [16], ссылаясь на работу В. П. Чащина и др. [47] и результаты своих исследований, выделяют такие природно-климатические факторы северных регионов, вредные для здоровья человека, как низкие температуры воздуха и поверхности земли, низкая абсолютная влажность воздуха; высокая ветровая нагрузка и инфразвуковое давление; дефицит солнечной инсоляции; длительный период задержания снежного покрова и др. К неблагоприятным факторам среды Крайнего Севера относят, помимо перечисленных, также наличие вечной мерзлоты и повышенную сейсмическую опасность, характерную для устья р. Лены, республики Саха и Магаданской области [15].

Описанные исследователями [15; 16; 47] факторы северных регионов, вредные для здоровья человека, оказывают негативное воздействие и на растительность. Дополнительно следует учитывать, что территория Крайнего Севера располагается в зоне вечной мерзлоты, где плодородный горизонт почвы представлен незначительным слоем, что приводит к развитию

поверхностной корневой системы у деревьев [43; 49]. Н. Г. Соломонов [38] отмечает слабую устойчивость северных экосистем к воздействию внешних факторов, что необходимо учитывать при разработке системы лесокультурных мероприятий [10]. Ряд исследователей рекомендуют проводить мелиоративные мероприятия на северных заболоченных почвах [18]. А. А. Вайс и др. отмечают, что на северной границе ареала видов (на примере сосны обыкновенной) большое влияние на рост оказывают такие показатели, как полнота древостоев, уровень разновозрастности и степень смешения породного состава деревьев [13].

Лесные растения районов Крайнего Севера имеют огромную экологическую значимость, участвуют в поглощении углекислого газа и выделении кислорода, формировании углеродного пула, сдерживают процесс заболачивания территории и др. [7; 8; 27]. Большое внимание продвижению древесной растительности в тундру уделил в своих работах В. Н. Андреев [1; 2]. По мнению А. М. Данченко и др. [17], на Крайнем Севере чаще встречаются смешанные листовечно-елово-кедровые редколесья. Большая приспособляемость сосны кедровой сибирской к экологическим условиям способствует ее произрастанию в широком диапазоне лесорастительных условий: от лесотундры до лесостепи [17]. В. А. Усольцев и др. [45] считают, что к теплу данный биологический вид не требователен, однако на северной границе ареала растет на более сухих, дренированных склонах с низким залеганием вечной мерзлоты.

Северная граница ареала сосны кедровой сибирской проходит к востоку от Приполярного Урала вплоть до низовий Енисея (68°30' с. ш.), приблизительно по Полярному кругу и затем, несколько снижаясь, направляется к верхнему течению Алдана (127° в.д.). [6; 9; 19; 39; 40].

Е. А. Петрова и др. [34], изучая генетическое разнообразие сосны кедровой сибирской, предположили, что экотипы, произрастающие на севере ареала (на примере Ямало-Ненецкого АО, на широте от 64°40' до 65°50' и долготы 77°41' и 78°10' соответственно), объединены в один кластер дендрограммы с западным экотипом, расположенным на широте 57°15' и долготы 60°01', в связи с их происхождением из отдаленного постледникового очага расселения флоры.

Е. Г. Парамонов, оценивая перспективы искусственного лесовосстановления на северной границе распространения сосны кедровой сибирской и в субальпийском подпорье в горных условиях, описывал, что для деревьев в этих условиях характерны низко опущенная крона, суковатость и небольшая высота [28]. Н. П. Мишуков отмечал, что сосна кедровая сибирская проявляет избирательную способность к условиям среды по мере продвижения на север, произрастая на южных склонах, песчаных и супесчаных почвах. Основной причиной ограничения северной границы ареала этого вида он считал недостаточное вызревание семян [25]. Встречается мнение, что ограничение распространения сосны кедровой сибирской может быть связано не только с климатическими факторами, но и с лимитированным распространением на севере кедровых семян кедровкой [22].

По мнению ряда ученых, сосна кедровая сибирская может расти и за пределами своего естественного ареала [14; 19; 20; 21; 35].

Большое внимание уделяется её росту севернее границы основного ареала – на участках островного произрастания – в исследованиях В. В. Пахучего и др. [30; 33]. Л. М. Пахучая отмечала влияние осушения на рост и естественное возобновление сосны кедровой сибирской [31; 32]. Л. Г. Исаева и др. [20] писали, что впервые сосна кедровая сибирская была обнаружена в Заполярье в 1911 г., ссылаясь на работу Р. К. Пойе [35]. Затем, в 1926 г. кедровые деревья были найдены в окрестностях г. Колы [20].

Л. А. Казаков писал, что в полярно-альпийском ботаническом саду были испытаны представители сосны кедровой сибирской. При этом выращивались сеянцы в питомниках, пересаживались дички из северных районов Сибири и проводились прививки на местный вид сосны – сосну Фриза. Отмечалось, что данный биологический вид при интродукции в северные регионы редко повреждался при перезимовке и был устойчив к грибным болезням [21].

В середине XX века сосна кедровая сибирская была высажена в Мурманской области в качестве интродукта на территории 500 га. В настоящее время деревья отличаются удовлетворительным ростом и семеношением в условиях интродукции. Исследуя 77–78-летние деревья сосны кедровой сибирской в мурманском Заполярье, было установлено их удовлетворительное состояние, однако у части экземпляров отмечались морозобойные трещины ствола. Часть деревьев вступили в пору семеношения. По мнению Л. Г. Исаевой и др., кедровые семена в условиях Крайнего Севера могут прорасти спустя десятки лет нахождения в почве [20].

М. Н. Чипизубова, разрабатывая дендроинтродукционное районирование для территории крайнего северо-востока России, указывала, что сосну кедровую сибирскую целесообразно вводить в качестве интродукта для области чукотских тундр и лесных островов, подобласти ультрабореальных пород резко континентального климата; для подобласти арктомонтанных стлаников Чукотки, по ее мнению, перспективно проводить географические испытания северных популяций сосны кедровой сибирской в урочищах с оптимальным микроклиматом [48].

Для озеленения населенных территорий Крайнего Севера ряд исследователей в качестве перспективных считают сосну кедровую сибирскую [14; 21; 24; 43]. О. Б. Гонтарь и др. писали об удачной интродукции данного вида на территории Мурманской области, указывая его очень высокую морозостойкость, достаточную газо- и дымоустойчивость. В качестве факторов, которые могут оказать негативное воздействие на рост и жизнеспособность кедровых деревьев, отмечали заражение хермесом при выращивании вблизи основных насаждений [14].

На основании аналитического обзора и многолетних результатов исследований за ростом и семеношением потомств сосны кедровой сибирской разного географического происхождения [11; 12; 23] можно прогнозировать успешную интродукцию данного

биологического вида севернее границы его естественного ареала при соблюдении ряда условий:

- подбирать климатипы, произрастающие в естественных природных условиях, приближенных к условиям территорий будущего выращивания;
- использовать для интродукции потомство экземпляров, отличающихся внутри отобранного климатипа наибольшей устойчивостью к неблагоприятным факторам;
- использовать посадочный материал сосны кедровой сибирской, выращенный с закрытой корневой системой, для нивелирования отрицательного воздействия почвенных условий до его акклиматизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреев В. Н. Залесение лесом тундры в современную эпоху // Растительность Крайнего Севера и его освоение. М., 1956. Вып. 1. С. 27–45.
2. Андреев В. Н. Продвижение древесной растительности в тундру в связи с защитными свойствами лесопосадок на Севере // Ботанический журнал. 1954. Т. 39, № 1. С. 28–47.
3. Бабич Н. А., Залывская О. С., Травникова Г. И. Интродукты в зелёном строительстве северных городов : монография. Архангельск : Арханг. гос. ун-т, 2008. 144 с.
4. Бардин М. Ю., Липка О. Н. Возможные критерии отнесения территории РФ к районам Крайнего Севера и приравненным к ним (физико-географический и климатический аспекты) // ЭММЭ, 2021. Т. XXXII. № 1-2. С. 130–140.
5. Башкин В. Н., Галиулин Р. В. Контроль эффективности рекультивации нарушенных тундровых почв на Тазовском полуострове // Агрохимия, 2020. № 3. С. 70–75.
6. Бех И. А., Данченко А. М. Библиографический указатель отечественной литературы по кедровым соснам за 1959–2011 гг. 2-е изд., доп. Томск : Томский государственный университет, 2012. 248 с.
7. Бобкова К. С., Кузнецов М. А., Кутявин И. Н., Манов А. В., Осипов А. Ф., Тужилкина В. В. Защитные леса лесного фонда Республики Коми: фитоцено- тическое разнообразие, продуктивность, средозащитные функции // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера : VI Всерос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием), 2018. Сыктывкар. Ч. 2. С. 196–201.
8. Бобкова К. С., Тужилкина В. В. Фитоцено- тическое разнообразие, защитные функции притундровых лесов Печорского бассейна // Биоразнообразие экосистем крайнего севера: инвентаризация, мониторинг, охрана : матер. III Всерос. науч. конф. Сыктывкар : Изд-во ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2017. С. 5–10.
9. Бобров Е. Г. Лесообразующие хвойные СССР. Л. : Наука, 1978. 188 с.
10. Бойченко А. М., Исаев А. П. Вопросы восстановления притундровых лесов вблизи северной границы их распространения в Якутии // ИВУЗ Лесной журнал. 1992. № 4. С. 33–37.
11. Братилова Н. П., Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф., Щерба Ю. Е., Кичильдеев А. Г., Комарницкий В. В. Особенности роста семенного потомства отселекти-

рованных по урожайности клонов сосны кедровой сибирской разного географического происхождения в условиях юга Средней Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2016. Т. 34, № 5-6. С. 294–297.

12. Братилов Н. П., Коротков А. А., Коновалова Д. А. Влияние субстрата на рост и развитие сеянцев сосны кедровой сибирской с закрытой корневой системой // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. 40. № 5. С. 347–352.

13. Вайс А. А., Козлов Н. В. Рост и развитие сосняков на северной границе произрастания Красноярского края // Хвойные бореальной зоны, 2023. Т. XLI, № 3. С. 218–223.

14. Гонтарь О. Б., Жиров В. К., Казаков Л. А., Святковская Е. А., Тростенюк Н. Н. Зеленое строительство в городах Мурманской области. Апатиты : Кольск. НЦ РАН, 2010. 292 с.

15. Гудков А. Б., Попова О. Н., Лукманова Н. Б. Эколого-физиологическая характеристика климатических факторов Севера обзор литературы // Экология человека, 2012. № 1. С. 12–17.

16. Гудков А. Б., Попова О. Н., Небученных А. А., Богданов М. Ю. Эколого-физиологическая характеристика климатических факторов Арктики. Обзор литературы // Морская медицина, 2017. Т. 3. № 1. С. 7–13.

17. Данченко А. М., Данченко М. А., Мясников А. Г., Бех И. А. Кедр России. Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2016. 300 с.

18. Зарубина Л. В., Хамитов Р. С. Сезонный рост сосны обыкновенной на заболоченных почвах Севера // Изв. вузов. Лесной журнал, 2021. № 3. С. 86–100.

19. Игнатенко М. М. Сибирский кедр (биология, интродукция, культура). М. : Наука, 1988. 160 с.

20. Исаева Л. Г., Ершов В. В., Урбанавичюс Г. П., Боровичев Е. А. Интродукция кедра и лиственницы в условиях Кольского Заполярья // ИВУЗ. Лесной журнал, 2023. № 4(394). С. 41–57.

21. Казаков Л. А. Интродукция хвойных в Субарктику. СПб. : Наука, 1993. 145 с.

22. Кедровые леса Сибири / И. В. Семечкин, Н. П. Поликарпов, А. И. Ирошников и др. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1985. 257 с.

23. Матвеева Р. Н., Братилов Н. П., Буторова О. Ф., Шерба Ю. Е. Особенности роста кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) разного географического происхождения за 30-летний период (юг Средней Сибири) // Международные научные исследования. 2017. № 3 (32). С. 379–381.

24. Михайленко Е. В. Проблемы применения деревьев хвойных пород в озеленении городов // Современные проблемы развития европейского севера : матер. Всерос. науч.-практ. конф. Ухта : Ухтинский гос. техн. ун-т, 2023. С. 162–165.

25. Мишуков Н. П. Кедр сибирский на северном пределе распространения в бассейне Пура и Таза // Природа тайги Западной Сибири. Новосибирск : Наука, 1973. С. 22–37.

26. Науменко О. Н. История Петровской эпохи на Крайнем Севере в условиях климатических изменений и космической погоды конца XVII – начала XVIII вв. // Научные исследования в условиях современных трендов. 2021. С. 105–115.

27. Осипов А. Ф., Манов А. В. Пул углерода фитомассы лесов, предлагаемых для включения в заказник «Чернореченский» (крайнесеверная тайга) // Биоразнообразие экосистем крайнего севера: инвентаризация, мониторинг, охрана : матер. III Всерос. науч. конф. Сыктывкар : Изд-во ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2017. С. 43–48.

28. Парамонов Е. Г. Районирование искусственного лесовосстановления кедра в Западной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2006. № 3 (23). С. 30–33.

29. Парфенова Е. И., Чебакова Н. М. Потенциальная трансформация лесов Ангаро-Енисейского макро-региона в связи с прогнозами изменений климата к середине века // Глобальные вызовы и национальные экологические интересы: экономические и социальные аспекты : сб. материалов XVII междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2023. С. 301–307.

30. Пахучий В. В., Пахучая Л. М. Оценка изменчивости площади участков островного местонахождения сосны кедровой сибирской в связи с их географическим положением в республике Коми // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг : междунар. сб. науч. ст. Йошкар-Ола : ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», 2018. С. 82–92.

31. Пахучая Л. М., Пахучий В. В. Рост и возобновление сосны кедровой сибирской на объектах гидро-мелиорации в Северном Предуралье Республики Коми // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2022. Вып. 239. С. 22–36.

32. Пахучая Л. М. Рост и возобновление кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) на объектах гидро-мелиорации в Республике Коми // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2014. № 39. С. 74–77.

33. Пахучий В. В. Моделирование изменчивости площади участков островного произрастания кедра как элемент обоснования северного предела распространения леса – маркера границ Арктики в Республике Коми // Февральские чтения : сб. материалов науч.-практ. конф. профессор.-преподават. состава Сыкт. лесн. ин-та по итогам науч.-исслед. работы в 2021 г. Сыктывкар : СЛИ, 2022. С. 120–123.

34. Петрова Е. А., Горонкевич С. Н., Белоконь М. М., Белоконь Ю. С., Политов Д. В. Генетическое разнообразие кедра сибирского *Pinus sibirica* Du Tour: распределение вдоль широтного и долготного профилей // Генетика, 2014. Т. 50. № 5. С. 538–553.

35. Пойе Р. К. К биологии сибирского кедра // Известия Санкт-Петербургского ботанического сада, 1913. Т. 13. Вып. 1/3. С. 1–22.

36. Постановление Правительства РФ от 16.11.2021 № 1946 «Об утверждении перечня районов Крайнего Севера и местностей, приравненных к районам Крайнего Севера, в целях предоставления государственных гарантий и компенсаций для лиц, работающих и проживающих в этих районах и местностях, признании утратившими силу некоторых актов правительства российской федерации и признании не действующими на территории российской федерации некоторых актов совета министров СССР». URL <https://www.>

consultant.ru/document/cons_doc_LAW_400590/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/.

37. Скрипник И. Л., Каверзнева Т. Т., Идрисова Д. И. Совершенствование системы мониторинга климатических характеристик в условиях Крайнего Севера // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, 2016. № 1-2 (5). С. 95–97.

38. Соломонов Н. Г. Экологические аспекты освоения Севера. Якутск : Изд-во Якутского филиала СО АН СССР, 1986. 12 с.

39. Сочава В. Б. Пределы лесов в горах Ляпинского Урала // Труды Ботан. музея АН СССР. 1930. Вып. 22. С. 1–48.

40. Сочава В. Б. Северная граница кедра (*Pinus sibirica* Mayr) на Урале // Изв. АН СССР. 1927. VI серия. № 9. С. 787–804.

41. Сунгурова Н. Р., Страздаускене С. Р., Стругова Г. Н. Хвойные виды в урбанофлоре Архангельска // Хвойные бореальной зоны, 2023. Т. XLI. № 6. С. 466–473.

42. Тихановский А. Н., Моторин А. С., Игловиков А. В., Денисов А. А. Биологическая рекультивация песчаных карьеров Крайнего Севера. М. : Изд-во «Перо», 2022. 248 с.

43. Тихановский А. Н. Озеленение городов и поселков Крайнего Севера // Вестник ИрГЦХА. 2011. № 44-8. С. 118–123.

44. Турчинский В. И. Классификация основных факторов Крайнего Севера, оказывающих влияние на процесс адаптации и здоровье пришлого человека // Основные аспекты географической патологии на Крайнем Севере. Норильск, 1976. С. 46–48.

45. Усольцев В. А., Крудышев В. В. Об экологии и географии кедра сибирского // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2011. № 28. С. 147–153.

46. Шелков Я. Е. Оптимизация структуры землепользования путем искусственного лесовосстановления как фактор «зеленого» развития регионов Арктики // Актуальная наука, 2020. № 8 (37). С. 15–17.

47. Чашин В. П., Гудков А. Б., Попова О. Н., Одланд Ю. О., Ковшов А. А. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // Экология человека. 2014. № 1. С. 3–12.

48. Чипизубова М. Н. Дендроинтродукционное районирование крайнего северо-востока России // Вестник КрасГАУ. 2008. № 5. С. 140–145.

49. Zyryanov M. A., Medvedev S. O., Milyaeva I. G., Petrova E. V. Analysis of wood resources in the regions of the Far North // Journal of Agriculture and Environment, 2022. №. 2(22). URL: https://jae.cifra.science/media/legacy_articles/jae_16731.pdf.

REFERENCES

1. Andreyev V. N. Zaleseniye lesom tundry v sovremennuyu epokhu // Rastitel'nost' Kraynego Severa i ego osvoyeniye. M., 1956. Vyp. 1. S. 27–45.

2. Andreyev V. N. Prodvizheniye drevesnoy rastitel'nosti v tundru v svyazi s zashchitnymi svoystvami lesoposadok na Severe // Botanicheskii zhurnal. 1954. T. 39, № 1. S. 28–47.

3. Babich N. A., Zalyvskaya O. S., Travnikova G. I. Introdutsenty v zelënom stroitel'stve severnykh gorodov : monografiya. Arkhangel'sk : Arkhang. gos. un-t, 2008. 144 s.

4. Bardin M. Yu., Lipka O. N. Vozmozhnyye kriterii otneseniya territorii RF k rayonam Kraynego Severa i priravnennym k nim (fiziko-geograficheskii i klimaticheskii aspekty) // EMM·E, 2021. T. XXXII. № 1-2. S. 130–140.

5. Bashkin V. N., Galiulin R. V. Kontrol' effektivnosti rekul'tivatsii narushennykh tundrovnykh pochv na Tazovskom poluostrove // Agrokhimiya, 2020. № 3. S. 70–75.

6. Bekh I. A., Danchenko A. M. Bibliograficheskii ukazatel' otechestvennoy literatury po kedrovym sosnam za 1959–2011 gg. 2-e izd., dop. Tomsk : Tomskiy gosudarstvennyy universitet, 2012. 248 s.

7. Bobkova K. S., Kuznetsov M. A., Kutayvin I. N., Manov A. V., Osipov A. F., Tuzhilkina V. V. Zashchitnyye lesa lesnogo fonda Respubliki Komi: fitosenoticheskoye raznoobraziye, produktivnost', sredozashchitnyye funktsii // Aktual'nyye problemy, napravleniya i mekhanizmy razvitiya proizvoditel'nykh sil Severa : VI Vseros. nauch.-prakt. konf. (s mezhdunar. uchastiyem), 2018. Syktyvkar. Ch. 2. S. 196–201.

8. Bobkova K. S., Tuzhilkina V. V. Fitotsenoticheskoye raznoobraziye, zashchitnyye funktsii pritundrovnykh lesov Pechorskogo basseyna // Bioraznoobraziye ekosistem kraynego severa: inventarizatsiya, monitoring, okhrana : mater. III Vseros. nauch. konf. Syktyvkar : Izd-vo IB Komi NTs UrO RAN, 2017. S. 5–10.

9. Bobrov E. G. Lesoobrazuyushchiye khvoynnyye SSSR. L. : Nauka, 1978. 188 s.

10. Boychenko A. M., Isayev A. P. Voprosy vosstanovleniya pritundrovnykh lesov vblizi severnoy granitsy ikh rasprostraneniya v Yakutii // IVUZ Lesnoy zhurnal. 1992. № 4. S. 33–37.

11. Bratilova N. P., Matveyeva R. N., Butorova O. F., Shcherba Yu. E., Kichkil'deyev A. G., Komarnitskiy V. V. Osobennosti rosta semennogo potomstva otselektirovannykh po urozhaynosti klonov sosny kedrovoy sibirskoy raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya v usloviyakh yuga Sredney Sibiri // Khvoynnyye boreal'noy zony. 2016. T. 34, № 5-6. S. 294–297.

12. Bratilova N. P., Korotkov A. A., Konovalova D. A. Vliyaniye substrata na rost i razvitiye seyantsev sosny kedrovoy sibirskoy s zakrytoy kornevoy sistemoy // Khvoynnyye boreal'noy zony. 2022. T. 40. № 5. S. 347–352.

13. Vays A. A., Kozlov N. V. Rost i razvitiye sosnyakov na severnoy granitse proizrastaniya Krasnoyarskogo kraya // Khvoynnyye boreal'noy zony, 2023. T. XLI, № 3. S. 218–223.

14. Gontar' O. B., Zhiron V. K., Kazakov L. A., Svyatkovskaya E. A., Trostenyuk N. N. Zelenoye stroitel'stvo v gorodakh Murmanskoй oblasti. Apatity : Kol'sk. NTs RAN, 2010. 292 s.

15. Gudkov A. B., Popova O. N., Lukmanova N. B. Ekologo-fiziologicheskaya kharakteristika klimaticheskikh faktorov Severa obzor literatury // Ekologiya cheloveka, 2012. № 1. S. 12–17.

16. Gudkov A. B., Popova O. N., Nebuchennykh A. A., Bogdanov M. Yu. Ekologo-fiziologicheskaya kharakteris-

tika klimaticheskikh faktorov Arktiki. Obzor literatury // Morskaya meditsina, 2017. T. 3. № 1. S. 7–13.

17. Danchenko A. M., Danchenko M. A., Myasnikov A. G., Bekh I. A. Kedry Rossii. Tomsk : Izdatel'skiy Dom Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 2016. 300 s.

18. Zarubina L. V., Khamitov R. S. Sezonnyy rost sosny obyknovnoy na zabolochennykh pochvakh Severa // Izv. vuzov. Lesnoy zhurnal, 2021. № 3. S. 86–100.

19. Ignatenko M. M. Sibirskiy kedr (biologiya, introduktsiya, kul'tura). M. : Nauka, 1988. 160 s.

20. Isayeva L. G., Ershov V. V., Urbanavichyus G. P., Borovichev E. A. Introduktsiya kedra i listvennitsy v usloviyakh Kol'skogo Zapolyar'ya // IVUZ. Lesnoy zhurnal, 2023. № 4(394). S. 41–57.

21. Kazakov L. A. Introduktsiya khvoynykh v Subarktiku. SPb. : Nauka, 1993. 145 s.

22. Kedrovyye lesa Sibiri / I. V. Semechkin, N. P. Polikarpov, A. I. Iroshnikov i dr. Novosibirsk : Nauka, Sib. otd-niye, 1985. 257 s.

23. Matveyeva R. N., Bratilova N. P., Butorova O. F., Shcherba Yu. E. Osobennosti rosta kedra sibirskogo (Pinus sibirica Du Tour) raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya za 30-letniy period (yug Sredney Sibiri) // Mezhdunarodnyye nauchnyye issledovaniya. 2017. № 3 (32). S. 379–381.

24. Mikhaylenko E. V. Problemy primeneniya derev'yev khvoynykh porod v ozelenenii gorodov // Sovremennyye problemy razvitiya evropeyskogo severa : mater. Vseros. nauch.-prakt. konf. Ukhta : Ukhtinskiy gos. tekhn. un-t, 2023. S. 162–165.

25. Mishukov N. P. Kedr sibirskiy na severnom predele rasprostraneniya v bassejne Pura i Taza // Priroda taygi Zapadnoy Sibiri. Novosibirsk : Nauka, 1973. S. 22–37.

26. Naumenko O. N. Istoriya Petrovskoy epokhi na Kraynem Severe v usloviyakh klimaticheskikh izmeneniy i kosmicheskoy pogody kontsa XVII – nachala XVIII vv. // Nauchnyye issledovaniya v usloviyakh sovremennykh trendov. 2021. S. 105–115.

27. Osipov A. F., Manov A. V. Pul ugleroda fitomassy lesov, predlagayemykh dlya vkl'yucheniya v zakaznik "Chernorechenskiy" (kraynesevernaya tayga) // Bioraznobraziye ekosistem kraynego severa: inventarizatsiya, monitoring, okhrana : mater. III Vseros. nauch. konf. Syktyvkar : Izd-vo IB Komi NTs UrO RAN, 2017. S. 43–48.

28. Paramonov E. G. Rayonirovaniye iskusstvennogo lesovosstanovleniya kedra v Zapadnoy Sibiri // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2006. № 3 (23). S. 30–33.

29. Parfenova E. I., Chebakova N. M. Potentsial'naya transformatsiya lesov Angaro-Eniseyskogo makroregiona v svyazi s prognozami izmeneniy klimata k seredine veka // Global'nyye vyzovy i natsional'nyye ekologicheskiye interesy: ekonomicheskiye i sotsial'nyye aspekty : sb. materialov XVII mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Novosibirsk, 2023. S. 301–307.

30. Pakhuchiy V. V., Pakhuchaya L. M. Otsenka izmenchivosti ploshchadi uchastkov ostrovnogo mestonakhozhdeniya sosny kedrovoy sibirskoy v svyazi s

ikh geograficheskim polozheniyem v respublike Komi // Lesnyye ekosistemy v usloviyakh izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distantsionnyy monitoring : mezhdunar. sb. nauch. st. Yoshkar-Ola : FGBOU VO "Povolzhskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiiy universitet", 2018. S. 82–92.

31. Pakhuchaya L. M., Pakhuchiy V. V. Rost i vozobnovleniye sosny kedrovoy sibirskoy na ob'yektakh gidromelioratsii v Severnom Predural'ye Respubliki Komi // Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii, 2022. Vyp. 239. S. 22–36.

32. Pakhuchaya L. M. Rost i vozobnovleniye kedra sibirskogo (Pinus sibirica Du Tour) na ob'yektakh gidromelioratsii v Respublike Komi // Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa, 2014. № 39. S. 74–77.

33. Pakhuchiy V. V. Modelirovaniye izmenchivosti ploshchadi uchastkov ostrovnogo proizrastaniya kedra kak element obosnovaniya severnogo predela rasprostraneniya lesa – markera granits Arktiki v Respublike Komi // Fevral'skiye chteniya : sb. materialov nauch.-prakt. konf. professor.-prepodavat. sostava Sykt. lesn. in-ta po itogam nauch.-issled. raboty v 2021 g. Syktyvkar : SLI, 2022. S. 120–123.

34. Petrova E. A. Goroshkevich S. N., Belokon' M. M., Belokon' Yu. S., Politov D. V. Geneticheskoye raznobraziye kedra sibirskogo Pinus sibirica Du Tour: raspredeleniye vdol' shirotnogo i dolgotnogo profilya // Genetika, 2014. T. 50. № 5. S. 538–553.

35. PoyYe R. K. K biologii sibirskogo kedra // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo botanicheskogo sada, 1913. T. 13. Vyp. 1/3. S. 1–22.

36. Postanovleniye Pravitel'stva RF ot 16.11.2021 № 1946 "Ob utverzhdenii perechnya rayonov Kraynego Severa i mestnostey, priravnennykh k rayonam Kraynego Severa, v tselyakh predostavleniya gosudarstvennykh garantiy i kompensatsiy dlya lits, rabotayushchikh i prozhivayushchikh v etikh rayonakh i mestnostyakh, priznaniiy utrativshimi silu nekotorykh aktov pravitel'stva rossiyskoy federatsii i priznanii ne deystvuyushchimi na territorii rossiyskoy federatsii nekotorykh aktov soвета ministrov SSSR". URL https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_400590/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/.

37. Skripnik I. L., Kaverzneva T. T., Idrisova D. I. Sovershenstvovaniye sistemy monitoringa klimaticheskikh kharakteristik v usloviyakh Kraynego Severa // Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy, 2016. № 1-2 (5). S. 95–97.

38. Solomonov N. G. Ekologicheskiye aspekty osvoiniya Severa. Yakutsk : Izd-vo Yakutskogo filiala SO AN SSSR, 1986. 12 s.

39. Sochava V. B. Predely lesov v gorakh Lyapinskogo Urala // Trudy Botan. muzeya AN SSSR. 1930. Vyp. 22. S. 1–48.

40. Sochava V. B. Severnaya granitsa kedra (Pinus sibirica Mayr) na Urale // Izv. AN SSSR. 1927. VI seriya. № 9. S. 787–804.

41. Sungurova N. R., Strazdauskene S. R., Strugova G. N. Khvoynnye vidy v urbanoflore Arkhangel'ska // Khvoynnye boreal'noy zony, 2023. T. XLI. № 6. S. 466–473.

42. Tikhonovskiy A. N., Motorin A. S., Iglovikov A. V., Denisov A. A. Biologicheskaya rekul'tivatsiya peschanykh kar'yerov Kraynego Severa. M. : Izd-vo "Pero", 2022. 248 s.

43. Tikhonovskiy A. N. Ozeleneniye gorodov i poselkov Kraynego Severa // Vestnik IrGSKhA. 2011. № 44-8. S. 118–123.

44. Turchinskiy V. I. Klassifikatsiya osnovnykh faktorov Kraynego Severa, okazyvayushchikh vliyaniye na protsess adaptatsii i zdorov'ye prishlogo cheloveka // Osnovnyye aspekty geograficheskoy patologii na Kraynem Severe. Noril'sk, 1976. S. 46–48.

45. Usol'tsev V. A., Krudyshev V. V. Ob ekologii i geografii kedra sibirskogo // Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa, 2011. № 28. S. 147–153.

46. Shelkov Ya. E. Optimizatsiya struktury zemlepol'zovaniya putem iskusstvennogo lesovosstanovleniya kak faktor "zelenogo" razvitiya regionov Arktiki // Aktual'naya nauka, 2020. № 8 (37). S. 15–17.

47. Chashchin V. P., Gudkov A. B., Popova O. N., Odland Yu. O., Kovshov A. A. Kharakteristika osnovnykh faktorov riska narusheniy zdorov'ya naseleniya, prozhivayushchego na territoriyakh aktivnogo prirodopol'zovaniya v Arktike // Ekologiya cheloveka. 2014. № 1. S. 3–12.

48. Chipizubova M. N. Dendrointroduktsionnoye rayonirovaniye kraynego severo-vostoka Rossii // Vestnik KrasGAU. 2008. № 5. S. 140–145.

49. Zyryanov M. A., Medvedev S. O., Milyaeva I. G., Petrova E. V. Analysis of wood resources in the regions of the Far North // Journal of Agriculture and Environment, 2022. №. 2(22). URL: https://jae.cifra.science/media/legacy_articles/jae_16731.pdf.

© Братилова Н. П., Щерба Ю. Е.,
Мантулина А. В., Коновалова Д. А., 2024

Поступила в редакцию 15.01.2024
Принята к печати 15.04.2024

ИЗМЕНЕНИЕ ВЫСОТЫ ДЕРЕВЬЕВ И ДРЕВОСТОЕВ НЕКОТОРЫХ ХВОЙНЫХ И ЛИСТВЕННЫХ ВИДОВ В КЛИМАТИЧЕСКИХ ГРАДИЕНТАХ ЕВРАЗИИ*

И. С. Цепордей

Ботанический сад Уральского отделения РАН
Российская Федерация, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 марта, 202а
Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина
Российская Федерация, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
E-mail: ivan.tsepordey@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4747-5017>

Высокие темпы роста в высоту позволяют деревьям физически доминировать над другими формами растений в соответствующих условиях среды. Однако варьирование вертикальных компонентов структуры леса и их причины остаются мало изученными. Высота дерева отражает стратегию получения углерод депонирующего эффекта за счет улавливания света, в то время как диаметр ствола тесно связан с механической устойчивостью и водопроводящей способностью. Связанные друг с другом высота дерева и диаметр ствола определяют стратегию роста древесных видов в соответствии с наличием наземных и подземных ресурсов их жизнеобеспечения. Обычно надземная биомасса оценивается с помощью эмпирических уравнений, включающих в качестве независимой переменной диаметр ствола на высоте груди, и при отсутствии данных о высоте дерева возникают смещения оценок. Для подобных случаев разрабатываются вспомогательные аллометрические модели, описывающие зависимость высоты дерева от диаметра ствола и варьирующие в связи с влиянием климатических режимов местности. Цель нашего исследования – проанализировать изменение высоты деревьев и древостоев некоторых хвойных и лиственных видов в климатических градиентах Евразии. Построенные модели адекватны на уровне $p < 0,001$. На примере изменений высот деревьев и древостоев подтверждено действие принципа лимитирующего фактора Либиха–Шелфорда в трансконтинентальных климатических градиентах. Результаты могут быть полезны при оценке биомассы деревьев и древостоев с использованием их таксационных показателей в связи с изменением климата.

Ключевые слова: высота деревьев и древостоев, *Pinus L.*, *Picea L.*, *Betula L.*, *Populus L.*, аллометрические модели, принцип лимитирующего фактора.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 2, P. 45–52

THE CHANGE IN TREE AND STAND HEIGHT OF SOME CONIFEROUS AND DECIDUOUS SPECIES IN THE CLIMATIC GRADIENTS OF EURASIA

I. S. Tsepordey

Botanical Garden, Ural Branch of RAS
202a, 8 Marta Str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation
Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin
19, Mira Str., Yekaterinburg, 620002, Russian Federation
E-mail: ivan.tsepordey@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4747-5017>

High growth rates in height allow trees to dominate physically other plant forms in appropriate environmental conditions. However, the variation of the vertical components of the forest structure and their causes remain poorly understood. The height of the tree reflects the strategy of obtaining a carbon-depositing effect by trapping light, while the diameter of the stem is closely related to mechanical stability and plumbing ability. The interconnected tree height and stem diameter determine the growth strategy of tree species in accordance with the availability of terrestrial and underground resources for their life support. Usually, aboveground biomass is estimated using empirical equations that include the diameter of the stem at breast height as an independent variable, and in the absence of tree height data, estimates are biased. For such cases, auxiliary allometric models are being developed that describe the dependence of the tree height upon the stem diameter and vary due to the influence of climatic conditions of the area. The purpose of our study is to analyze changes in the height of trees and stands of some coniferous and deciduous species in the

* Финансирование: Работа выполнена в рамках Госзадания FEUZ-2024-0011 (*Financing: The work was carried out within the framework of the State Task FEUZ-2024-0011*).

Благодарности: Автор благодарит проф. Усольцева В.А. за участие в подготовке работы (*Acknowledgements: The author thanks Prof. Usoltsev V.A. for participation in the preparation of the work*).

climatic gradients of Eurasia. The constructed models are adequate at the level of $p < 0.001$. Using the example of changes in the heights of trees and stands, the effect of the Liebig-Shelford limiting factor in transcontinental climatic gradients is confirmed. The results can be useful when assessing the biomass of trees and stands using their taxation indicators in relation to climate change.

Keywords: height of trees and stands, *Pinus L.*, *Picea L.*, *Betula L.*, *Populus L.*, allometric models, principle of limiting factor.

ВВЕДЕНИЕ

Для устойчивого лесопользования необходимо понимание того, как древесные виды поведут себя в будущих климатических условиях [12]. Ввиду надвигающегося изменения климата усилия по лесовосстановлению направлены на обеспечение стабильности лесных экосистем [38], а также на стабилизацию последствий изменения климата путем связывания парниковых газов [17; 28]. Понимание роли соответствующих характеристик лесообразующих древесных видов имеет решающее значение при разработке рациональных методов адаптивного управления лесами. Этот процесс может облегчить использование легко измеряемых признаков деревьев и древостоев [45].

Высокие темпы роста в высоту позволяют деревьям физически доминировать над другими формами растений в соответствующих условиях среды [36]. Исследование горизонтальных компонентов структуры лесных насаждений, таких как густота и сумма площадей сечения стволов, показали наличие их существенных изменений вдоль экологических и эдафических градиентов [35; 41]. Однако варьирование вертикальных компонентов структуры леса и их причины остаются гораздо менее изученными. И это несмотря на имеющиеся данные, свидетельствующие о том, что высота дерева при заданном диаметре ствола может значительно варьировать у разных видов [31] и в разных регионах [39], а также в связи со специфической той или иной аппроксимирующей функцией [25]. Такое варьирование может иметь отрицательные последствия при оценке углерод депонирующей способности лесов [20].

Высота дерева отражает стратегию получения углерод депонирующего эффекта за счет улавливания света [36], в то время как диаметр ствола тесно связан с механической устойчивостью и водопроводящей способностью [13]. Связанные друг с другом высота дерева и диаметр ствола определяют стратегию роста древесных видов в соответствии с наличием наземных и подземных ресурсов их жизнеобеспечения [24], которые, в свою очередь, модифицируются биотическими (например, конкуренцией) и абиотическими (например, освещенностью, температурой и осадками) факторами [33; 34]. Депонирование углерода в надземной и подземной биомассе тесно связано с климатическими условиями произрастания деревьев, а также с их генетическим фоном, который, в свою очередь, может привести к значительным внутривидовым фенотипическим вариациям вследствие локальности процессов адаптации [45].

При всей неопределенности в краткосрочных временных и пространственных масштабах, климатические прогнозы указывают на увеличение температуры и климатической изменчивости [30], при этом экстре-

мальные явления становятся всё более частыми [27]. Соответственно ожидается, что изменения в условиях окружающей среды и снижении доступности ресурсов жизнеобеспечения приведут к изменениям в стратегиях территориальных сдвигов растений и, следовательно, в аллометрических соотношениях высоты деревьев и диаметра стволов. Например, в возрастающих стрессовых условиях (т. е. повышении транспирации и снижении количества осадков) деревья будут выделять больше ресурсов на рост диаметра ствола, чем на рост в высоту [33]. Эти изменения могут повлиять на особенности жизненного цикла с важными последствиями для динамики лесных сообществ. Возможны отставания или ускорения в достижении деревьями возраста спелости, поскольку это часто зависит от их размера [44]. Эти последствия, вероятно, окажут влияние на продуктивность лесов (с точки зрения качества и запаса древесины), а также на продолжительность оборота рубки, что обусловит необходимость пересмотра ранее применявшихся методов управления лесами [45].

Например, в Средиземноморском регионе сосны занимают обширные природные территории, где они доминируют в суровых условиях и на ранних стадиях сукцессии [45]. Эти особенности способствовали осуществлению обширных программ лесоразведения с использованием различных видов сосен [19]. Разные виды сосен дифференцированно реагируют на изменения в экологических градиентах [23; 42] и демонстрируют высокий уровень фенотипической изменчивости признаков с вероятной адаптивной ценностью таких показателей, как высота дерева и диаметр ствола [10; 14]. Поэтому важно понимать роль этой фенотипической вариации при составлении прогнозов биологической продуктивности лесов в условиях изменения климата [45].

Оценка высоты дерева как функции диаметра на высоте груди с использованием аллометрического уравнения является широко распространенной практикой в экологии и лесном хозяйстве, и точность этих оценок играет важную роль в международной экологической политике [32]. Эти функции используются для представления того, как отдельные особи и виды распределяют ресурсы, для оценки качества участка и запасов надземной биомассы лесной растительности. Точное количественное определение и оценка биомассы и запасов углерода в лесной растительности лежат в основе политики по снижению выбросов углекислого газа, в частности, в программе UN-REDD+ и рекомендациях Межправительственной группы экспертов по изменению климата [22].

Обычно надземная биомасса оценивается с помощью эмпирических уравнений, включающих в качестве независимой переменной диаметр ствола на высоте

груди и в некоторых случаях высоту дерева [15; 21]. Уравнения, включающие диаметр ствола и высоту дерева в качестве зависимых переменных, являются более точными, и при отсутствии данных о высоте дерева возникают смещения оценок [15; 20]. Однако в имеющиеся практические нормативы часто входит только диаметр ствола, и в подобных случаях используются вспомогательные аллометрические модели, описывающие зависимость высоты дерева от диаметра ствола с использованием эмпирических данных [37].

Исследования показывают, что среднее значение высоты дерева в высотном градиенте снижается в большей степени по сравнению со средним диаметром ствола, причем иногда наблюдается даже увеличение диаметра ствола в том же направлении. Есть также свидетельства влияния климатического режима на аллометрическое соотношение высоты дерева и диаметра ствола [20]. Согласно теории гидравлических ограничений (hydraulic limitation theory), высота деревьев в конечном счете ограничена наличием воды, и можно ожидать, что градиенты максимальной высоты деревьев будут совпадать с картами распределения осадков [43]. Но по мере повышения дефицита воды нет сопутствующих причин для аналогичного снижения диаметра ствола. Действительно, большая площадь поперечного сечения заболони на единицу высоты дерева может быть выгодной в условиях ограниченного количества воды с точки зрения эффективности водного транспорта. Установлено, например, что деревья в очень сухом лиственном лесу в Мексике имели непропорционально большой диаметр ствола для данной высоты дерева [13]. На соотношение высоты дерева и диаметра ствола может влиять густота древостоя, и в густых древостоях при одной и той же высоте диаметры стволов меньше, чем в редких, что может быть связано с усилением конкуренции за свет и со снижением ветровой нагрузки в более плотных насаждениях [16; 26].

Для глобальных тропических лесов была предложена аллометрическая модель зависимости высоты дерева от его диаметра ствола, дополненная такими независимыми переменными, как сумма площадей сечений деревьев в качестве таксационного показателя древостоя, а также среднегодовая температура, продолжительность сухого сезона и коэффициент вариации осадков в качестве климатических признаков. Показан вклад каждой переменной в объяснение изменчивости высоты дерева, в том числе оценено влияние температуры: при прочих равных условиях деревья, растущие при повышенной температуре, имеют большую высоту при любом заданном диаметре ствола [20].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель нашего исследования – проанализировать изменение высоты деревьев и древостоев некоторых хвойных и лиственных видов в климатических градиентах Евразии. Для реализации поставленной цели исследования использованы две базы данных о биомассе деревьев и древостоев лесобразующих видов Евразии [3; 4]. Из них взяты таксационные показатели

6 943 модельных деревьев и 3 296 пробных площадей, характеристика которых имеется в работе [8]. Исходные данные обмеров модельных деревьев и данные таксации пробных площадей представлены на уровне родов (подродов) как совокупностей викирирующих видов. Положение пробных площадей по имеющимся координатам нанесено на карты-схемы территориального распределения средних температур января и среднегодовых осадков, и таксационные показатели деревьев и древостоев совмещены с климатическими показателями карт-схем [46]. Обоснование использования зимней, а не среднегодовой, температуры было дано ранее [9]. Ранее также была показана представленность родов (подродов) различными видами [5–7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате регрессионного анализа данных 6 943 модельных деревьев получены следующие регрессионные модели:

– для подрода *Pinus* L. (двуххвойные сосны)

$$\ln H = 8,3157 + 0,2724 \ln A + 0,5769 \ln D - 2,4995 \ln \times \\ \times (T + 50) - 1,2222 \ln P + 0,3732 [\ln(T + 50)(\ln P)]; \\ \text{adj}R^2 = 0,873; \text{SE} = 0,220; n = 4771; \quad (1)$$

– для рода *Betula* L. (березы)

$$\ln H = 16,3101 + 1,2951 \ln A - 0,1943 (\ln A)^2 + \\ + 0,2993 \ln D + 0,0746 (\ln A)(\ln D) - \\ - 4,5945 \ln(T + 50) - 3,1753 \ln P + \\ + 0,8526 [\ln(T + 50)(\ln P)]; \\ \text{adj}R^2 = 0,856; \text{SE} = 0,202; n = 1705; \quad (2)$$

– для рода *Populus* L. (осина и тополи)

$$\ln H = 45,6802 + 0,5106 \ln A + 0,9290 \ln D - \\ - 0,1345 (\ln A)(\ln D) - 13,4005 \ln(T + 50) - \\ - 7,3860 \ln P + 2,1547 [\ln(T + 50)(\ln P)]; \\ \text{adj}R^2 = 0,936; \text{SE} = 0,135; n = 467, \quad (3)$$

где H – высота дерева, м; A – возраст дерева, лет; D – диаметр ствола на высоте груди, см; T – средняя температура января, град. С; P – средние годовые осадки, мм; $[\ln(T + 50)(\ln P)]$ – комбинированная переменная, характеризующая совместное действие температур и осадков; $\text{adj}R^2$ – коэффициент детерминации, скорректированный на количество переменных; SE – стандартная ошибка модели; n – количество наблюдений. В свободный член введена поправка на логарифмирование [11; 40]. Все регрессионные коэффициенты моделей (1)–(3) статистически значимы на уровне $p < 0,001$.

На уровне древостоев данные 3296 пробных площадей аппроксимированы многофакторной регрессией общего вида:

$$\ln H_{cp} = a_0 + a_1 \ln A_{cp} + a_2 (\ln A_{cp})^2 + a_3 \ln N + \\ + a_4 (\ln A_{cp})(\ln N) + a_5 \ln(T + 50) + a_6 \ln P + \\ + a_7 [\ln(T + 50)(\ln P)], \quad (4)$$

где H_{cp} – средняя высота древостоя, м; A_{cp} – средний возраст древостоя, лет; N – число деревьев, 1000/га. Результаты расчета моделей (4) для сосен, елей и тополей были опубликованы ранее [5–7].

Для наглядного представления моделей (1)–(3) в графическом виде по исходным данным рассчитаны средние значения возраста деревьев и диаметра ствола, составившие соответственно 42 года и 14 см. После их подстановки в модели (1)–(3) получены зависимости высоты дерева от температур и осадков, геометрическая интерпретация которых дана на рис. 1.

На рис. 1 мы видим у каждого рода два оптимальных и два пессимальных сочетания температур и осадков. Это явление имеет биологическое обоснование. Известно, что у всех видов древесных и травянистых растений протекающие физиологические процессы по сути одинаковы. Продуктивность фотосинтеза и ассимиляционного аппарата растений зависит от многих факторов, из которых важнейшими являются тепло- и влагообеспеченность [1]. Продуктивность, опосредованная в данном случае высотой деревьев, возрастает как при повышении температуры при неизменных осадках, так и при повышении осад-

ков при неизменной температуре. Понижение температуры и снижение осадков вызывают соответственно противоположный эффект. Оптимальная ситуация обеспечивается при положительном одновременном эффекте двух факторов (положительный синергизм), а пессимальная – соответственно при отрицательном одновременном эффекте (отрицательный синергизм).

Сводные по родам закономерности изменения высоты деревьев (рис. 2) и древостоев (рис. 3) на предельных значениях температур и осадков подтверждают действие принципа лимитирующего фактора Либиха-Шелфорда [2] в трансконтинентальных климатических градиентах: при недостаточном увлажнении повышение температуры усугубляет его дефицит, и высота деревьев и древостоев снижается, а переход в область достаточного увлажнения дает прямо противоположный эффект, и высота деревьев и древостоев увеличивается.

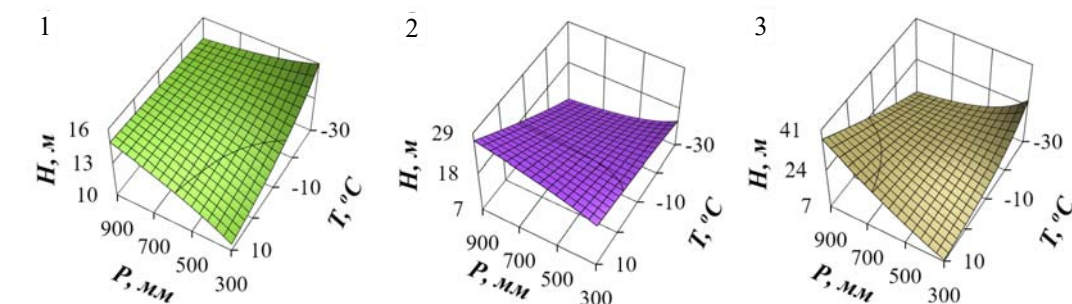


Рис. 1. Пропеллеро-образные зависимости высоты деревьев двуххвойных сосен (1), берез (2) и тополей (3) от территориально распределенных климатических показателей

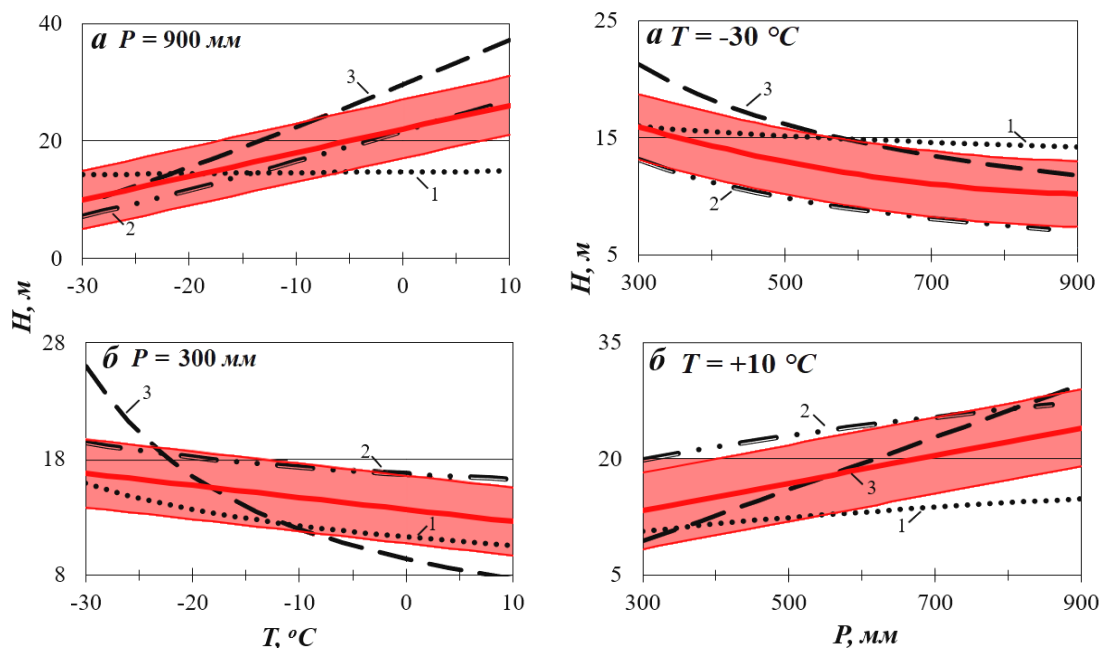


Рис. 2. Изменение расчетных значений высоты деревьев в связи с повышением зимней температуры при обильных осадках $P = 900$ мм (а) и при недостаточных осадках $P = 300$ мм (б) (слева) и связи с повышением среднегодовых осадков при средней январской температуре -30 °C (а) и при $+10$ °C (б) (справа). Обозначения: 1, 2, 3 – соответственно *Pinus* L. (двуххвойные сосны), *Betula* L., *Populus* L. Здесь и далее: обобщенная для всех видов закономерность показана цветной линией регрессии, а тональная область показывает ее ошибку

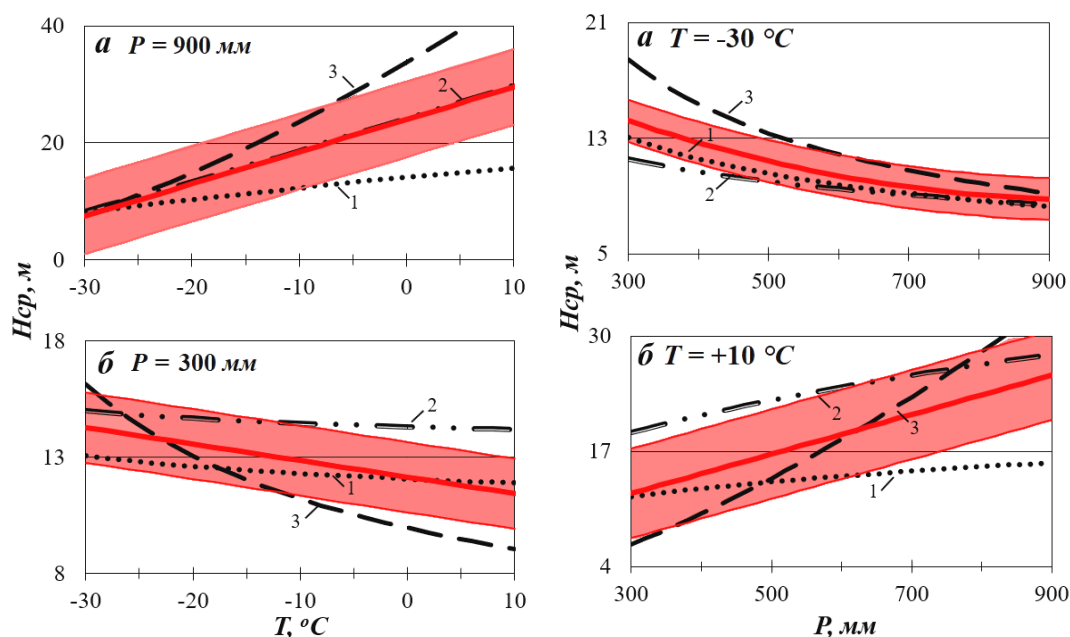


Рис. 3. Изменение расчетных значений средней высоты древостоев в связи с повышением зимней температуры при обильных осадках $P = 900$ мм (а) и при недостаточных осадках $P = 300$ мм (б) (слева) и связи с повышением среднегодовых осадков при средней январской температуре -30 °C (а) и при $+10$ °C (б) (справа).

Обозначения: 1, 2, 3 – соответственно *Pinus* L., *Picea* L., *Populus* L. Построено по результатам табулирования моделей (4), опубликованных ранее [5–7]

При общих для родов трендах (рис. 2 и 3), в траекториях их изменения на предельных значениях климатических факторов есть существенные различия между родами, возможно, обусловленные разной реакцией на лимитирующие факторы. Важно и то, что данные о биомассе деревьев получены на одних пробных площадях, а данные о древостоях, в основном, на других. Свой вклад в названное различие вносит неучтенный информационный шум, вызванный варьированием трофности почвы и другими локальными проявлениями экзо- и эндогенных факторов на заложенных пробных площадях. Имеющиеся сегодня региональные и глобальные базы данных [18; 29], в том числе и используемые в нашем исследовании [3; 4], – результат спонтанных исследований биологической продуктивности лесов в течение последних десятилетий, и эти данные не репрезентативны по отношению ко всему разнообразию условий произрастания видов: для одних регионов и видов данные избыточны, для других – недостаточны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, впервые построены регрессионные модели, описывающие изменение высоты деревьев и древостоев некоторых хвойных и лиственных древесных видов в климатических градиентах Евразии, адекватные на уровне $p < 0,001$.

Высота деревьев и древостоев возрастает как при повышении температуры при неизменных осадках, так и при повышении осадков при неизменной температуре. Понижение температуры и снижение осадков вызывают соответственно противоположный эффект. Оптимальная ситуация обеспечивается при положительном одновременном эффекте двух факторов (положительный синергизм), а пессимальная – соответ-

ственно при отрицательном одновременном эффекте (отрицательный синергизм).

На примере изменения высот деревьев и древостоев подтверждено действие принципа лимитирующего фактора Либиха–Шелфорда в трансконтинентальных климатических градиентах.

Результаты могут быть использованы при оценке биомассы деревьев и древостоев в связи с изменением климата с использованием их таксационных показателей.

Полученные закономерности будут уточняться по мере пополнения баз данных и закрытия в них многочисленных «белых пятен».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Крамер П. Д., Козловский Т. Т. Физиология древесных растений. М.: Лесная промышленность, 1983. 464 с.
2. Розенберг Г. С., Рянский Ф. Н., Лазарева Н. В. и др. Общая и прикладная экология. Самара-Тольятти : Изд-во Самарского гос. экон. ун-та, 2016. 452 с.
3. Усольцев В. А. Фитомасса модельных деревьев для дистанционной и наземной таксации лесов Евразии. Электронная база данных. 3-е дополненное издание. Екатеринбург: Ботанический сад УрО РАН, Уральский государственный лесотехнический университет, 2023а. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12451>.
4. Усольцев В. А. Биомасса и первичная продукция лесов Евразии. Электронная база данных. 4-е дополненное издание. Монография. Екатеринбург: Ботанический сад УрО РАН, Уральский государственный лесотехнический университет, 2023б. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12452>.

5. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Изменение средней высоты древостоев двухвойных сосен (подрод *Pinus* L.) в климатических градиентах Евразии // Биосфера. 2023а. Т. 15, № 2. С. 83–90. DOI: 10.24855/biosfera.v15i1.789.
6. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Изменение средней высоты осинников (род *Populus*) в климатических градиентах Евразии // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023б. Вып. 245. С. 159–174. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.159-174.
7. Усольцев В. А., Цепордей И. С., Часовских В. П. Высота древостоев ели (род *Picea*) как характеристика их продуктивности: климатические аспекты // Хвойные бореальной зоны. 2023в. Т. 41. № 5. С. 419–424. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-5-419-424.
8. Цепордей И. С. Биологическая продуктивность лесообразующих видов в климатическом контексте Евразии (под ред. В. А. Усольцева). Екатеринбург: Изд-во УМЦ УПИ, 2023. 467 с. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12450>.
9. Цепордей И. С., Усольцев В. А., Норицин Д. В. Обоснование использования зимней температуры при прогнозировании климатически обусловленных изменений биомассы лесов Евразии // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. 41. № 3. С. 243–247. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-3-243-247.
10. Aranda I., Alia R., Ortega U. et al. Intra-specific variability in biomass partitioning and carbon isotopic discrimination under moderate drought stress in seedlings from four *Pinus pinaster* populations // Tree Genetics and Genomes. 2009. Vol. 6. P. 169–178. DOI:10.1007/s11295-009-0238-5.
11. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Canadian Journal of Forest Research. 1972. Vol. 2. P. 49–53.
12. Bullock J. M., Aronson J., Newton A. C. et al. Restoration of ecosystem services and biodiversity: conflicts and opportunities // Trends in Ecology and Evolution. 2011. Vol. 26. P. 541–549.
13. Bullock S. H. Developmental patterns of tree dimensions in a neotropical deciduous forest // Biotropica. 2000. Vol. 32. P. 42–52.
14. Chambel M. R., Climent J., Alia R. (2007) Divergence among species and populations of Mediterranean pines in biomass allocation of seedlings grown under two watering regimes // Annals of Forest Science. 2007. Vol. 64. P. 87–97. DOI:10.1051/forest.
15. Chave J., Réjou-Méchain M., Búrquez A. et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees // Global Change Biology. 2014. Vol. 20. P. 3177–3190.
16. de Gouvenain R. C. D., Silander J. A. Do tropical storm regimes influence the structure of tropical lowland rain forests? // Biotropica. 2003. Vol. 35. P. 166–180.
17. Dumroese R. K., Williams M. I., Stanturf J. A. et al. Considerations for restoring temperate forests of tomorrow: forest restoration, assisted migration, and bioengineering // New Forests. 2015. Vol. 46. P. 947–964. DOI: 10.1007/s11056-015-9504-6
18. Falster D. S., Duursma R. A., Ishihara M. I. et al. BAAD: a Biomass And Allometry Database for woody plants // Ecology. 2015. Vol. 96 (5). Article 1445. DOI: 10.1890/14-1889.1
19. FAO. State of the World's Forests 2006. FAO, Rome, 2006. 168 p.
20. Feldpausch T. R., Banin L., Phillips O. L. et al. 2011. Height-diameter allometry of tropical forest trees. Biogeosciences 8:1081–1106.
21. Feldpausch T. R., Lloyd J., Lewis S. L. et al. Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates // Biogeosciences. 2012. Vol. 9. P. 3381–3403.
22. Gibbs H. K., Brown S., Niles J. O. et al. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality // Environmental Research Letters. 2007. Vol. 2. Article 045023.
23. Gomez-Aparicio L., Garcia-Valdes R., Ruiz-Benito P. et al. Disentangling the relative importance of climate, size and competition on tree growth in Iberian forests: implications for forest management under global change // Global Change Biology. 2011. Vol. 17. P. 2400–2414. DOI:10.1111/j.1365-2486.2011.02421.x.
24. Halle F., Oldeman R. A. A., Tomlinson P. B. Tropical trees and forests: an architectural analysis. Springer, Berlin, 1978. 441 p.
25. Howell S. R., Song G.-Z. M., Chao K.-J. et al. Functional evaluation of height-diameter relationships and tree development in an Australian subtropical rainforest // Australian Journal of Botany. 2022. Vol. 70(2). DOI: 10.1071/BT21049.
26. Hummel S. Height, diameter and crown dimensions of *Cordia alliodora* associated with tree density // Forest Ecology and Management. 2000. Vol. 127. P. 31–40.
27. IPCC. Climate change 2014. Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.
28. Jacobs D. F., Oliet J. A., Aronson J. et al. Restoring forests: What constitutes success in the twenty-first century? // New Forests. 2015. Vol. 46. P. 601–614. DOI:10.1007/s11056-015-9513-5.
29. Jucker T., Fischer F. J., Chave J. et al. Tallo – a global tree allometry and crown architecture database // Global Change Biology. 2022. Vol. 28. P. 5254–5268. DOI:10.1111/gcb.16302.
30. Kao S.-C., Ganguly A. R. Intensity, duration, and frequency of precipitation extremes under 21st century warming scenarios // Journal of Geophysical Research. 2011. Vol. 116. Article D16119. DOI: 10.1029/2010JD015529.
31. King D. A. Allometry and life history of tropical trees // Journal of Tropical Ecology. 1996. Vol. 12. P. 25–44.
32. Ledo A., Cornulier T., Illian J. B. et al. Re-evaluation of individual diameter : height allometric models to improve biomass estimation of tropical trees // Ecological Applications. 2016. Vol. 26(8). P. 2376–2382.
33. Lines E. R., Zavala M. A., Purves D. W. et al. Predictable changes in aboveground allometry of trees along gradients of temperature, aridity and competition // Global Ecology and Biogeography. 2012. Vol. 21. P. 1017–1028. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2011.00746.x.
34. Lopez-Serrano F., Garcia-Morote A., Andres-Abellan M. et al. Site and weather effects in allometries: a simple approach to climate change effect on pines // Forest Ecology and Management. 2005. Vol. 215. P. 251–270. DOI:10.1016/j.foreco.2005.05.014.
35. Malhi Y., Wood D., Baker T. R. et al. The regional variation of aboveground live biomass in old-

growth Amazonian forests // *Global Change Biology*. 2006. Vol. 12. P. 1107–1138.

36. Moles A. T., Warton D. I., Warman L. et al. Global patterns in plant height // *Journal of Ecology*. 2009. Vol. 97. P. 923–932.

37. Molto Q., Hérault B., Boreux J. J. et al. Predicting tree heights for biomass estimates in tropical forests – a test from French Guiana // *Biogeosciences*. 2014. Vol. 11. P. 3121–3130.

38. Newton A. C., Cantarello E. Restoration of forest resilience: An achievable goal? // *New Forests*. 2015. Vol. 46. P. 645–668. DOI:10.1007/s11056-015-9489-1.

39. Nogueira E. M., Nelson B. W., Fearnside P. M. et al. Tree height in Brazil's "arc of deforestation": shorter trees in South and Southwest Amazonia imply lower biomass // *Forest Ecology and Management*. 2008. Vol. 255. P. 2963–2972.

40. Packard G. C. Multiplicative by nature: logarithmic transformation in allometry // *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*. 2014. Vol. 322(4). P. 202–207. DOI: 10.1002/jez.b.22570.

41. Paoli, G., Curran, L., Slik, J.: Soil nutrients affect spatial patterns of aboveground biomass and emergent tree density in Southwestern Borneo // *Oecologia*. 2014. Vol. 155. P. 287–299. DOI:10.1007/s00442-007-0906-9, 2008.

42. Ruiz-Benito P., Lines E. R., Gomez-Aparicio L. et al. Patterns and drivers of tree mortality in Iberian forests: climatic effects are modified by competition // *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8. Article e56843. DOI:10.1371/journal.pone.0056843.

43. Ryan M. G., Phillips N., Bond B. J. The hydraulic limitation hypothesis revisited // *Plant, Cell and Environment*. 2006. Vol. 29. P. 267–281.

44. Santos-del-Blanco L., Zas R., Notivol E. et al. Variation of early reproductive allocation in multi-site genetic trials of Maritime pine and Aleppo pine // *Forest Systems*. 2010. Vol. 19. P. 381–392. DOI: 10.5424/fs/2010193-9109.

45. Vizcaino-Palomar N., Ibanez I., Benito-Garzon M. et al. Climate and population origin shape pine tree height-diameter allometry // *New Forests*. 2017. Vol. 48. P. 363–379. DOI: 10.1007/s11056-016-9562-4.

46. World Weather Maps, 2007. Available at: <https://www.mapsofworld.com/referrals/weather>.

REFERENCES

1. Kramer P. D., Kozlovskij T. T. *Fiziologiya drevnykh rastenij*. M.: Lesnaya promyshlennost', 1983. 464 s.

2. Rozenberg G. S., Ryanskij F. N., Lazareva N. V. i dr. *Obshchaya i prikladnaya ekologiya*. Samara-Tol'yatti : Izd-vo Samarskogo gos. ekon. un-ta, 2016. 452 s.

3. Usol'cev V. A. Fitomassa model'nyh derev'ev dlya distancionnoj i nazemnoj taksacii lesov Evrazii. Elektronnaya baza dannyh. 3-e dopolnennoe izdanie. Ekaterinburg: Botanicheskij sad UrO RAN, Ural'skij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet, 2023a. 1 elektron. opt. disk (CD-ROM). URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12451>.

4. Usol'cev V. A. Biomassa i pervichnaya produkcija lesov Evrazii. Elektronnaya baza dannyh. 4-e dopol-

nennoe izdanie. Monografiya. Ekaterinburg: Botanicheskij sad UrO RAN, Ural'skij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet, 2023b. 1 elektron. opt. disk (CD-ROM). URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12452>.

5. Usol'cev V. A., Cepordej I. S. Izmenenie srednej vysoty drevostoev dvuhvojnyh sosen (podrod Pinus L.) v klimaticheskikh gradientah Evrazii // *Biosfera*. 2023a. T. 15, № 2. S. 83–90. DOI: 10.24855/biosfera.v15i1.789.

6. Usol'cev V. A., Cepordej I. S. Izmenenie srednej vysoty osinnikov (rod Populus) v klimaticheskikh gradientah Evrazii // *Izvestiya Sankt-Petersburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2023b. Vyp. 245. S. 159–174. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.159-174.

7. Usol'cev V. A., Cepordej I. S., Chasovskih V. P. Vysota drevostoev eli (rod Picea) kak harakteristika ih produktivnosti: klimaticheskie aspekty // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2023v. T. 41. № 5. S. 419–424. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-5-419-424.

8. Cepordej I. S. Biologicheskaya produktivnost' lesoobrazuyushchih vidov v klimaticheskom kontekste Evrazii (pod red. V. A. Usol'ceva). Ekaterinburg: Izd-vo UMC UPI, 2023. 467 s. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12450>.

9. Cepordej I. S., Usol'cev V. A., Noricin D. V. Obosnovanie ispol'zovaniya zimnej temperatury pri prognozirovanii klimaticheskij obuslovlennyh izmenenij biomassy lesov Evrazii // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2023. T. 41. № 3. S. 243–247. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-3-243-247.

10. Aranda I., Alia R., Ortega U. et al. Intra-specific variability in biomass partitioning and carbon isotopic discrimination under moderate drought stress in seedlings from four Pinus pinaster populations // *Tree Genetics and Genomes*. 2009. Vol. 6. P. 169–178. DOI:10.1007/s11295-009-0238-5.

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

12. Bullock J. M., Aronson J., Newton A. C. et al. Restoration of ecosystem services and biodiversity: conflicts and opportunities // *Trends in Ecology and Evolution*. 2011. Vol. 26. P. 541–549.

13. Bullock S. H. Developmental patterns of tree dimensions in a neotropical deciduous forest // *Biotropica*. 2000. Vol. 32. P. 42–52.

14. Chambel M. R., Climent J., Alia R. (2007) Divergence among species and populations of Mediterranean pines in biomass allocation of seedlings grown under two watering regimes // *Annals of Forest Science*. 2007. Vol. 64. P. 87–97. DOI:10.1051/forest.

15. Chave J., Réjou-Méchain M., Búrquez A. et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees // *Global Change Biology*. 2014. Vol. 20. P. 3177–3190.

16. de Gouvenain R. C. D., Silander J. A. Do tropical storm regimes influence the structure of tropical lowland rain forests? // *Biotropica*. 2003. Vol. 35. P. 166–180.

17. Dumroese R. K., Williams M. I., Stanturf J. A. et al. Considerations for restoring temperate forests of tomorrow: forest restoration, assisted migration, and bioengineering // *New Forests*. 2015. Vol. 46. P. 947–964. DOI:10.1007/s11056-015-9504-6.

18. Falster D. S., Duursma R. A., Ishihara M. I. et al. BAAD: a Biomass And Allometry Database for woody plants // *Ecology*. 2015. Vol. 96 (5). Article 1445. DOI: 10.1890/14-1889.1.
19. FAO. State of the World's Forests 2006. FAO, Rome, 2006. 168 p.
20. Feldpausch T. R., Banin L., Phillips O. L. et al. 2011. Height-diameter allometry of tropical forest trees. *Biogeosciences* 8:1081–1106.
21. Feldpausch T. R., Lloyd J., Lewis S. L. et al. Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates // *Biogeosciences*. 2012. Vol. 9. P. 3381–3403.
22. Gibbs H. K., Brown S., Niles J. O. et al. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality // *Environmental Research Letters*. 2007. Vol. 2. Article 045023.
23. Gomez-Aparicio L., Garcia-Valdes R., Ruiz-Benito P. et al. Disentangling the relative importance of climate, size and competition on tree growth in Iberian forests: implications for forest management under global change // *Global Change Biology*. 2011. Vol. 17. P. 2400–2414. DOI:10.1111/j.1365-2486.2011.02421.x.
24. Halle F., Oldeman R. A. A., Tomlinson P. B. Tropical trees and forests: an architectural analysis. Springer, Berlin, 1978. 441 r.
25. Howell S. R., Song G.-Z. M., Chao K.-J. et al. Functional evaluation of height–diameter relationships and tree development in an Australian subtropical rainforest // *Australian Journal of Botany*. 2022. Vol. 70(2). DOI: 10.1071/BT21049.
26. Hummel S. Height, diameter and crown dimensions of *Cordia alliodora* associated with tree density // *Forest Ecology and Management*. 2000. Vol. 127. P. 31–40.
27. IPCC. Climate change 2014. Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.
28. Jacobs D. F., Oliet J. A., Aronson J. et al. Restoring forests: What constitutes success in the twenty-first century? // *New Forests*. 2015. Vol. 46. P. 601–614. DOI:10.1007/s11056-015-9513-5.
29. Jucker T., Fischer F. J., Chave J. et al. Tallo – a global tree allometry and crown architecture database // *Global Change Biology*. 2022. Vol. 28. P. 5254–5268. DOI:10.1111/gcb.16302.
30. Kao S.-C., Ganguly A. R. Intensity, duration, and frequency of precipitation extremes under 21st century warming scenarios // *Journal of Geophysical Research*. 2011. Vol. 116. Article D16119. DOI:10.1029/2010JD015529.
31. King D. A. Allometry and life history of tropical trees // *Journal of Tropical Ecology*. 1996. Vol. 12. P. 25–44.
32. Ledo A., Cornulier T., Illian J. B. et al. Re-evaluation of individual diameter : height allometric models to improve biomass estimation of tropical trees // *Ecological Applications*. 2016. Vol. 26(8). P. 2376–2382.
33. Lines E. R., Zavala M. A., Purves D. W. et al. Predictable changes in aboveground allometry of trees along gradients of temperature, aridity and competition // *Global Ecology and Biogeography*. 2012. Vol. 21. P. 1017–1028. DOI:10.1111/j.1466-8238.2011.00746.x.
34. Lopez-Serrano F., Garcia-Morote A., Andres-Abellan M. et al. Site and weather effects in allometries: a simple approach to climate change effect on pines // *Forest Ecology and Management*. 2005. Vol. 215. P. 251–270. DOI:10.1016/j.foreco.2005.05.014.
35. Malhi Y., Wood D., Baker T. R. et al. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests // *Global Change Biology*. 2006. Vol. 12. P. 1107–1138.
36. Moles A. T., Warton D. I., Warman L. et al. Global patterns in plant height // *Journal of Ecology*. 2009. Vol. 97. P. 923–932.
37. Molto Q., Hérault B., Boreux J. J. et al. Predicting tree heights for biomass estimates in tropical forests – a test from French Guiana // *Biogeosciences*. 2014. Vol. 11. P. 3121–3130.
38. Newton A. C., Cantarello E. Restoration of forest resilience: An achievable goal? // *New Forests*. 2015. Vol. 46. P. 645–668. DOI:10.1007/s11056-015-9489-1.
39. Nogueira E. M., Nelson B. W., Fearnside P. M. et al. Tree height in Brazil's "arc of deforestation": shorter trees in South and Southwest Amazonia imply lower biomass // *Forest Ecology and Management*. 2008. Vol. 255. P. 2963–2972.
40. Packard G. C. Multiplicative by nature: logarithmic transformation in allometry // *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*. 2014. Vol. 322(4). P. 202–207. DOI: 10.1002/jez.b.22570.
41. Paoli G., Curran, L., Slik, J.: Soil nutrients affect spatial patterns of aboveground biomass and emergent tree density in Southwestern Borneo // *Oecologia*. 2014. Vol. 155. P. 287–299. DOI:10.1007/s00442-007-0906-9, 2008.
42. Ruiz-Benito P., Lines E. R., Gomez-Aparicio L. et al. Patterns and drivers of tree mortality in Iberian forests: climatic effects are modified by competition // *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8. Article e56843. DOI: 10.1371/journal.pone.0056843.
43. Ryan M. G., Phillips N., Bond B. J. The hydraulic limitation hypothesis revisited // *Plant, Cell and Environment*. 2006. Vol. 29. P. 267–281.
44. Santos-del-Blanco L., Zas R., Notivol E. et al. Variation of early reproductive allocation in multi-site genetic trials of Maritime pine and Aleppo pine // *Forest Systems*. 2010. Vol. 19. P. 381–392. DOI: 10.5424/fs/2010193-9109.
45. Vizcaino-Palomar N., Ibanez I., Benito-Garzon M. et al. Climate and population origin shape pine tree height-diameter allometry // *New Forests*. 2017. Vol. 48. P. 363–379. DOI: 10.1007/s11056-016-9562-4.
46. World Weather Maps, 2007. Available at: <https://www.mapsofworld.com/referrals/weather>.

© Цепордей И. С., 2024

ИНВЕНТАРИЗАЦИОННАЯ ОЦЕНКА НАСАЖДЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ОЗЕЛЕНЕНИЯ И ГОРОДСКОГО ПИТОМНИКА (НА ПРИМЕРЕ Г. КРАСНОЯРСКА)

Е. В. Авдеева, Д. В. Иванов, Д. Е. Шпагин

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

Важным показателем состояния комфортности урбанизированных территорий является обеспеченность жителей города качественными озелененными территориями. В крупных городах Сибири сложная природная обстановка усугубляется техногенными нагрузками, соответственно создание (реконструкция) городских объектов озеленения необходимо осуществлять на основе оценки экологических рисков, проявление которых приводит к различным деградиационным процессам зеленых насаждений. Ограниченный ассортимент и количественный недостаток кустарников в озеленении города приводит к отсутствию важного кустарникового яруса в системе городского озеленения. Недостаточная представленность кустарников в озеленении города, слабая изученность их роста и развития не позволяет их качественное внедрение на объекты озеленения. В ходе исследований был изучен ассортимент кустарниковых растений на 24 объектах озеленения, представленные парками, скверами, улицами (проспектами) и бульваром, находящимися в 7 районах города Красноярска, подвергающиеся различным внешним факторам на их жизненное состояние. На июнь 2023 г. ассортимент исследуемых объектов озеленения представлен 24 видами кустарников.

Повсеместное распространение в городских насаждениях, но с разным участием, имеют 10 видов: сирень венгерская, карагана древовидная, жимолость татарская, роза морщинистая, кизильник блестящий, пузыреплодник калинолистный, рябинник рябинолистный, смородина двуликая, дерен белый, барбарис обыкновенный. В двух и одном типах насаждений встречаются по 7 видов растений, 1/3 часть установленного озеленительного ассортимента. Абсолютная встречаемость рассчитана для анализа количественного участия кустарников в структуре городских зеленых насаждений. Как показали результаты исследований, встречаемость кустарников варьируется от 4,2 % до 16,7 % у 14 видов (58 % состава). Однако более 25 % объектов имеют по 10 растений (42 % исследуемого состава). Стоит отметить, что редко встречающиеся виды преобладают в озеленении парков, реже используются в скверах и минимально в озеленении улиц. Наибольшее участие в озеленении приходится на сирень венгерскую, в равных долях ее использование отмечено в скверах и улицах, меньше в парках. Таким образом, увеличение доли кустарников в озеленении города, которые выполняют защитную функцию, а также эстетическую, приведет к повышению комфортности жизни на урбанизированных территориях.

Ключевые слова: кустарники, объекты озеленения, Красноярск, инвентаризация, насаждения.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 2, P. 53–62

INVENTORY ASSESSMENT OF PLANTINGS OF GREENING OBJECTS AND CITY NURSERY (BASED ON THE EXAMPLE OF KRASNOYARSK)

E. V. Avdeeva, D. V. Ivanov, D. E. Shpagin

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

An important indicator of the comfort level of urbanized areas is the provision of city residents with high-quality green areas. In large cities of Siberia, the complex natural environment is aggravated by technogenic loads; accordingly, the creation (reconstruction) of urban greening facilities must be carried out on the basis of an assessment of environmental risks, the manifestation of which leads to various degradation processes of green spaces. The limited assortment and quantitative lack of shrubs in city landscaping leads to the absence of an important shrub layer in the urban landscaping system. The insufficient representation of shrubs in city landscaping and poor knowledge of their growth and development do not allow their high-quality implementation on landscaping objects. During the research, an assortment of shrub plants was studied at 24 landscaping sites, represented by parks, squares, streets (avenues) and boulevards, located in 7 districts of the city of Krasnoyarsk, exposed to various external factors on their living condition. As of June 2023, the range of landscaping objects under study is represented by 24 types of shrubs. 10 species are widespread in urban plantings, but with different participation: Hungarian lilac, caragana tree, Tatarian honeysuckle,

rugose rose, brilliant cotoneaster, viburnum-leaved bladdercarp, mountain ash, two-needle currant, white dogwood, common barberry. In two and one types of plantings there are 7 species of plants, 1/3 of the established landscaping assortment. Absolute occurrence was calculated to analyze the quantitative participation of shrubs in the structure of urban green spaces. As research results have shown, the occurrence of shrubs varies from 4.2 % to 16.7 % in 14 species (58 % of the composition). However, more than 25 % of objects have 10 plants (42 % of the studied composition). It is worth noting that rare species predominate in the landscaping of parks, are less often used in public gardens and minimally in the landscaping of streets. The greatest participation in landscaping falls on the Hungarian lilac; its use is noted in equal shares in squares and streets, and less in parks. Thus, increasing the proportion of shrubs in the city's landscaping, which perform a protective as well as aesthetic function, will lead to an increase in the comfort of life in urbanized areas.

Keywords: *shrubs, landscaping objects, Krasnoyarsk, inventory, plantings*

ВВЕДЕНИЕ

Важным показателем состояния комфортности урбанизированных территорий является обеспеченность (как минимум нормативная) жителей города качественными озелененными территориями. При этом результаты исследований количественного и качественного состояния озелененных пространств показывают, что зеленые насаждения города Красноярск представляют не столько систему, сколько совокупность парковых, линейных, дворовых, санитарно-защитных зеленых территорий, в недостаточной степени ориентированных на формирование благоприятной экологической обстановки в различных частях города. В крупных городах Сибири сложная природная обстановка усугубляется техногенными нагрузками, соответственно создание (реконструкция) городских объектов озеленения необходимо осуществлять на основе оценки экологических рисков, проявление которых приводит к различным деградиационным процессам зеленых насаждений [1].

Для создания декоративных и долговечных насаждений в городских скверах и парках, для повышения экологической эффективности городских объектов озеленения, особенно в крупных промышленных центрах, к которым относится г. Красноярск, необходим качественный посадочный материал, адаптированный к местным географическим условиям и техногенным нагрузкам. Ограниченный ассортимент и количественный недостаток кустарников в озеленении города приводит к отсутствию важного кустарникового яруса в системе городского озеленения. Недостаточная представленность кустарников в озеленении города, слабая изученность их роста и развития не позволяет их качественное внедрение на объекты озеленения [2]. В горо-

де Красноярске на объектах озеленения прослеживается нехватка насаждений кустарников, которые выполняют защитную функцию, а также эстетическую, что ведет к повышению комфортности жизни на урбанизированных территориях.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При этом основным и наиболее эффективным методом создания искусственных насаждений является посадка растений, выращенных в питомниках. Данный метод обеспечивает надежность создаваемых культур, снижение расхода семян на их выращивание в несколько раз, чем при создании культур посевом, кроме того, уменьшается потребность в агротехнических уходах, часть работ с площади объектов озеленения переносится на питомник. В случае расположения питомника вблизи озелеяемого населенного пункта, растения являются адаптированными к местным природно-климатическим условиям [1–5]. Актуальность исследования обусловлена недостаточной изученностью использования кустарников на объектах озеленения с целью улучшения качества городской среды.

Объектами исследования являются кустарники, произрастающие на территории объектов озеленения города Красноярск и питомника МП «Управление зеленого строительства», находящиеся в 7 районах города. Пространственные характеристики исследуемых объектов озеленения и питомника МП «Управление зеленого строительства» (УЗС) представлены в табл. 1 и на рис. 1. Расположение объектов озеленения и мест произрастания исследуемых кустарников представлено на рис. 2.

Таблица 1
Пространственные характеристики объектов озеленения

№	Наименование (адрес)	Периметр, м	Площадь, га	ИПФО*
1	2	3	4	5
Центральный район				
1	Сквер «Победителей» (улица Качинская, 1)	1010	5,71	1,2
2	Проспект Мира	11056	1,10	29,7
3	Сквер им. А. С. Пушкина (проспект Мира, 75П/3)	154	0,14	1,2
Советский район				
4	Парк «Гвардейский» (ул. Новгородская, 5)	2023	17,97	1,4

Окончание табл. 1

№	Наименование (адрес)	Периметр, м	Площадь, га	ИПФО*
1	2	3	4	5
5	Сквер (улица Устиновича, 1а)	744	2,28	1,4
6	Улица Тельмана	14052	0,70	47,3
Октябрьский район				
7	Улица Калинина	20926	1,52	47,8
8	Сквер «Фестивальный» (ул. Новая Заря, 13)	923	2,24	1,8
9	Парк «Троя» (Проспект Свободный, 69)	1932	12,71	1,5
10	Питомник МП «УЗС» (ул. Становая, 1а/1)	1565	11,25	1,3
Железнодорожный район				
11	Улица Железнодорожников	4797	0,31	24,2
12	Сквер «Уют» (ул. Железнодорожников, 10)	312	0,43	1,3
13	Сквер (ул. Железнодорожников, 19)	305	0,36	1,4
Свердловский район				
14	Сквер (ул. Матросова, 10)	269	0,41	1,2
15	Сквер «Паниковка» (ул. Королева, 8а)	1320	5,17	1,6
16	Улица Судостроительная	12520	1,31	30,8
Кировский район				
17	Парк «Кировский» (ул. Кутузова, 91)	1658	6,6	1,8
18	Площадь и бульвар Маяковского (проспект Красноярский рабочий, 109)	1708	2,01	3,4
19	Проспект им. газеты «Красноярский рабо- чий»	12002	1,08	32,6
Ленинский район				
20	Сквер «Одесский» (ул. Одесская, 7)	675	1,5	1,6
21	Парк им. 1 мая (ул. Парковая, 19)	897	4,33	1,2
22	Улица Юности	5630	0,66	19,5

*ИПФО – индекс пространственной формы объекта.

Индекс формы объекта озеленения оценивает уровень рекреационной комфортности посетителей и экологической устойчивости насаждений на данной территории. Пространственная форма объекта озеленения оценивается соотношением между площадью и периметром индексом формы участка. Наиболее эффективной геометрической формой в объектах озеленения является круг, так как он охватывает наибольшую площадь, периметр при этом минимален. В целом индексом формы I рассчитывается по формуле, $I = P/(2\sqrt{S\pi})$, где P – периметр, м; S – площадь участка, м².

Если формой объекта озеленения является круг, то индекс его формы равен 1. При отличных очертаниях, данный индекс приобретает значения $I > 1$, причем, чем больше значение индекса, тем меньшей экологической устойчивостью обладают озелененные территории, что влечет за собой разработку комплекса мероприятий по оптимизации территории. Индексы, достигающие значений от 2 до 5, говорят о вытянутой

или изрезанной конфигурации, сложных границах территории и о значительной незащищенности внутренних пространств данных озелененных территорий. При значении индекса формы: от 1 до 1,20 – способствует повышению рекреационной комфортности посетителей и экологической устойчивости насаждений на данном объекте. Пространственная форма объекта при данных значениях является экологически эффективной; от 1,21 до 1,40 – пространственная форма объекта способствует снижению рекреационной комфортности посетителей и экологической устойчивости зеленых насаждений; от 1,41 и больше – пространственная форма объекта способствует снижению рекреационной комфортности посетителей и экологической устойчивости зеленых насаждений – очень низкая экологическая устойчивость озелененных территорий из-за незащищенности внутренних пространств объекта (как правило узкая линейная или изрезанная форма объекта) [6].

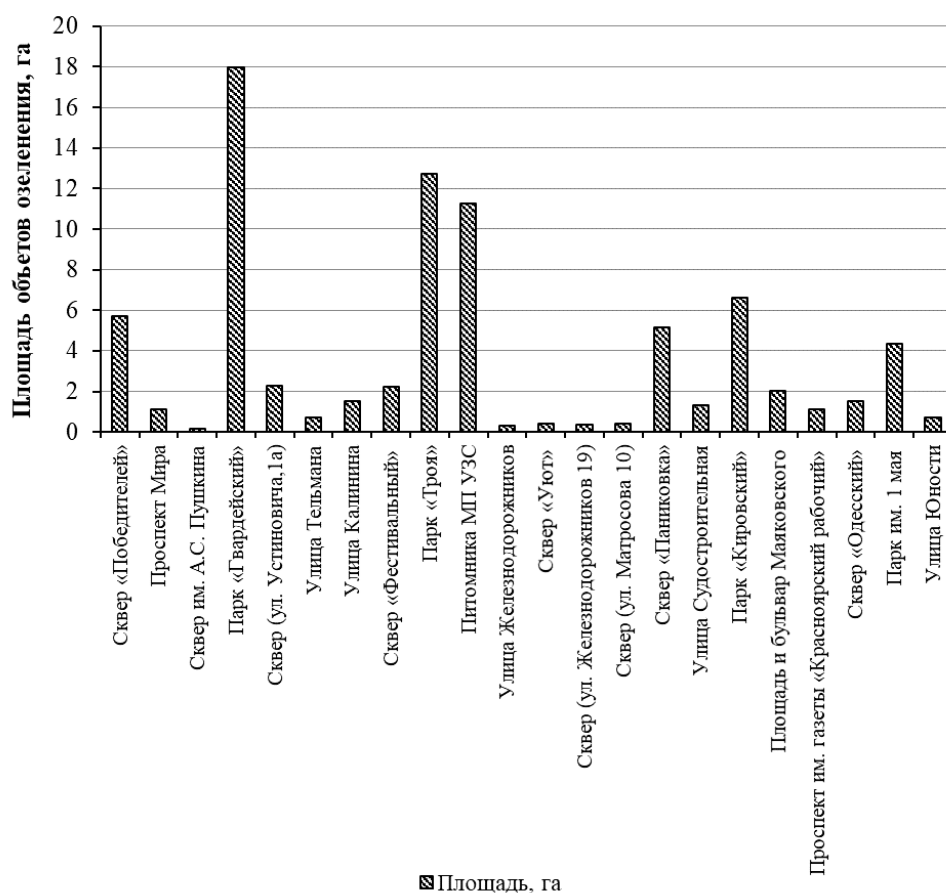


Рис. 1. Площадь исследуемых объектов озеленения и питомника МП «Управление зеленого строительства»

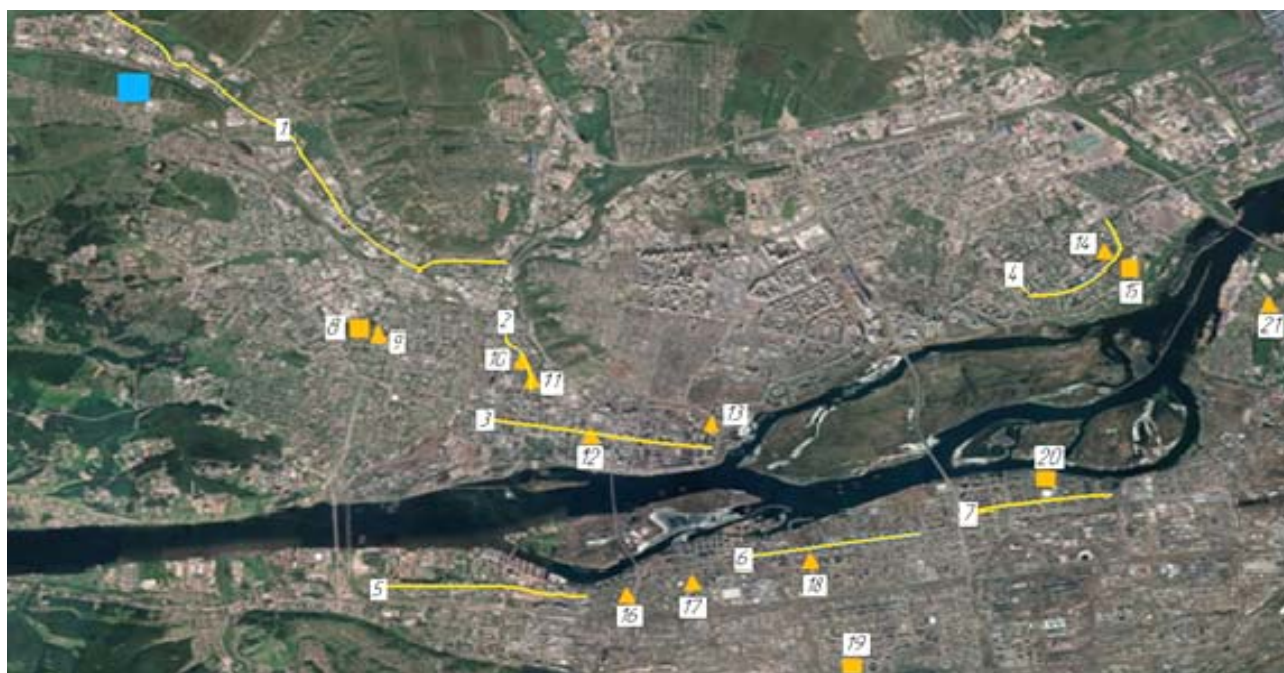


Рис. 2. Исследуемые объекты озеленения и питомник МП «УЗС»:

- улицы (проспекты): 1 – ул. Калинина; 2 – ул. Железнодорожников; 3 – просп. Мира; 4 – улица Тельмана, 5 – улица Судостроительная; 6 – просп. им. газеты «Красноярский рабочий»; 7 – улица Юности;
- ▲ – скверы: 9 – Сквер (ул. Железнодорожников, 19); 12 – Сквер имени А. С. Пушкина; 13 – Сквер «Победителей»; 14 – Сквер (Устиновича, 1а); 16 – Сквер (Матросова, 10); 17 – Сквер «Фестивальный»; 10 – сквер «Уют»; 11 – сквер «Паниковка»; 18 – Площадь и бульвар Маяковского; 21 – Сквер «Одесский»;
- – парки: 8 – Парк «Троя»; 15 – Парк «Гвардейский»; 19 – Парк «Кировский»; 20 – Парк им. 1 мая;
- – Питомник МП УЗС

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе инвентаризационной оценки исследуемых объектов озеленения получены количественные характеристики древесной растительности, получены проанализированы относительные показатели, характеризующие баланс видового состава, ярусность насаждений и их соответствие нормативным значениям [8]. Количество деревьев и кустарников на объектах озеленения представлено в табл. 2.

Насаждения объектов озеленения делятся:

– на растения основного ассортимента – предназначены для создания основной массы городской зелени. Растения основного ассортимента должны преобладать в городских посадках, составляя не менее 60 % в общем составе зелёных насаждений. В основ-

ной ассортимент включены наиболее декоративные деревья и кустарники местной флоры и устойчивые в условиях городской среды;

– растения дополнительного ассортимента – рекомендуются для декоративной отделки основных пород в посадках разного типа на озеленяемых объектах общего и ограниченного пользования. Растения дополнительного ассортимента в целом должны составлять около 30 % общего состава городских насаждений, это должны быть вполне устойчивые интродуцированные деревья и кустарники, а также высокодекоративные растения местной флоры [7]. Количество растений основного и дополнительного ассортимента на исследуемых объектах озеленения представлено в табл. 2, баланс ассортимента проиллюстрирован на рис. 3–5.

Таблица 2

Количественные характеристики объектов озеленения

Всего				Состав насаждений		Баланс видового	
Количество, шт.		Количество, шт./га		деревья : кустарники		состава, %	
деревья	кустарники	деревья	кустарники	существующий, шт.	рекомендуемый (недостающее количество кустарников, % , шт.)	основной	дополнительный
Центральный район							
1. Сквер «Победителей»							
757	501	132	87	757 : 501 1 : 0,661	757 : 9084 1 : 12 (8583; 95,7)	95,9	4,1
2. Проспект Мира							
706	15	82	2	706 : 15 1 : 0,021	706 : 2824 1 : 4 (2809; 99,5)	95,4	4,6
3. Сквер им. А. С. Пушкина							
32	245	229	1750	32 : 245 1 : 7,656	32 : 384 1 : 12 (139; 36,2)	74,7	25,3
Советский район							
4. Парк «Гвардейский»							
3055	3168	170	176	3055 : 3168 1 : 1,037	3055 : 30550 1 : 10 (27382; 89,6)	94,9	5,1
5. Сквер (Устиновича, 1а)							
536	7	235	3	536 : 7 1 : 0,013	536 : 6432 1 : 12 (6425; 99,9)	99,8	0,2
6. Улица Тельмана							
1021	795	146	62	1021 : 795 1 : 0,779	1021 : 4084 1 : 4 (3289; 80,5)	86,4	13,6
Октябрьский район							
7. Улица Калинина							
925	1222	51	67	925 : 1222 1 : 1,321	925 : 3700 1 : 4 (2478; 67,0)	98,7	1,3
8. Сквер «Фестивальный»							
577	97	258	41	577 : 97 1 : 0,168	577 : 6924 1 : 12 (6827; 98,6)	63,9	36,1
9. Парк «Троя»							
3708	1064	292	84	3708 : 1064 1 : 0,287	3708 : 37080 1 : 10 (36016; 97,1)	74,2	25,8
Железнодорожный район							
10. Улица Железнодорожников							
133	149	46	52	133 : 149 1 : 1,120	133 : 532 1 : 4 (383; 72,0)	88,3	11,7

Окончание табл. 2

Всего				Состав насаждений		Баланс видового	
Количество, шт.		Количество, шт./га		деревья : кустарники		состава, %	
деревья	кустарники	деревья	кустарники	существующий, шт.	рекомендуемый (недостающее количество кустарников, % , шт.)	основной	дополнительный
11. Сквер «Уют»							
84	288	195	670	84 : 288 1 : 3,429	84 : 1008 1 : 12 (720; 71,4)	63,7	36,3
12. Сквер (ул. Железнодорожников, 19)							
76	52	211	144	76 : 52 1 : 0,684	76 : 912 1 : 12 (860; 94,3)	60,2	39,8
Свердловский район							
13. Сквер (Матросова, 10)							
92	8	224	20	92 : 8 1 : 0,087	92 : 1104 1 : 12 (1096; 99,3)	89,0	11,0
14. Сквер «Паниковка»							
1029	213	199	41	1029 : 213 1 : 0,206	1029 : 12348 1 : 12 (12135; 98,3)	85,3	14,7
15. Улица Судостроительная							
742	3167	105	446	742 : 3167 1 : 4,264	742 : 2968 1 : 4	88,3	11,7
Кировский район							
16. Парк «Кировский»							
1722	1583	261	240	1722 : 1583 1 : 0,919	1722 : 17220 1 : 10 (15637; 90,8)	65,6	34,4
17. Площадь и бульвар Маяковского							
289	264	144	131	289 : 264 1 : 0,913	289 : 3468 1 : 12 (3204; 92,4)	93,3	6,7
18. Проспект им. газеты «Красноярский рабочий»							
673	4012	50	296	673 : 4012 1 : 5,953	673 : 2692 1 : 4	92,5	7,5
Ленинский район							
19. Сквер «Одесский»							
426	96	284	64	426 : 96 1 : 0,225	426 : 5112 1 : 12 (5016; 98,1)	70,1	29,9
20. Парк им. 1 мая							
1164	1716	269	395	1164 : 1716 1 : 1,474	1164 : 11640 1 : 10 (9924; 85,3)	93,3	6,7
21. Улица Юности							
613	345	214	102	613 : 345 1 : 0,563	613 : 2452 1 : 4 (2107; 85,9)	76,8	23,2

Результаты анализа показали, что соотношение основного и дополнительного ассортименты исследуемых объектов озеленения соответствует рекомендуемому. Также важным принципом при создании зеленых насаждений на объектах озеленения является соотношение количества деревьев и кустарников. Нормы посадки деревьев и кустарников в различных видах городских зеленых насаждений корректировались на основании изучения опыта проектирования городских

объектов за последние 10–15 лет и проведенных натурных обследований зеленых насаждений различных категорий по природным зонам Российской Федерации. Для г. Красноярска для парков рекомендуемое соотношение деревьев и кустарников составляет 1 : 12, для скверов – 1 : 14, для улиц 1:4 [8]. Существующее и рекомендуемое количество кустарников исследуемых объектов озеленения указано в табл. 2 и на рис. 6–8, абсолютная встречаемость на рис. 9.

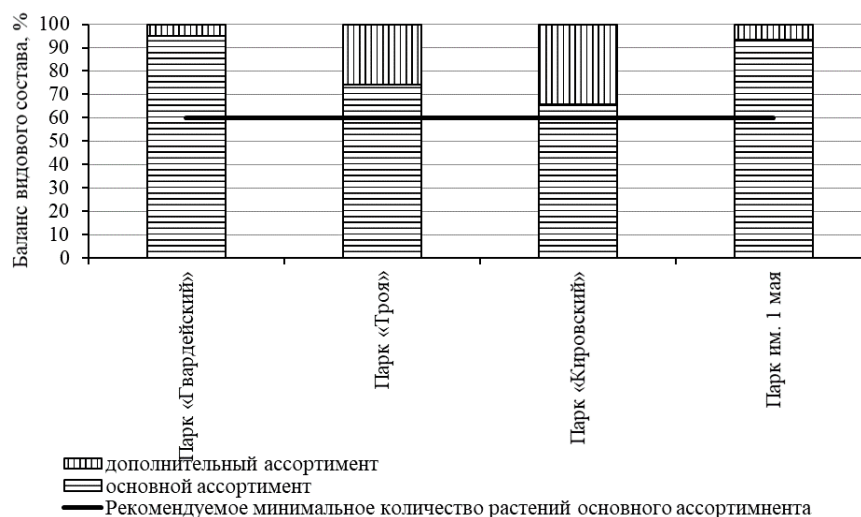


Рис. 3. Баланс ассортимента древесных растений (основного и дополнительного) парков

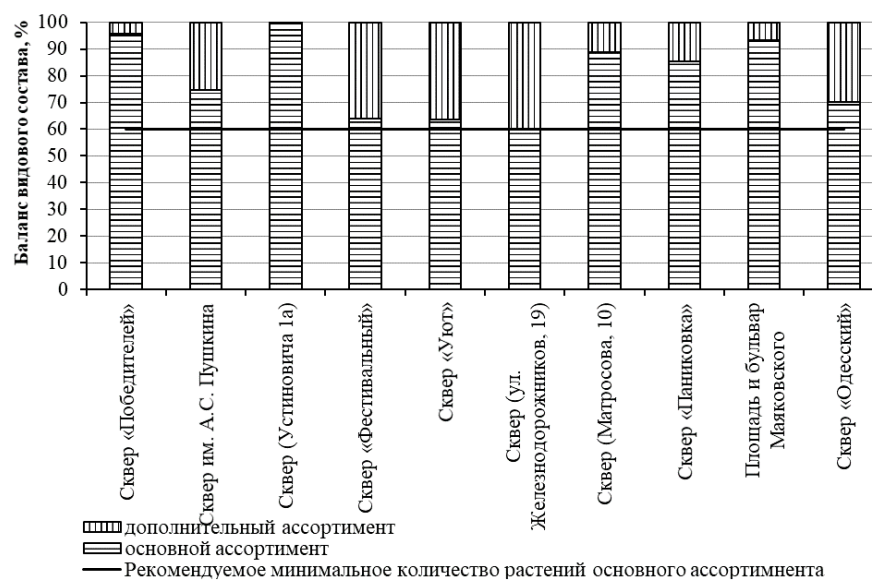


Рис. 4. Баланс ассортимента древесных растений (основного и дополнительного) скверов

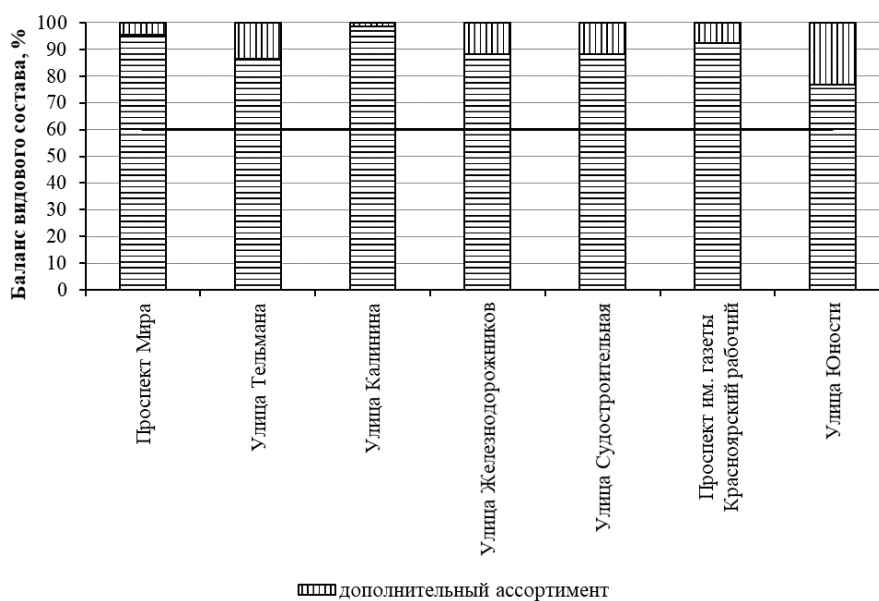


Рис. 5. Баланс ассортимента древесных растений (основного и дополнительного) улиц (проспектов)

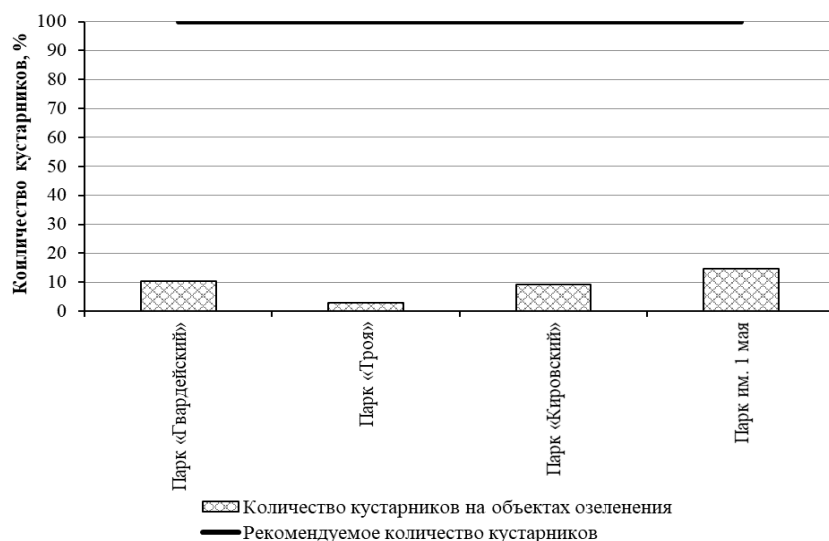


Рис. 6. Наличие кустарников в парках относительно рекомендуемого количества

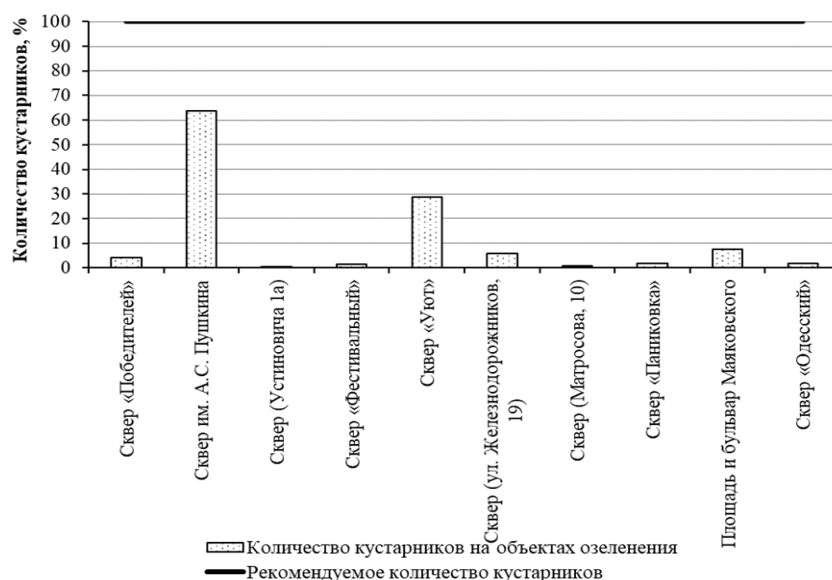


Рис. 7. Наличие кустарников в скверах относительно рекомендуемого количества

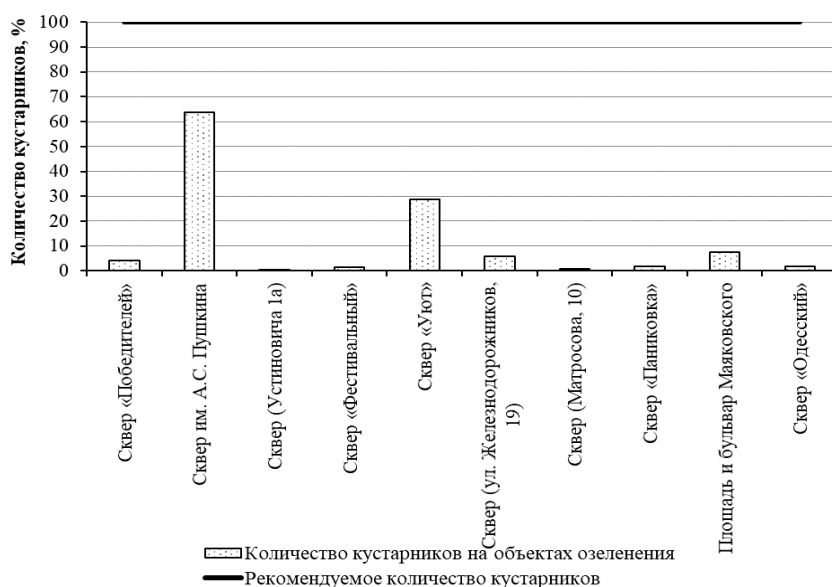


Рис. 8. Наличие кустарников на улицах (проспектах) относительно рекомендуемого количества

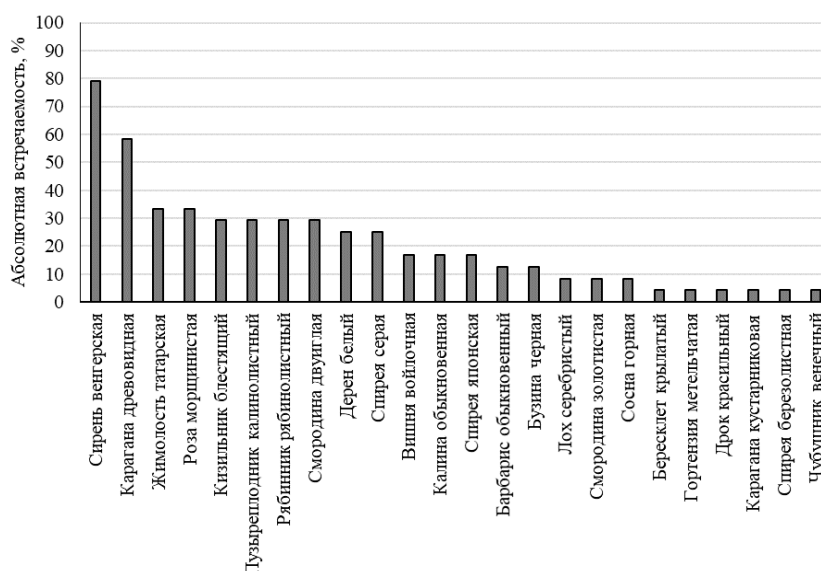


Рис. 9. Абсолютная встречаемость на исследуемых объектах

Результаты анализа ИПФО показали, что среди обследованных объектов только на 4 значения равны 1,20, что способствует повышению рекреационной комфортности посетителей и экологической устойчивости насаждений, при данных значениях является экологически эффективной – это крупный парк им. 1 Мая и скверы «Победителей», на ул. Матросова и пр. Мира «им. А. С. Пушкина». Шесть объектов имеют значения индекса до 49, что говорят о вытянутой конфигурации территории и о значительной незащищенности внутренних пространств данных озелененных территорий – данными объектами являются городские улицы. На остальных объектах индекс формы находится в промежуточных пределах, данная пространственная форма объекта способствует снижению рекреационной комфортности посетителей и экологической устойчивости зеленых насаждений.

В ходе исследований был изучен ассортимент кустарниковых растений на 24 объектах озеленения, представленные парками, скверами, улицами (проспектами) и бульваром, находящимися в 7 районах города Красноярска, подвергающиеся различным внешним факторам на их жизненное состояние. На июнь 2023 г. ассортимент исследуемых объектов озеленения представлен 24 видами кустарников.

Повсеместное распространение в городских насаждениях, но с разным участием, имеют 10 видов: сирень венгерская, карагана древовидная, жимолость татарская, роза морщинистая, кизильник блестящий, пузыреплодник калинолистный, рябинник рябинолистный, смородина двуликая, дерен белый, барбарис обыкновенный. В двух и одном типах насаждений встречаются по 7 видов растений, 1/3 часть установленного озеленительного ассортимента.

Больше всего видов растений выявлено на проспекте имени газеты «Красноярский рабочий» – 11 видов, что связано с его протяженностью – 12 км, такое же количество присутствует в парке «Гвардейский». Самыми бедными по флористическому составу оказались: проспект Мира и сквер по адресу ул. Устиновича 1а, на данных объектах их кустарников произрастает

только сирень венгерская и кизильник блестящий. Анализ видового разнообразия показал, что среднее количество видов составляет 6 штук на один объект озеленения. Около 48 % насаждений характеризуются небольшим видовым разнообразием – до 5 видов. Лишь треть (33 %) имеет от 5 до 8 видов растений.

Абсолютная встречаемость была рассчитана для анализа количественного участия кустарников в структуре городских зеленых насаждений. Как показали результаты исследований, встречаемость кустарников варьируется от 4,2 % до 16,7 % у 14 видов (58 % состава). Однако более 25 % объектов имеют по 10 растений (42 % списочного состава). Стоит отметить, что редко встречающиеся виды значительно преобладают в озеленении парков (включают 37,5 % видового состава), реже используются в скверах (29 %) и еще реже в озеленении улиц (21 %). Наибольшее участие в озеленении приходится на Сирень венгерскую (79,2 % видового состава), в равных долях ее использование для скверов и улиц (по 42 %), намного меньше в парках (16 %) (рис. 9).

ВЫВОДЫ

Проанализирован баланс основного и дополнительного ассортимента кустарников. На всех объектах озеленения баланс соблюдается, установлено, что на 19 объектах озеленения кустарниковый ярус недостаточен для удовлетворения защитных и эстетических потребностей города, а также части видов высаженных кустарников условия города Красноярск не подходят для полноценного и здорового роста. Недостаток кустарников на объектах городского озеленения ведет к ухудшению экологической ситуации и снижению комфортности проживания в урбанизированной среде для населения. В результате проведенных исследований кустарников на объектах озеленения города Красноярска и их наличия в питомнике МП «УЗС» было выделено 5 видов для дальнейшего исследования: сирень венгерская, жимолость татарская, карагана древовидная, кизильник блестящий и смородина двуликая.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Коропачинский И. Ю., Лоскутов Р. И. Древесные растения для озеленения Красноярска. Новосибирск : Сиб. отд-ние Рос. Акад. наук; Центральный сибирский ботанический сад; Институт леса им. В. Н. Сукачева, 2014. 320 с. Текст: непосредственный.
2. Шихова Н. С., Полякова Е. В. Деревья и кустарники в озеленении города Владивостока. М. : ВINITI, 2006. 236 с. Текст: непосредственный.
3. Горodkov A. V. Архитектура, проектирование и организация культурных ландшафтов. СПб. : Проспект науки, 2013. 416 с. Текст: непосредственный.
4. Авдеева Е. В., Черникова К. В. Урбодендрология. Тополь бальзамический (*populus balsamifera* L.). Красноярск : СибГУ, 2021. 206 с. Текст: непосредственный.
5. Сапелин А. А. Декоративно-лиственные древесные и кустарниковые растения в цветочном оформлении. 2012. Текст: электронный // РусПитомники: сайт. URL: <https://www.ruspitomniki.ru/article/shagi-navstrechu-gorod-i-pitomniki.html/id/467>. Текст: электронный.
6. Полякова Е. В. Особенности развития и жизнеспособность древесных растений в условиях городской среды (на примере г. Владивостока) : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.05 : Владивосток, 2004. 24 с
7. Бабич Н. А., Залывская О. С., Травникова Г. И. Интродуценты в зеленом строительстве северных городов : монография. Архангельск : Архангельский государственный технический университет, 2008. 143 с. Текст: непосредственный.
8. Нормы посадки деревьев и кустарников городских зеленых насаждений: отдел научно-технической информации АКХ: дата утверждения 11.12.1987 / Министерство жилищно-коммунального хозяйства РСФСР. Москва, 1988. 82 с. Текст: непосредственный.

REFERENCES

1. Koropachinskiy I. Yu., Loskutov R. I. Drevesnyye rasteniya dlya ozeleneniya Krasnoyarska. Novosibirsk : Sib. otd-niye Ros. Akad. nauk; Tsentral'nyy sibirskiy botanicheskiy sad; Institut lesa im. V. N. Sukacheva, 2014. 320 s. Tekst: neposredstvennyy.
2. Shikhova N. S., Polyakova E. V. Derev'ya i kustarniki v ozelenenii goroda Vladivostoka. M. : Viniti, 2006. 236 s. Tekst: neposredstvennyy.
3. Gorodkov A. V. Arkhitektura, proyektirovaniye i organizatsiya kul'turnykh landshaftov. SPb. : Prospekt nauki, 2013. 416 s. Tekst: neposredstvennyy.
4. Avdeyeva E. V., Chernikova K. V. Urbodendrologiya. Topol' bal'zamicheskiy (*populus balsamifera* L.). Krasnoyarsk : SibGU, 2021. 206 s. Tekst: neposredstvennyy.
5. Sapelin A. A. Dekorativno-listvennyye drevesnyye i kustarnikovyye rasteniya v tsvetochnom oformlenii. 2012. Tekst: elektronnyy // RusPitomniki: sayt. URL: <https://www.ruspitomniki.ru/article/shagi-navstrechu-gorod-i-pitomniki.html/id/467>. Tekst: elektronnyy.
6. Polyakova E. V. Osobennosti razvitiya i zhiznesposobnost' drevesnykh rasteniy v usloviyakh gorodskoy sredy (na primere g. Vladivostoka) : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk : 03.00.05 : Vladivostok, 2004. 24 s
7. Babich N. A., Zalyvskaya O. S., Travnikova G. I. Introdutsenty v zelenom stroitel'stve severnykh gorodov : monografiya. Arkhangel'sk : Arkhangel'skiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 2008. 143 s. Tekst: neposredstvennyy.
8. Normy posadki derev'yev i kustarnikov gorodskikh zelenykh nasazhdeniy: otdel nauchno-tekhnicheskoy informatsii AKKh: data utverzhdeniya 11.12.1987 / Ministerstvo zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva RSFSR. Moskva, 1988. 82 s. Tekst: neposredstvennyy.

© Авдеева Е. В., Иванов Д. В., Шпагин Д. Е., 2024

Поступила в редакцию 20.11.2023
Принята к печати 15.04.2024

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.81

DOI: 10.53374/1993-0135-2024-2-63-72

Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. XLII, № 2. С. 63–72

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОФОБИЗИРУЮЩЕЙ И АНТИСЕПТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ В ВИДЕ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПЛАСТИКОВ БЕЗ ДОБАВЛЕНИЯ СВЯЗУЮЩИХ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНОГО ПРЕСС-СЫРЬЯ*

А. В. Артёмов, В. Г. Буриндин, А. С. Ершова

Уральский государственный лесотехнический университет
Российская Федерация, 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
E-mail: artemovav@m.usfeu.ru

В настоящее время отходы производства в виде гидролизного лигнина и лигносульфонатов от предприятий целлюлозно-бумажной и гидролизной промышленности являются крупнотоннажными отходами, которые требуют проработки решений по их утилизации и применению в качестве вторичного источника сырья. Предлагаются различные решения, одно из которых рассматривает гидролизный лигнин как компонент для получения древесных и композиционных материалов. Данным исследованием было установлено влияние добавки в виде гидролизного лигнина к древесному пресс-сырью на физико-механические свойства пластика без связующих веществ (ПБС), в том числе водо- и биостойкость. Показано, что введение в пресс-композицию на основе древесного наполнителя (древесная мука) гидролизного лигнина, увеличиваются показатели водостойкости ПБС, полученного методом горячего прессования в закрытых пресс-формах. Определены рациональные значения получения ПБС на основе древесного наполнителя с добавлением 40 % масс. гидролизного лигнина с высокими эксплуатационными свойствами. Изучена динамика изменения показателей водостойкости (водопоглощение и разбухание) и биостойкости ПБС по отношению к почво-грунту за 90 суток. Установлено, что при экспозиции 90 суток ПБС с гидролизным лигнином в водной среде и почво-грунте, наблюдается минимальная динамика снижения показателей водостойкости и потери массы. Результаты микроскопирования и визуальная оценка образцов ПБС показали, что первоначальные процессы деструкции изучаемого материала протекают за счет избыточного водонасыщения древесного наполнителя с последующим его разрушением. Использование гидролизного лигнина для древесного пресс-сырья можно рассматривать как гидрофобизирующую и антисептическую добавку для получения материалов на основе ПБС.

Ключевые слова: пластики, древесная мука, гидролизный лигнин, гидрофобизатор, антисептик, физико-механические свойства.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 2, P. 63–72

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HYDROPHOBIZING AND ANTISEPTIC ADDITIVES IN THE FORM OF HYDROLYSIS LIGNIN ON THE PERFORMANCE PROPERTIES OF PLASTICS WITHOUT THE ADDITION OF BINDERS BASED ON WOOD PRESS RAW MATERIALS

A. V. Artemov, V. G. Buryndin, A. S. Ershova

The Ural State Forest Engineering University
37, Sibirskiy trakt, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation
E-mail: artemovav@m.usfeu.ru

Currently, production waste in the form of hydrolyzed lignin and lignosulfonates from pulp and paper and hydrolysis industries is large-tonnage waste that requires solutions for their disposal and use as a secondary source of raw materials. Various solutions are proposed, one of which considers hydrolytic lignin as a component for the production of wood and composite materials. This study established the effect of an additive in the form of hydrolytic lignin to wood press raw materials on the physical and mechanical properties of plastic without resins (PWR), including water and biostability. It is shown that the introduction of hydrolyzed lignin into the press composition based

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках научного проекта «FEUG-2020-0013».

on wood filler (wood flour) increases the water resistance of PWR obtained by hot pressing in closed molds. Rational values of obtaining PWR based on wood filler with the addition of 40 % by weight of hydrolyzed lignin with high performance properties have been determined. The dynamics of changes in the indicators of water resistance (water absorption and swelling) and biostability of PWR in relation to the soil for 90 days has been studied. It was found that when exposed to 90 days of PWR with hydrolyzed lignin in the aquatic environment and soil, there is a positive dynamics of a decrease in water resistance and weight loss. The results of microscopy and visual evaluation of the samples of PWR showed that the initial processes of destruction of the studied material proceed due to excessive water saturation of the wood filler with its subsequent destruction. The use of hydrolytic lignin for wood press raw materials can be considered as a hydrophobic and antiseptic additive for obtaining materials based on PWR.

Keywords: *plastics, wood flour, hydrolysis lignin, hydrophobizer, antiseptic, physical and mechanical properties.*

ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетов государственной политики в области охраны окружающей среды является использование наилучших доступных технологий (НДТ) при обращении с отходами производства и потребления, суть которых заключается в максимальном использовании исходного сырья и материалов, а также в сокращении образования отходов путем их использования в качестве вторичного источника сырья. Для хозяйствующих субъектов, которые характеризуются максимальным вкладом в загрязнение окружающей среды, нормирование своего негативного воздействия осуществляется на принципах НДТ и применение энерго- и ресурсосберегающих технологий является обязательным.

Согласно действующим нормативным положениям к таким субъектам можно отнести предприятия целлюлозно-бумажного комплекса (производство целлюлозы и древесной массы, бумаги и картона), гидролизной промышленности (производство спиртов). Для данных предприятий характерно образование основного многотоннажного отхода в виде гидролизного лигнина. Основные направления по минимизации данного вида отхода – это либо его обезвреживание путем сжигания, либо его размещение на специально оборудованных для данных целей сооружениях. И в том, и в другом случае имеется не соответствие требованиям национальной политики в области рационального природопользования и экологической безопасности.

Сегодня ряд научных направлений предлагают различные пути по вопросу утилизации гидролизного лигнина и лигносульфонатов от предприятий целлюлозно-бумажной и гидролизной промышленности [1-4].

Широкое распространение получило применение лигнинсодержащих веществ в качестве наполнителя с целью получения различных композиционных материалов, как с применением синтетических полимерных материалов, так и на основе полимеров природного происхождения [5-8].

В работе [9] отмечается низкое водопоглощение и высокая ударная вязкость композитов с гидролизным лигнином и полиэтиленом (ПЭНД). Отмечается, что данные свойства материала являются важнейшим конкурентным преимуществом. Для опытно-промышленной апробации рекомендуется композит следующего состава: гидролизный лигнин – 30 %, ПЭНД – 68,0 %, компатибилизатор – 0,5 %, стеариновая кислота – 0,75 %, окисленный полиэтилен – 0,75 %.

В другой работе [10] были разработаны смеси полипропилена (PP) и лигносульфоната натрия (LGNa)

для оценки потенциального получения легкого, теплоизоляционного и огнестойкого материала. Смеси были получены путем смешивания и оценивались с помощью физических, морфологических, термических испытаний, испытаний на теплопроводность и воспламеняемость. Полученные результаты свойств были сопоставлены с контрольными (чистыми) образцами. Результаты показали, что при увеличении содержания LGNa с 10 до 40 масс.% образуется гетерогенная смесь с большим количеством разнородных структур. Кроме того, было установлено, что добавление LGNa не влияет на плотность и коэффициент теплопроводности композитов из исследуемых смесей. Однако при содержании LGNa в смеси более 20 масс.%, показатели термо- и огнестойкости значительно снижаются. В целом отмечается, что имеется потенциал для использования лигносульфоната в качестве реакционноспособного компонента в различных полимерных смесях.

В исследовании [11] описывается применение двухкомпонентных наполнителей на основе лигнина и полиэтилена низкой плотности (ПВД) с получения пленочного материала. Изучались композиты ПВД и наполнителей в количестве 5 масс.% двухфазных систем MgO и MgO-лигнин с различным количеством лигнина. Было установлено, что наилучшее совмещение ПВД и наполнителя MgO-лигнина наблюдались в случае композиции в соотношении 1: 5.

В эксперименте [12] в качестве исходных компонентов для исследований композита использовали полиэтилен высокой плотности (ПЭ), полиэтилен с привитым малеиновым ангидридом (ПМА) в качестве связующего компонента и гидролизный лигнин. Результаты термогравиметрических анализов образцов полученного пластика, показали, что его термодеструкция проходит в одну стадию, что свидетельствует об однородной структуре полученного материала и равномерным распределением частиц лигнина по всему объему образца. Физико-механические анализы полученных образцов лигно-органопластиков показали высокие значения сопротивления разрыву и модуля упругости по сравнению с контрольным образцом чистого полиэтилена.

Исследовано [13] получение лигнопенополиуретанов на основе отходов технических гидролизных лигнинов, как свежеполученных, так и пролежавших в отвалах длительное время. Установлено, что получаемые материалы обладают высокими теплоизолирующими свойствами, которые соответствуют стандартам теплоизолирующих материалов. Было установ-

лено, что длительное хранение технического гидролизного лигнина при атмосферных условиях, не оказывает существенного влияния на физико-механические свойства получаемых лигнопенополиуретанов.

Были получены [14] композитные наночастицы (NPS), состоящие из лигнина и различных производных полисахаридов (PS). При синергетическом подходе PS действует как биосовместимая матрица, которая образует наночастицы NPS, в то время как лигнин является функциональным соединением с терапевтическим потенциалом (например, антиоксидантным, антимикробным, противовирусным).

Авторы [14] считают, что крафт-лигнин (KL) может быть отличным наполнителем для композитов, поскольку он обладает механическими и термическими свойствами и снижает стоимость и массу получаемых изделий. Так, например, термопластичные эластомерные пленки (TPS) были получены литьем с использованием диметилсульфоксида (DMSO) в качестве растворителя и добавок с 2, 4 и 8 % KL. Образцы пленок TPS и композиций с KL также были проанализированы на биodeградацию. Было установлено, что увеличение процентного содержания KL приводит к увеличению гидрофобности. Полученные образцы композитов показали непрерывный и прогрессирующий процесс биodeградации, полностью разлагаясь в течение 10 дней. Наилучшие результаты в большинстве тестов были получены для пленок TPS с содержанием 4 % KL.

В ходе работы [16] был проведен сравнительный анализ физико-механических свойств композитного материала на основе полигидроксibuтирата (ПГБ) с двумя видами наполнителей: древесной мукой и гидролизным лигнином. Результаты выполненной работы показали, что введение наполнителей в полимерную матрицу ПГБ оказывает значительное влияние на основные характеристики вязкоупругости композитов. Выявлено, что введение в матрицу до 40 масс.% измельченного лигнина и древесной муки, вызывает повышение на 25–40 % динамического модуля упругости. Такой же характер носят и данные по пределу прочности на растяжение. При дальнейшем повышении количества наполнителя, модуль упругости снижается. При этом результаты исследований композитов на ударную вязкость выявили, что наличие в составе композита наполнителей снижает ударную вязкость, независимо от вида и количества наполнителя.

В работе [17] изучались физико-механические свойства полимерных композиционных материалов на основе поливинилхлорида, отходов производства флизелиновых обоев и древесной муки. Совместное использование отходов производства флизелиновых обоев и древесной муки в качестве наполнителя позволяет повысить физико-механические свойства по сравнению с образцами, содержащими только один из типов наполнителя. Предлагается использование отходов производства флизелиновых обоев в качестве частичной замены древесной муки в качестве наполнителя при производстве полимерных композиционных материалов на основе поливинилхлорида.

Также авторы [18] отмечают, что древесная мука является классическим наполнителем при заполнении биокомпозита, однако требует правильной подготов-

ки сырья и его стоимость весьма высока. В этой связи актуальным становится наполнение биоразлагаемого композиционного материала гидролизным лигнином, отходы которого на гидролизном производстве достаточно большие и практически не утилизируются.

Другое направление исследований посвящено использованию лигнина с целью модификации смол для получения древесно-композиционных материалов [19].

Было изучено [20] влияние модификации фенолформальдегидных смол (ФФС) карбонизированным гидролизным лигнином (35 % растворы реагентов марки S-Drill™ BND95 и S-Drill™ CL производства ООО «СинерджиКом», республика Беларусь) на физико-механические свойства фанеры. Применение изучаемых рецептур позволяют уменьшить влагопоглощение на 12,3 % и 6,5 % и объемное разбухание на 6,2 % и 10,8 %, увеличить предел прочности на 31,3 % и 26,5 % для S-Drill™ BND95 и S-Drill™ CL соответственно. Также было установлено, что использование карбонизированного гидролизного лигнина в качестве модификатора ФФС позволяет получать фанеру класса эмиссии E0.

Также предложено [21] использование продуктов окислительной деструкции гидролизного лигнина в виде поверхностно-активных веществ на основе поликарбоксилатного лигнина S-Drill™ CL (марка А) с целью повышения эффективности карбамидоформальдегидной смолы (КФС) для древесных плит. Использование кислой модификации лигниновых реагентов в качестве ускорителя отверждения позволяет обеспечить повышение производительности плитных производств до 9 % путем увеличения пресс-фактора за счет снижения времени желатинизации величину от 20 до 50 %, снизить расход КФС при сохранении требуемого уровня физико-механических показателей древесных плит.

С целью повышения связующей способности жидких технических лигносульфонатов была осуществлена их модификация карбоксиметилцеллюлозой (КМЦ) и карбамидоформальдегидной смолой: жидкой (КФЖ) и малотоксичной (КФС) [22]. Установлено, что наибольшая связующая способность при прессовании металлобrikетов достигается при использовании КФС с расходом 5 массовых процентов к техническому лигносульфонату.

В работе [23] указывается, что в состав гидролизного лигнина и микологически разрушенной древесины входят соединения, содержащие полярные функциональные группы и основными экстрактивными веществами микологически разрушенной древесины являются соединения фенольной природы. Эти соединения могут выступать в роли сшивающих агентов при пиролизной обработке лигнина.

При пьезотремической обработке лигнинцеллюлозосодержащего сырья следует набухание и развитие склеивающих свойств лигнина [24].

При получении пьезотермопластиков (пластики без связующих веществ (ПБС)) из комбинированного пресс-материала (из древесных частиц и гидролизного лигнина смешанных в различных соотношениях) можно получать материал высокой прочности и водопорности [25]. Так, за 24 часа водопоглощение пластиков, изготовленных из 100 % березовых опилок,

составило 38 %, а пластиков, изготовленных из 100 % гидролизного лигнина – 13 %; разбухание по толщине – 28 % и 6 % соответственно. За 20 суток водопоглощение пластиков, изготовленных из 100 % березовых опилок, составило 44 %, а пластиков, изготовленных из 100 % гидролизного лигнина – 15 %; разбухание по толщине – 34 % и 7 % соответственно. Из приведенных данных следует, что гидролизный лигнин, добавленный в пресс-материал, значительно уменьшает водопоглощение и разбухание ПБС.

Показана [26] возможность получения ПБС с использованием модификатора в виде активированного лигнина методом кавитации. Путем модификации древесных частиц активированным лигнином можно улучшить такие показатели, как прочность при изгибе, водопоглощение и разбухание. Был рассчитан оптимальный режим прессования для получения ПБС исходя из условий минимального водопоглощения и разбухания по объёму и максимальных прочностных показателей: расход активированного лигнина – 40 %; температура прессования – 185 °С; время охлаждения под давлением – 10 мин.

Предлагается [27] получение ПБС на основе биоактивированного активным илом и модифицированного кавитационным гидролизным лигнином древесного сырья. Был подобран рациональный режим биоактивации древесного пресс-сырья для получения ПБС с добавлением лигнина, исходя из условий получения максимальных прочностных показателей и показателя водостойкости: содержание лигнина – 30 %; расход иловой смеси – 20 %; продолжительность активации – 20 сут.; влажность пресс-сырья – 10 %.

Таким образом, на основании ранее выполненных исследований, гидролизный лигнин и лигнинсодержащие отходы более целесообразно считать важнейшим сырьевым источником для производства древесных пластиков, в том числе и ПБС. При этом добавка гидролизного лигнина к древесному наполнителю

будет придавать повышенные показатели по водо- и биостойкости, т. е. будет выступать одновременно как гидрофобизатор и антисептик.

Целью данной работы являлось исследование влияния добавки гидролизного лигнина к наполнителю в виде древесной муки в качестве гидрофобизатора и антисептика для получения ПБС с повышенными показателями по водо- и биостойкости, а также изучение влияния различного содержания лигнина в пресс-композициях на эксплуатационные свойства получаемого пластика.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве исследуемых компонентов пресс-сырья для получения ПБС были использованы древесная мука (ДМ) и гидролизный лигнин (ГЛ), характеристика которых представлена в табл. 1.

Рецептура пресс-композиций, технологические режимы и условия получения образцов представлены в табл. 2.

На основании принятых композиций и режимов изготовления, методом горячего компрессионного прессования были получены образцы ПБС в виде дисков диаметром 90 мм и толщиной 2,5 мм. Образцы-диски ПБС по каждой композиции были получены в пяти параллельных опытах ($n = 5$).

После кондиционирования образцов в комнатных условиях (в течение 24 ч) проводились испытания их на физико-механические свойства на поверенном оборудовании по аттестованным методикам (ГОСТ 10634–88, ГОСТ 4650–2014, ГОСТ 4670–2015).

Оценка водо- и биостойкости осуществлялась в течение 90 сут. (контрольные и промежуточные испытания проводились после 0, 30 и 60 сут. экспозиций). После экспозиции 30, 60 и 90 сут. образцы изымались из соответствующей среды испытаний, при необходимости обрабатывались (промывка, просушка при комнатной температуре в течение суток).

Таблица 1
Характеристика исходных компонентов пресс-сырья

Обозначение	Свойства			Содержание	
	Вид сырья	Размер фракции	Исходная влажность, %	Лигнин (ГОСТ 11960), %	Целлюлоза (Кюршнера-Хоффера), %
ДМ	ГОСТ 16361-87 «Мука древесная. Технические условия», марка ДМ-180	180 мкм	6,0	35,0	25,5
ГЛ	Отходы гидролизного производства (г. Тавда Свердловской обл.)	0,7 мм	3,4	не опред.	не опред.

Таблица 2
Рецептура и режимы получения образцов ПБС

№ композиции	Содержание, масс., %		Влажность, %	Удельное давление прессования, кгс/см ²	Температура прессования, °С	Продолжительность, мин	
	ДМ	ГЛ				прессования	охлаждения под давлением
1	100	0	12	630	180	10	10
2	80	20	12	630	180	10	10
3	60	40	12	630	180	10	10
4	40	60	12	630	180	10	10
5	20	80	12	630	180	10	10
6	0	100	12	630	180	10	10

Далее образцы подвергались испытаниям: определялись масса и толщина, рассчитывались показатели водопоглощения по объему и разбухания по толщине, проводилась визуальная оценка и микроскопирование лицевой поверхности изучаемых образцов ПБС.

Испытания на водостойкость осуществлялись путем выдержки образцов в дистиллированной воде с показателем pH $7,9 \pm 0,5$ ед. и температурой 21 ± 2 °С. Испытания на биостойкость осуществлялись путем выдержки образцов в почво-грунте со средней влажностью 60 ± 5 % и температурой 20 ± 2 °С.

Полученные результаты испытаний на физико-механические свойства (в том числе и на водо- и биостойкость) во всех параллельных опытах ($n = 5 \div 12$) были подвергнуты статистической обработке на грунте промахи по Q-критерию [28].

В качестве почво-грунта был принят грунт для рассады (ТУ 0392-001-59264059-03). Выбор использования грунта для рассады в качестве среды испытаний на биостойкость осуществлялся из следующих соображений. Применительно к материалам ПБС только на основе лигноцеллюлозосодержащего сырья (опилки древесины, шелуха пшеницы) использование активного грунта, подготовленного по ГОСТ 9.060–75 для испытаний на микробиологическое разрушение, является неоднозначным, так как деструкция данных материалов происходит не более чем за 30 сут. [29], вместо установленных ГОСТ Р 54530–2011 сроков в 180 сут. Поэтому на первоначальном этапе изучения влияния гидролизного лигнина в качестве гидрофобизирующей и антисептической добавки осуществлялось в более «мягких» условиях (экспозиция в почво-грунте на основе грунта для рассады) с целью сопоставления с ранее выполненными результатами испытаний на биостойкость с использованием различных гидрофобизаторов и антисептиков [30–31].

Визуальная оценка изменения внешнего вида образцов проводилась при помощи микроскопирования лицевой поверхности. Микроскопирование проводилось при увеличении 1:400 с помощью микроскопа «Микромед 3».

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Физико-механические свойства полученных образцов ПБС на основе древесного наполнителя с добавлением гидролизного лигнина представлены в табл. 3.

Результаты испытаний на водо- и биостойкость образцов ПБС при экспозиции их в водной среде и в почво-грунте представлены в табл. 4.

Результаты микроскопирования исходных пресс-композиций и лицевой поверхности полученных образцов ПБС по различным рецептурам представлены на рис. 1.

Результаты микроскопирования лицевой поверхности образцов ПБС после испытаний на водо- и биостойкость представлены на рис. 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. На основании данных табл. 3 можно сделать следующие выводы:

– с увеличением содержания гидролизного лигнина в исходном древесном пресс-сырье наблюдается снижение прочностно-пластических показателей, получаемых ПБС: прочность при изгибе снижается на 87,5 %, модуль упругости при изгибе – на 51,4 %, упругость – на 23,5 %;

– с увеличением содержания гидролизного лигнина в древесном пресс-сырье наблюдается увеличение показателей водостойкости, получаемых ПБС: водопоглощение по объему снижается на 69,6 %, разбухание по толщине – на 84,6 %.

Таблица 3
Физико-механические свойства ПБС основе древесной муки и гидролизного лигнина

Показатель	№ композиции					
	1	2	3	4	5	6
Плотность, кг/м ³	1001	960	956	951	920	914
Прочность при изгибе, МПа	16,5	11,8	10,0	8,7	8,5	2,8
Твердость (по вдавливанию шарика), МПа	17,9	17,8	17,8	17,7	17,7	17,6
Модуль упругости при изгибе (по прогибу образца), МПа	6727	4422	4298	3710	3301	3268
Число упругости, %	68,3	65,0	64,2	55,7	53,0	52,5
Водопоглощение по объему за 24 часа, %	46	41	27	27	25	14
Разбухание по толщине за 24 часа, %	26,3	26,1	15,8	13,2	7,4	4,3

Таблица 4
Результаты испытаний на водо- и биостойкость ПБС основе древесной муки и гидролизного лигнина

№ композиции	Продолжительность выдержки, сут											
	30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90
	Показатель водостойкости, %						Показатель биостойкости, %					
	водопоглощение по объему			разбухание по толщине			изменение массы			изменение толщины		
1	20,6	27,4	32,3	16,9	12,9	15,3	12,1	19,8	33,6	17,8	6,1	8,3
2	19,3	24,2	27,2	16,6	9,5	13,2	11,1	17,7	27,8	16,9	5,3	7,4
3	17,9	20,3	22,6	13,4	8,8	10,9	7,5	10,1	25,1	10,4	4,6	6,0
4	15,6	16,9	18,4	10,6	7,9	9,9	5,9	6,4	15,2	8,3	3,1	5,3
5	13,2	15,2	16,5	9,5	7,1	9,7	4,1	5,1	9,3	6,5	2,9	4,7
6	12,8	13,8	14,9	7,8	6,3	6,2	3,3	4,3	5,2	5,5	2,3	3,1

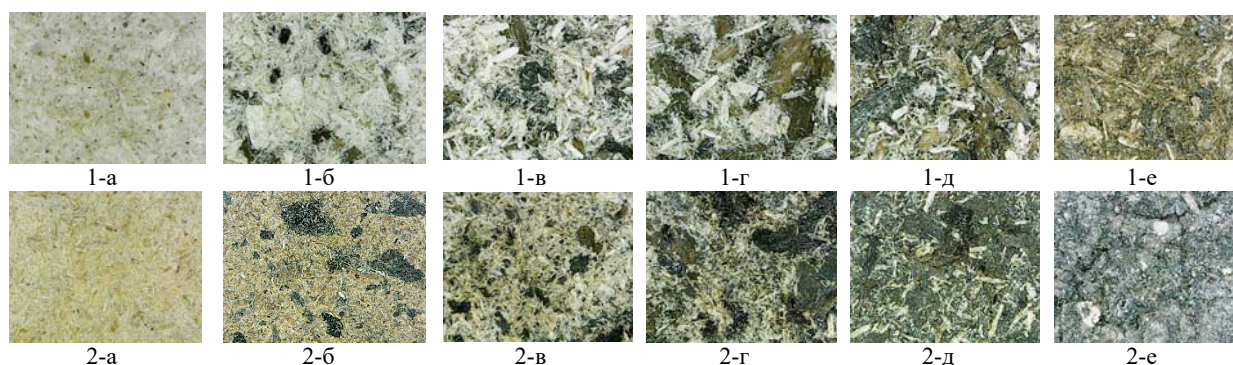


Рис. 1. Результаты микроскопирования:
1 – пресс-композиция; 2 – лицевой поверхности ПБС;
а) пресс-композиция (ПК) № 1; б) ПК № 2; в) ПК № 3; г) ПК № 4; д) ПК № 5; е) ПК № 6

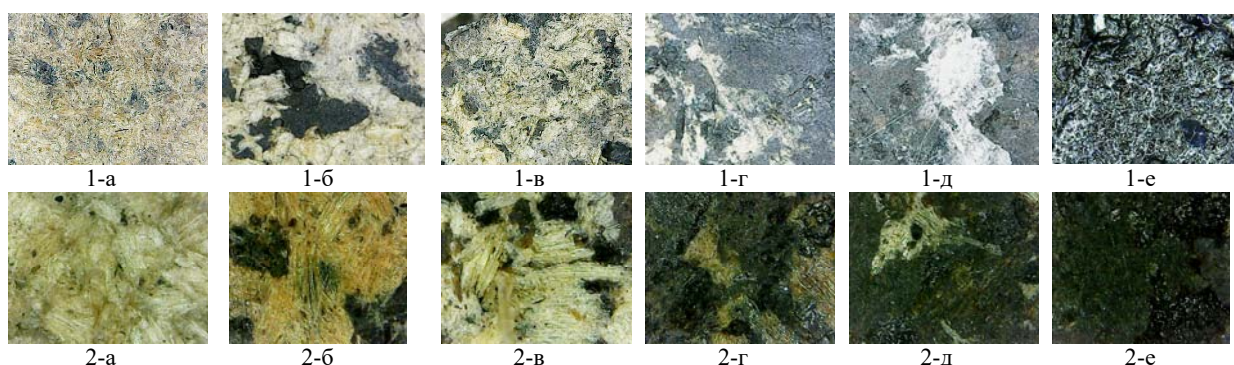


Рис. 2. Результаты микроскопирования лицевой поверхности ПБС после испытаний 90 суток:
1 – на водостойкость; 2 – на биостойкость;
а) пресс-композиция (ПК) № 1; б) ПК № 2; в) ПК № 3; г) ПК № 4; д) ПК № 5; е) ПК № 6

Таким образом, добавка гидролизного лигнина в пресс-композицию к наполнителю на основе древесного сырья, позволяет повысить показатели водостойкости ПБС, но при получаемый материал будет иметь более низкие показатели по прочности и пластичности. Это обуславливается, во-первых, свойствами самой добавки в виде гидролизного лигнина, за счет его аморфной структуры и гидрофобности, а во-вторых, убавление содержания целлюлозы древесного наполнителя, не позволяет получать более упругий материал.

2. На основании данных табл. 4 можно сделать следующие выводы:

- добавка гидролизного лигнина к древесному пресс-сырью позволяет уменьшить водопоглощение по объему и разбухание по толщине образцов ПБС при выдержке их в водной среде до 90 суток. Так, снижение водопоглощения при отсутствии добавки составляет 32,3 %, при содержании 40 масс.% гидролизного лигнина в древесном наполнителе – 22,6 %, а при содержании 80 масс.% – 16,5 %. Изменение потери массы образцов ПБС в почво-грунте в зависимости от содержания гидролизного лигнина аналогичны. Так, убыль массы образцов при отсутствии добавки составляет 33,6 %, при содержании 40 масс.% гидролизного лигнина в древесном наполнителе – 25,1 %, а при содержании 60 масс.% – 15,2 %.

- добавка гидролизного лигнина к древесному пресс-сырью позволяет снизить показатель разбуха-

ния и изменение толщины образцов ПБС при выдержке в водной среде и почво-грунте до 60 суток соответственно. При выдержке более 60 суток у данных показателей наблюдается обратная тенденция – происходит их увеличение. Данные изменения продиктованы морфологической трансформацией материала (увеличение пористости, появлением трещин и проч.) и как следствие «вторичным набуханием» материала.

Таким образом, выдержка ПБС уже за 60 суток в водной среде и почво-грунте приводит к необратимым процессам видоизменения и деформации материала ПБС. Добавка гидролизного лигнина позволяет существенно замедлить данные процессы.

3. На основании данных рис. 1 можно сделать следующие выводы:

- при получении композиции не удастся достигнуть одинаковую степень распределения частиц наполнителей, так как они не имели единообразный размер фракции и формы частиц;

- при получении ПБС не удастся достигнуть монолитности материала, имеющего микротрещины и неоднородные включения.

Таким образом, разнородный размер фракций и форм частиц древесного наполнителя и гидролизного лигнина, не позволяют осуществлять полноценное структурообразование пластика, и как следствие это сказывается на качестве получаемого материала и прочностно-пластические показатели.

4. На основании данных рис. 2 можно сделать следующие выводы:

– наблюдается изменение внешней и внутренней структуры материала после 90 суток выдержки в водной среде. Образцы после испытаний на водостойкость более подвержены химическому воздействию в виде ослизнения и омыления и, как следствие, проявлением «вторичного» разбухания – увеличения линейных размеров. При этом большие изменения затрагивает древесный наполнитель из-за наличия гидрофильных соединений легкогидролизуемых полисахаридов;

– наблюдается изменение внешней и внутренней структуры материала после 90 суток выдержки в почво-грунте. После испытаний на биостойкость, образцы были подвержены физико-механическому воздействию, которое проявлялось корежением и расслоением, вызванное напряжением внутри самого материала за счет начального водонасыщения влагой из грунта и параллельным воздействием на него уплотненной структуры почво-грунта;

Таким образом, выдержка ПБС 90 суток в водной среде и почво-грунте приводит к изменению внешней и внутренней структуры материала, при этом большому воздействию подвергается наполнитель на основе древесины. Первоначальные процессы деструкции ПБС в почво-грунте обусловлены избыточным водонасыщением древесного наполнителя, приводящие к внутренним напряжениям и разрывам связей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполненного данного исследования работы было установлено влияние гидролизного лигнина в виде добавки к древесному пресс-сырью на физико-механические свойства ПБС, в том числе водо- и биостойкость.

Наличие гидролизного лигнина в древесном наполнителе повышает водостойкость и снижает биоразлагаемость ПБС по отношению к почво-грунту за 90 суток.

На основании выполненных исследований предлагается рациональная рецептура получения ПБС на основе древесного наполнителя с добавлением 40 масс.%. гидролизного лигнина.

Таким образом, добавка гидролизного лигнина можно рассматривать не только как модификатор, а как гидрофобная и антисептическая добавка к древесному наполнителю для получения ПБС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Lignin-derived (nano)materials for environmental pollution remediation: Current challenges and future perspectives / M. Sajjadi, H. Ghafari, F. Ahmadpoor, M. Nasrollahzadeh // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. Vol. 178. P. 394–423. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2021.02.165. EDN UAGKGM.

2. Анализ результатов механоактивации технического гидролизного лигнина с использованием методов термографических исследований и лазерной дифракции / В. А. Петров, А. В. Александров, Т. Н. Александрова, А. П. Руденко // *Хвойные бореальной зоны*. 2018. Т. 36, № 2. С. 205–210. EDN VPHWLB.

3. Плотникова Г. П. Композиционный строительный материал с использованием отходов лесохимии в составе // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2021. Т. 11, № 3(38). С. 452–461. DOI 10.21285/2227-2917-2021-3-452-461. EDN GCEJHR.

4. Multifunctional lignin-based nanocomposites and nanohybrids / E. Lizundia, M. H. Sipponen, L. G. Greca [et al.] // *Green Chemistry*. 2021. Vol. 23, No 18. P. 6698–6760. DOI 10.1039/d1gc01684a. EDN UCHRYJ.

5. Теплоэффективные строительные материалы на основе полимерсиликатного вяжущего и гидролизного лигнина / Г. Н. Шибаева, Е. Е. Ибе, Ю. А. Холдаенко, В. А. Филимонова // *Инновации в жизнь*. 2017. № 3(22). С. 162–172. EDN XSEZMT.

6. Lignin as an additive for advanced composites / Y. Polat, E. Stojanovska, T. A. Negawo [et al.] // *Green Energy and Technology*. 2017. No. 9783319466095. P. 71–89. DOI 10.1007/978-3-319-46610-1_4. EDN YDUPUD.

7. Кузнецова Т. Н. Разработка теплоизоляционного материала на основе гидролизного лигнина из отходов ОАО «Тавдинский гидролизный завод» // *Новые технологии – нефтегазовому региону : материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. В 2 т., Тюмень, 20–21 мая 2020 года. Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2020. С. 40–42. EDN FPTXBQ.

8. Lignin as Green Filler in Polymer Composites: Development Methods, Characteristics, and Potential Applications / M. R. Ridho, M. Rahmi Dn, E. W. Madyaratri [et al.] // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2022. Vol. 2022. P. 1363481. DOI 10.1155/2022/1363481. EDN BEIZVT.

9. Ступак Д. П., Шкуро А. Е., Артемов А. В. Получение и исследование свойств древесно-полимерных композитов с гидролизным лигнином // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2020. № 1. С. 72–80. EDN CNXUXS.

10. Assessment of morphological, physical, thermal, and thermal conductivity properties of polypropylene/lignosulfonate blends / M. Schneider, N. Finimundi, M. Podzorova [et al.] // *Materials*. 2021. Vol. 14, No 3. P. 1–10. DOI 10.3390/ma14030543. EDN OTZDXL.

11. Influence of MgO-lignin dual component additives on selected properties of low density polyethylene / K. Bula, G. Kubicki, A. Kubiak [et al.] // *Polymers*. 2020. Vol. 12, No 5. P. 1156. DOI 10.3390/POLYM12051156. EDN SXAAPK.

12. Пименов С. Д., Крутов С. М. Композиты на основе отходов биохимической промышленности и гидролизного лигнина и органических полимеров // *Леса России: политика, промышленность, наука, образование : материалы научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 13–15 апреля 2016 года / под ред. В. М. Гедьо*. Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова, 2016. С. 86–89. EDN VYHNWR.

13. Лигнопенополиуретаны на основе гидролизного лигнина / С. М. Крутов, Е. В. Ипатова, Д. С. Косяков [и др.] // *Журнал прикладной химии*. 2016. Т. 89, № 1. С. 128–133. EDN JWS DUI.

14. Composite nanoparticles derived by self-assembling of hydrophobic polysaccharide derivatives and lignin / M. Gericke, T. Heinze, J. Bergrath, M. Schulze // *Cellulose*. 2022. Vol. 29, No 7. P. 3613–3620. DOI 10.1007/s10570-022-04504-x. EDN LYWAJZ.

15. Improvements in thermal and mechanical properties of composites based on thermoplastic starch and Kraft Lignin / A. De S M De Freitas, A. P. Lemes, J. S. Rodrigues [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. Vol. 184. P. 863–873. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2021.06.153. EDN HEXLLU.

16. Илалова Г. Ф., Галяветдинов Н. Р. Исследование физико-механических характеристик биоразлагаемых композиционных материалов с древесными наполнителями // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 2022. № 62. С. 302–307. EDN СУМУКЕ.

17. Полимерные композиционные материалы на основе поливинилхлорида, отходов производства флизелиновых обоев и древесной муки / А. Е. Шкуро, Д. Д. Чирков, В. В. Глухих [и др.] // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2022. № 3. С. 112–119. EDN RTXCTQ.

18. Ilalova G., Safin R., Mukhametzyanov S., Gazizullina A. Hydrolysis as a basis for processing vegetable waste into bioplastics // *Energy Systems Environmental Impacts*. ESEI 2020. E3S Web of Conferences. P. 03009. EDN: ZMFUIX.

19. The role of lignin and lignin-based materials in sustainable construction – A comprehensive review / P. Jędrzejczak, T. Jesionowski, Ł. Kłapiszewski, M. N. Collins // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. Vol. 187. P. 624–650. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2021.07.125. EDN IVHACR.

20. Модификация фенолформальдегидных смол карбонизированным гидролизным лигнином для производства фанеры / И. К. Божелко, О. К. Леонович, А. И. Медвецкий [и др.] // *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн : материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января – 12 2022 года*. Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2022. С. 201–203. EDN EBKGWL.

21. Использование продуктов окисления гидролизного лигнина в целях повышения эффективности связующих для древесных плит / А. Н. Гончар, В. А. Литвиненко, А. А. Кожемяко, Е. В. Дубоделова // *Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса : материалы IV Международной научно-практической конференции, Кострома, 08–11 сентября 2021 года / отв. ред. А. А. Титунин, Т. Н. Вахнина*. Кострома : Костромской государственный университет, 2021. С. 75–77. EDN ALKOKN.

22. Журавлев И. С., Вураско А. В., Стоянов О. В. Химическая модификация лигносульфонатов для повышения связующих свойств // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 17, № 15. С. 37–39. EDN STICKN.

23. Модифицирование гидролизного лигнина продуктами микробного разложения древесины / Г. Н. Кононов, А. Н. Веревкин, Ю. В. Сердюкова, В. Д. Зайцев // *Лесной вестник*. Forestry Bulletin. 2018. Т. 22. № 1. С. 78–83. DOI 10.18698/2542-1468-2018-1-78-83. EDN XZXKGT.

24. Бабина М. Д., Попова Г. И., Перескокова И. И. Об использовании гидролизного лигнина в составе для изготовления древесноволокнистых плит // *Технология древесных плит и пластиков : межвузовский сборник / Уральский лесотехнический институт им. Ленинского комсомола*. 1982. Вып. IX. С. 155–160.

25. Минин А. Н. Технология пьезотермопластиков. М. : Лесная промышленность, 1965. 296 с.

26. Изучение влияния активации пресс-сырья активированным лигнином на свойства древесного пластика без добавления связующего / А. А. Окулова, А. В. Артемов, В. Г. Бурындин, А. В. Савиновских // *Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы IX Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник», Екатеринбург, 18–19 апреля 2013 года*. Екатеринбург : Уральский государственный лесотехнический университет, 2013. С. 115–118. EDN DZKQOJ.

27. Отходы целлюлозно-бумажного комплекса – как сырьё для древесного пластика без связующего / А. С. Бусыгина, П. С. Кривоногов, А. В. Артемов [и др.] // *Инновации – основа развития целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности : материалы V Всероссийской отраслевой научно-практической конференции «Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности», Пермь, 24–25 марта 2017 года / Министерство образования и науки Российской Федерации ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», ГП «Пермская целлюлозно-бумажная компания», АО «Соликамскбумпром», ООО «ЦБК «Кама», ОАО «Пиломатериалы» «Красный Октябрь»*. Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2017. С. 186–192. EDN YTIFHN.

28. Глухих В. В. Прикладные научные исследования : учебник. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 240 с.

29. Plastics: physical-and-mechanical properties and biodegradable potential / V. Glukhikh, P. Buryndin, A. Artyemov [et al.] // *Foods and Raw Materials*. 2020. Vol. 8, No. 1. P. 149–154. DOI 10.21603/2308-4057-2020-1-149-154. EDN CWNANM.

30. Исследование влияния гидрофобизирующей добавки на физико-механические свойства древесного пластика без добавления связующего / А. В. Савиновских, А. В. Артемов, В. Г. Бурындин, А. Е. Шкуро // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2020. № 2. С. 50–55. EDN ZFSDZH.

31. Biostability of binder-free wood and plant plastics protected with antiseptics / V. G. Buryndin, A. V. Artyemov, A. V. Savinovskih [et al.] // *Foods and Raw Materials*. 2022. Vol. 10, No. 1. P. 148–154. DOI 10.21603/2308-4057-2022-1-148-154. EDN GGSNKW.

REFERENCES

1. Lignin-derived (nano)materials for environmental pollution remediation: Current challenges and future perspectives / M. Sajjadi, H. Ghafari, F. Ahmadpoor, M. Nasrollahzadeh // *International Journal of Biological*

- Macromolecules. 2021. Vol. 178. P. 394–423. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2021.02.165. EDN UAGKGM.
2. Analiz rezul'tatov mekhanoaktivacii tekhnicheskogo gidroliznogo lignina s ispol'zovaniem metodov termograficheskikh issledovanij i lazernoj difrakcii / V. A. Petrov, A. V. Aleksandrov, T. N. Aleksandrova, A. P. Rudenko // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2018. Vol. 36, No. 2. S. 205–210. EDN VPHWLB.
 3. Plotnikova G. P. Kompozicionnyj stroitel'nyj material s ispol'zovaniem othodov lesohimii v sostave // *Izvestiya vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2021. T. 11, № 3(38). S. 452–461. DOI 10.21285/2227-2917-2021-3-452-461. EDN GCEJHR.
 4. Multifunctional lignin-based nanocomposites and nanohybrids / E. Lizundia, M. H. Sipponen, L. G. Greca [et al.] // *Green Chemistry*. 2021. Vol. 23, No. 18. P. 6698–6760. DOI 10.1039/d1gc01684a. EDN UCHRYJ.
 5. Teploeffektivnye stroitel'nye materialy na osnove polimersilikatnogo vyazhushchego i gidroliznogo lignina / G. N. Shibaeva, E. E. Ibe, Yu. A. Holdaenko, V. A. Filimonova // *Innovacii v zhizn'*. 2017. № 3(22). S. 162–172. EDN XSEZMT.
 6. Lignin as an additive for advanced composites / Y. Polat, E. Stojanovska, T. A. Negawo [et al.] // *Green Energy and Technology*. 2017. No. 9783319466095. P. 71–89. DOI 10.1007/978-3-319-46610-1_4. EDN YDUPUD.
 7. Kuznecova T. N. Razrabotka teploizolyacionnogo materiala na osnove gidroliznogo lignina iz otvalov OAO "Tavdinskij gidroliznyj zavod" // *Novye tekhnologii – neftegazovomu regionu : Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh, V 2 t., Tyumen', 20–21 maya 2020 goda. Tyumen' : Tyumenskij industrial'nyj universitet*, 2020. S. 40–42. EDN FPTXBQ.
 8. Lignin as Green Filler in Polymer Composites: Development Methods, Characteristics, and Potential Applications / M. R. Ridho, M. Rahmi Dn, E. W. Madyaratri [et al.] // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2022. Vol. 2022. P. 1363481. DOI 10.1155/2022/1363481. EDN BEIZVT.
 9. Stupak D. P., A. E. Shkuro, A. V. Artemov Poluchenie i issledovanie svojstv drevesno-polimernyh kompozitov s gidroliznym ligninom // *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*. 2020. №1. S. 72–80. EDN CNXUXS.
 10. Assessment of morphological, physical, thermal, and thermal conductivity properties of polypropylene/lignosulfonate blends / M. Schneider, N. Finimundi, M. Podzorova [et al.] // *Materials*. 2021. Vol. 14. No. 3. P. 1–10. DOI 10.3390/ma14030543. EDN OTZDXI.
 11. Influence of MgO-lignin dual component additives on selected properties of low density polyethylene / K. Bula, G. Kubicki, A. Kubiak [et al.] // *Polymers*. 2020. Vol. 12, No. 5. P. 1156. DOI 10.3390/POLYM12051156. EDN SXAAPK.
 12. Pimenov S. D., Krutov S. M. Kompozity na osnove othodov biokhimicheskoy promyshlennost' i gidroliznogo lignina i organicheskikh polimerov // *Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie : materialy nauchno-tekhnicheskoy konferencii, Sankt-Peterburg, 13–15 aprelya 2016 goda / pod. red. V. M. Ged'o. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet im. S. M. Kirova*, 2016. S. 86–89. EDN VYHNWR.
 13. Lignopenopoliuretany na osnove gidroliznogo lignina / S. M. Krutov, E. V. Ipatova, D. S. Kosyakov [i dr.] // *Zhurnal prikladnoj himii*. 2016. T. 89, № 1. S. 128–133. EDN JWSDUI.
 14. Composite nanoparticles derived by self-assembly of hydrophobic polysaccharide derivatives and lignin / M. Gericke, T. Heinze, J. Bergrath, M. Schulze // *Cellulose*. 2022. Vol. 29, No. 7. P. 3613–3620. DOI 10.1007/s10570-022-04504-x. EDN LYWAJZ.
 15. Improvements in thermal and mechanical properties of composites based on thermoplastic starch and Kraft Lignin / A. De S M De Freitas, A. P. Lemes, J. S. Rodrigues [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. Vol. 184. P. 863–873. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2021.06.153. EDN HEXLLU.
 16. Ilalova G. F., Galyavetdinov N. R. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh harakteristik biorazlagaemykh kompozicionnykh materialov s drevesnymi napolnitelyami // *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2022. № 62. S. 302–307. EDN CYMYKE.
 17. Polimernye kompozicionnye materialy na osnove polivinilhlorda, othodov proizvodstva flizelinovykh oboev i drevesnoj muki / A. E. Shkuro, D. D. Chirkov, V. V. Gluhiih [i dr.] // *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*. 2022. № 3. S. 112–119. EDN RTXCTQ.
 18. Ilalova G., Safin R., Mukhametzyanov S., Gazizullina A. Hydrolysis as a basis for processing vegetable waste into bioplastics // in *Energy Systems Environmental Impacts. ESEI 2020. E3S Web of Conferences*. P. 03009. EDN: ZMFUIX.
 19. The role of lignin and lignin-based materials in sustainable construction – A comprehensive review / P. Jędrzejczak, T. Jesionowski, Ł. Kłapiszewski, M. N. Collins // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. Vol. 187. P. 624–650. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2021.07.125. EDN IVHACR.
 20. Modifikaciya fenolformal'degidnykh smol karbonizirovannym gidroliznym ligninom dlya proizvodstva fanery / I. K. Bozhelko, O. K. Leonovich, A. I. Medveckij [i dr.] // *Lesnaya inzheneriya, materialovedenie i dizajn : materialy 86-j nauchno-tekhnicheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem), Minsk, 31 yanvara – 12 2022 goda. Minsk: Belorusskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet*, 2022. S. 201–203. EDN EBKGWL.
 21. Ispol'zovanie produktov okisleniya gidroliznogo lignina v celyah povysheniya effektivnosti svyazuyushchih dlya drevesnykh plit / A. N. Gonchar, V. A. Litvinenko, A. A. Kozhemyako, E. V. Dubodelova // *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa : Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Kostroma, 08–11 sentyabrya 2021 goda / Otv. redaktory A. A. Titunin, T. N. Vahnina. Kostroma : Kostromskoj gosudarstvennyj universitet*, 2021. S. 75–77. EDN ALKOKN.
 22. Zhuravlev I. S., Vurasko A. V., Stoyanov O. V. Himicheskaya modifikaciya lignosul'fonatov dlya povysheniya svyazuyushchih svojstv // *Vestnik Kazan-*

skogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. T. 17, № 15. S. 37–39. EDN STICKH.

23. Modificirovanie gidroliznogo lignina produktami mikoliza drevesiny / G. N. Kononov, A. N. Verevkin, Yu. V. Serdyukova, V. D. Zajcev // Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin. 2018. T. 22, № 1. S. 78–83. DOI 10.18698/2542-1468-2018-1-78-83. EDN XZXKGT.

24. Babina M. D., Popova G. I., Pereskokova I. I. Ob ispol'zovanii gidroliznogo lignina v sostave dlya izgotovleniya drevesnovoloknistyh plit // Tekhnologiya drevesnyh plit i plastikov : mezhvuzovskij sbornik / Ural'skij lesotekhnicheskij institut im. Leninskogo komsomola. 1982. V. IX. S. 155–160.

25. Minin A. N. Tekhnologiya p'ezotermoplastikov. M. : Lesnaya promyshlennost', 1965. 296 s.

26. Izuchenie vliyaniya aktivacii press-syr'ya aktivirovannym ligninom na svoystva drevesnogo plastika bez dobavleniya svyazuyushchego / A. A. Okulova, A. V. Artemov, V. G. Buryndin, A. V. Savinovskih // Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii : materialy IX Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov i aspirantov i konkursa po programme “Umnik”, Ekaterinburg, 18–19 aprelya 2013 goda. Ekaterinburg: federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya “Ural'skij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet”, 2013. S. 115–118. EDN DZKQOJ.

27. Othody cellyulozno-bumazhnogo kompleksa – kak syr'yo dlya drevesnogo plastika bez svyazuyushchego / A. S. Busygina, P. S. Krivonogov, A. V. Artemov [i dr.] // Innovacii – osnova razvitiya cellyulozno-bumazhnoj i derevoobrabatyvayushchej promyshlennosti : Materialy V Vserossijskoj otraslevoj nauchno-prakticheskoy konferen-

cii “Perspektivy razvitiya tekhniki i tekhnologij v cellyulozno-bumazhnoj i derevoobrabatyvayushchej promyshlennosti”, Perm', 24–25 marta 2017 goda / Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii FGBOU VO “Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politekhnicheskij universitet”, GP “Permskaya cellyulozno-bumazhnaya kompaniya”, AO “Solikamsk-bumprom”, OOO “CBK “Kama”, OAO “Pilomaterialy” “Krasnyj Oktyabr' ”. Perm' : Permskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet, 2017. S. 186–192. EDN YTIFHN.

28. Gluhih V. V. Prikladnye nauchnye issledovaniya: uchebnik. Ekaterinburg : Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2016. 240 s.

29. Plastics: physical-and-mechanical properties and biodegradable potential / V. Glukhikh, P. Buryndin, A. Artyemov [et al.] // Foods and Raw Materials. 2020. Vol. 8, No. 1. P. 149–154. DOI 10.21603/2308-4057-2020-1-149-154.

30. Issledovaniye vliyaniya gidrofobiziruyushchey dobavki na fiziko-mekhanicheskiye svoystva drevesnogo plastika bez dobavleniya svyazuyushchego / A. V. Savinovskih, A. V. Artemov, V. G. Buryndin, A. E. Shkuro // Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'. 2020. № 2. S. 50–55.

31. Biostability of binder-free wood and plant plastics protected with antiseptics / V. G. Buryndin, A. V. Artyemov, A. V. Savinovskih [et al.] // Foods and Raw Materials. 2022. Vol. 10, No. 1. P. 148–154. DOI 10.21603/2308-4057-2022-1-148-154.

© Артёмов А. В., Буриндин В. Г.,
Ершова А. С., 2024

Поступила в редакцию 20.03.2023
Принята к печати 15.04.2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ БЕРЕЗЫ*

С. Н. Казицин, Д. В. Василишин, А. В. Шишмарева,
Д. Д. Добрынкина, В. Д. Ворончихин

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: sergeikaz060890@yandex.ru

В настоящей статье проведена оценка влияния способов предварительной механоактивации древесных частиц на возможность получения ацетата целлюлозы. Результаты исследования свидетельствуют о целесообразности использования гидродинамической механоактивации опилок березы для повышения содержания альфа-целлюлозы в холоцеллюлозе. Это достигается повышением удельной поверхности древесных волокон путем фибриллирования и, как следствие, интенсификацией процесса азотнокислой делигнификации.

Оценка размеров и распределения древесных частиц, выполненная ситовым методом, с помощью аналитической просеивающей машины, показала, что опилки механоактивированные гидродинамическим способом более эффективно подверглись измельчению. В ходе исследования поверхности древесных частиц методом сканирующей электронной микроскопии было установлено, что в процессе гидродинамической обработки заметно изменяется морфолого-анатомическое строение опилок.

При проведении процесса делигнификации гидродинамически активированных опилок березы повышается степень проникновения реагента, вследствие чего, преимущественно, происходит гидролиз вторичных составляющих: лигнина и бета- гамма-целлюлозы. Благодаря этому при выходе холоцеллюлозы 31,4 % наблюдается более высокое содержание в ней альфа-целлюлозы 82,8 %.

При ацетилировании гетерогенным способом был получен ацетат целлюлозы, соответствующий триацетату целлюлозы, хорошо растворимый в хлороформе, с содержанием связанной уксусной кислоты 60,3–61,1 %. В случае ацетилирования гомогенным способом был получен диацетат целлюлозы, хорошо растворимый в ацетоне при перемешивании, с повышенным содержанием связанной уксусной кислоты 54,1–58 %.

Ключевые слова: активация древесины, гидродинамическая обработка, опилки, древесные отходы, древесная мука, ацетат целлюлозы.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 2, P. 73–79

RESEARCH OF THE PROCESS OF OBTAINING CELLULOSE ACETATE FROM MECHANOACTIVATED BIRCH PARTICLES

S. N. Kazitsin, D. V. Vasilishin, A. V. Shishmareva,
D. D. Dobrynina, V. D. Voronchikhin

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: sergeikaz060890@yandex.ru

In the present article the influence of methods of preliminary mechanoactivation of wood particles on the possibility of obtaining cellulose acetate is evaluated. The results of the study indicate the feasibility of using hydrodynamic mechanical activation of birch sawdust to increase the alpha-cellulose content in holocellulose. This is achieved by increasing the specific surface area of wood fibers through fibrillation and, as a consequence, intensifying the process of nitrate delignification.

Evaluation of the size and distribution of wood particles by sieve method, using an analytical sieving machine, showed that sawdust mechanically activated by hydrodynamic method was more effectively pulverized. During the study of the surface of wood particles by scanning electron microscopy, it was found that the morphological and anatomical structure of sawdust changed markedly during the hydrodynamic treatment process.

During the delignification process of hydrodynamically activated birch sawdust the degree of penetration of the reagent increases, as a result of which, mainly hydrolysis of secondary components occurs: lignin and beta-gamma-cellulose. As a result, with a yield of holocellulose of 31.4 %, a higher alpha-cellulose content of 82.8 % is observed.

* Исследование выполнено при поддержке Красноярского краевого фонда науки в рамках проекта № 20231105-06121 «Получение композиционных материалов на основе ацетата целлюлозы из механоактивированных древесных частиц» в соответствии с Договором о предоставлении гранта № 695 от 21.12.2023 г.

In the case of acetylation by heterogeneous method, cellulose acetate corresponding to cellulose triacetate, well soluble in chloroform, with a bound acetic acid content of 60.3–61.1 % was obtained. In the case of acetylation by homogeneous method, cellulose diacetate was obtained, well soluble in acetone under stirring, with an increased content of bound acetic acid of 54.1–58 %.

Keywords: wood activation, hydrodynamic treatment, sawdust, wood waste, wood flour, cellulose acetate.

В настоящее время наблюдается возрастающий интерес к проблеме рационального использования древесных ресурсов ввиду возрастающей экологической важности, истощения традиционной сырьевой базы и удорожания производств. Технологии утилизации древесных отходов производства и потребления, а также безотходные технологии глубокой переработки древесины включены в приоритетные направления на территориях государств, ориентированных на принципы устойчивого развития экономики, в том числе в Российской Федерации [1].

Учеными разных стран проводятся исследования, направленные на развитие направлений по рациональному, неистощительному и комплексному использованию древесного сырья различного типа [2; 3].

К числу приоритетных направлений глубокой переработки древесины относится использование возобновляемых целлюлозосодержащих ресурсов в качестве сырья для производства биокomпозитов с полимерной фазой производных целлюлозы и лигноцеллюлозными наполнителями [4]. Данное направление представляется перспективным по причине возобновляемости древесного сырья, наличия широкого спектра свойств, а также доступности, что делает древесину относительно дешевым сырьем.

Химический состав древесины, представляет собой, сложный комплекс, в который входят основные части: углеводная (целлюлоза, гемицеллюлоза), ароматическая (лигнин) и экстрактивные вещества. Доля целлюлозы в древесине варьируется от 38 % до 51 % в зависимости от её породы и метода выделения [5], что наряду с возможностью химической модификации целлюлозы путем ацетилирования, подчеркивает ее использование в качестве полимерной основы в биокomпозитных материалах [6].

Существуют различные способы выделения целлюлозы из древесной биомассы, основанные на частичной или полной делигнификации [7; 8; 9; 10; 11; 12; 13]. Как известно [14] древесина, состоящая на 85–95 % из прочно переплетенных и связанных ковалентными или нековалентными связями высокомолекулярных веществ – целлюлозы, нецеллюлозных углеводов и лигнина, является сложной полимерной композицией.

Для ослабления прочной сети химических связей между целлюлозой, гемицеллюлозой и лигнином требуется соответствующий метод предварительной обработки, который улучшает доступность данных компонентов для гидролиза.

Среди известных способов предварительной обработки, механическая обработка (дробление, измельчение и размол) древесного сырья является распространенной, в том числе из-за наименьшей нагрузки на окружающую среду [15; 16]. Для измельчения могут быть использованы различные машины, которые

отличаются разнообразием по конструкции, но по принципу действия относятся к аппаратам со стесненным или свободным ударом [17]. В мельницах со стесненным ударом (шаровые, кольцевые мельницы) измельчение происходит под действием мелющих тел при раздавливании, истирании, ударе. В мельницах со свободным ударом измельчение сырья происходит в результате соударения частиц с движущимися рабочими органами машины (в воздушной или водной среде) или при ударе частиц, летящих в потоке газа, с неподвижными рабочими органами устройства [18]. Данный вид обработки с минимальными затратами энергии приводит к увеличению доступной удельной поверхности лигноцеллюлозного материала, с одновременным разрушением ультраструктуры клеточных стенок, и понижению кристалличности целлюлозы [19; 20].

Авторами работ [21; 22] был изучен процесс делигнификации древесины, предварительно активированной паровзрывной обработкой. Авторы отмечают, что ключевая роль в повышении эффективности процесса делигнификации играет процесс взрывного разделения на волокна, дефибрирования при высоких температурах паровзрывной активации.

В литературе известен метод, основанный на предварительной обработке горячей водой или паром, который может быть использован для частичного удаления лигнина из древесины [23].

В работе [24] был предложен механизм солиubilизации лигнина в горячей воде. Авторами было выдвинуто предположение, что лигнин в горячей воде сначала мигрирует из клеточной стенки в виде расплавленных частиц, а затем вымывается из реактора. На процесс делигнификации горячей водой оказывает влияние размер древесных частиц, с уменьшением размера частиц древесины улучшается удаление лигнина [25].

Kim H. J. с соавторами [26] сравнили три различных способа измельчения: шаровое, истирающее и планетарное. Было обнаружено, что истирание и планетарное измельчение эффективно уменьшают размер частиц биомассы по сравнению с шаровым, а самый высокий выход глюкозы и галактозы, как составных компонентов получаемого материала, был получен при планетарном измельчении.

Одним из перспективных способов предварительной обработки древесины для получения холоцеллюлозы является гидродинамическая активация. Данный процесс предварительной подготовки частиц может способствовать повышению эффективности этапа делигнификации и выходу холоцеллюлозы, необходимой для получения ацетата целлюлозы. Проведенные ранее исследования [27] показали, что в результате гидродинамической обработки заметно изменяется морфолого-анатомическое строение древесных частиц

(опилок). Активированное таким способом растительное сырье будет обладать повышенной доступностью для различных химических растворителей.

Древесина березы является малоценной и одной из основных лесообразующих пород на территории РФ. Однако использование её в качестве сырья для получения целлюлозы ограничено повышенной плотностью древесины [28], что обуславливает поиск эффективных способов предварительной подготовки и процессов делигнификации.

Целью данной работы является оценка влияния способов предварительной механоактивации древесных частиц на возможность получения ацетата целлюлозы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследований в работе использовались древесные частицы берёзы (*Bétula*), следующих видов:

- опилки влажностью 85 ± 12 %, полученные в процессе распиловки круглых лесоматериалов на ленточнопильном станке MJ3210 (ООО «Сибфорест», г. Красноярск), прошедшие через сито с ячейкой 0,5 мм;
- мука древесная марки «180», которая широко представлена на рынке (ООО «ДОП», г. Волжск, Республика Марий Эл);
- гидродинамически активированные опилки.

Гидродинамическая активация опилок

Обработка древесных опилок, полученных в процессе распиловки круглых лесоматериалов на ленточнопильном станке MJ3210 (ООО «Сибфорест», г. Красноярск), проводилась в лабораторном гидродинамическом диспергаторе роторно-пульсационного типа (рис. 1). Для обработки предварительно древесные опилки просеивали через сито с ячейкой 2 мм и смешивали с водопроводной водой температурой от 8 до 10 °С в баке (1) до концентрации 10 %. После смешивания опилок с водой установка включалась и осуществлялась многократная циркуляция массы, прохождением через рабочую камеру (3) установки (ротор и статор). Частота вращения ротора 2950 об/мин. Продолжительность обработки составляла 25 минут [29].



Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки:
1 – бак; 2 – запорная арматура (завдвижка); 3 – корпус рабочей камеры установки; 4 – сливной шаровой кран; 5 – труба циркуляционная; 6 – шаровой кран; 7 – электродвигатель; 8 – рама; 9 – щит управления

После гидродинамической обработки древесные частицы замораживали до температуры -40 °С под вакуумом $1,3 \times 10^{-4}$ атм. и подвергали лиофильной сушке в установке Lyoph Pride LP10 (ilShin Bio Base Co., Ltd., Корея) для сохранения структуры древесины в состоянии, близком состоянию при максимальных значениях набухания и гидратации. Древесные частицы после сушки подвергались помолу с помощью измельчителя MMBP 1000 (Robert Bosch GmbH; Германия).

Характеристика древесных частиц

Фракционирование древесных частиц осуществлялось с использованием аналитической просеивающей машины Retsch AS 200 control (Retsch GmbH, Haan, Germany). Измерения проводились три раза по 10 мин, масса навески в сухом состоянии составляла 25–30 г. Навеску исследуемого материала просеивали через набор сит с размером ячеек 20, 40, 63, 80, 100 и 300 мкм.

Процентное содержание остатка на каждом сите определяли по отношению к массе исходной навески с использованием лабораторных весов с точностью взвешивания 0,001 г.

Морфологию поверхности древесных частиц наблюдали с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM) Hitachi SU3500 (Япония).

Делигнификация проводилась азотнокислым методом, в сравнительном анализе использовались параметры выдержки 60 минут в азотной кислоте и 30 минут в гидроксиде натрия [30].

Анализ на содержание альфа-целлюлозы проводился общепринятым методом в химии растительного сырья, основанным на гидролизе гемицеллюлозы и остаточного лигнина в сильнощелочной среде [31].

Ацетилирование предварительно активированной целлюлозы проводилось на основе базовых принципов в гетерогенной и гомогенной фазах действием кетена при катализе серной кислотой [32; 33].

Анализ на содержание связанной уксусной кислоты в ацетате целлюлозы проводился методом кислотного-основного титрования [33].

Статистическая обработка

Результаты экспериментальных данных химической обработки приведены в диапазонах. Опыты проводились в трех значимых повторениях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 представлен гранулометрический состав образцов опилок, муки и активированных опилок, измельченных различными способами. Опилки, полученные способом резания, состояли более чем на 90 % из частиц, оставшихся на сите с диаметром ячеек 100 мкм. В составе древесной муки марки «180» на сите с диаметром ячеек 100 мкм осталось около 60 % частиц, составляющих структуру муки. Опилки механоактивированные гидродинамическим способом содержали более 25 % фракций, прошедших через сито с диаметром ячеек 40 мкм и около 55 % оставшихся на сите с диаметром ячеек 100 мкм.

В результате механоактивации заметно изменяется морфолого-анатомическое строение опилок. Характер таких изменений хорошо демонстрируется микрофотографиями. На рис. 3 приведены микрофотографии образцов опилок, древесной муки марки «180» и механоактивированных гидродинамическим способом опилок.

Опилки (рис. 3, а) при увеличении в 250 раз выглядят как небольшие фрагменты древесной ткани, имеющие клеточную структуру. Изображение древесной муки (рис. 3, б) показывает пластинчатую форму древесной частицы с относительно гладкой поверхностью и расслоениями на торцевой части.

После обработки в гидродинамическом диспергаторе отчетливо видно расслоение приторцовых поверхностей частиц (рис. 3, в). При этом увеличивается количество волокнистых элементов на поверхности частиц в виде частично разрушенных и отслоившихся клеточных стенок. При увеличении в 250 видно, что отдельные волокна представляют собой фрагменты клеточных стенок с высоким содержанием пор, определяющих величину удельной поверхности.

Результаты сравнительного анализа влияния способов измельчения древесных частиц березы на содержание холоцеллюлозы и альфа-целлюлозы, образующихся этапе делигнификации представлены в таблице.

При проведении процесса делигнификации показатель выхода холоцеллюлозы и содержания в ней альфа-целлюлозы зачастую обратно пропорциональны. Вероятно, это связано с тем, что при прохождении гидролиза происходит разрушение лигнина, бета- и гамма-целлюлозы и частично альфа-целлюлозы. Вследствие этого при увеличении содержания в продукте альфа-целлюлозы уменьшается общий выход холоцеллюлозы по отношению к исходному сырью. Это заметно в образцах «Опилки» и «Древесная мука «180». В образце «Опилки» выход холоцеллюлозы составляет 30,8–32,6 %, что ниже, чем у образца «Древесная мука «180» (33,7–35,2 %), но при этом выше содержание альфа-целлюлозы (69,7–71,8 %). При этом из-за схожего способа измельчения березы образцы «Опилки» и «Древесная мука «180» близки по содержанию альфа-целлюлозы.

В случае гидродинамической механоактивации опилок березы повышается степень проникновения реагента, вследствие чего, преимущественно, происходит гидролиз вторичных составляющих: лигнина и бета- гамма-целлюлозы. Благодаря этому при выходе холоцеллюлозы 31–32,3 % наблюдается более высокое содержание в ней альфа-целлюлозы 81,2–83,2 %.

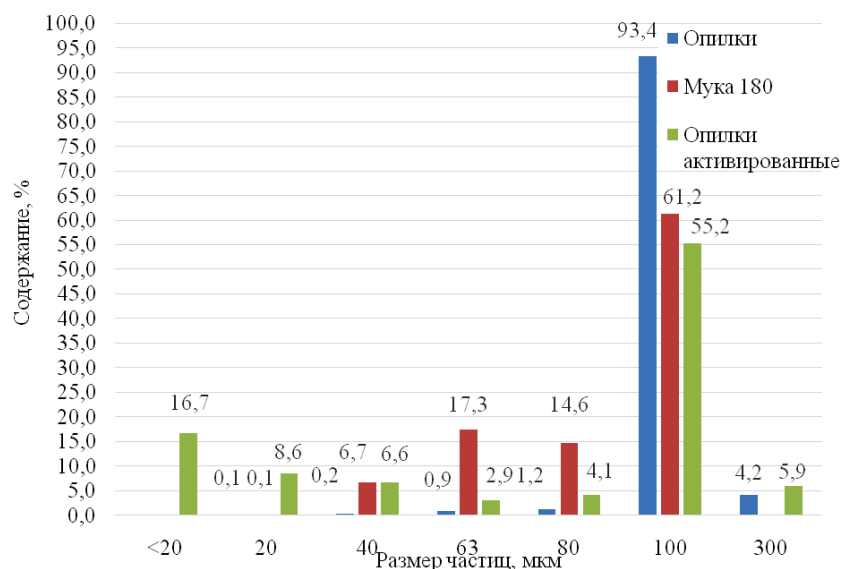


Рис. 2. Распределение древесных частиц по размерам в зависимости от способа их получения

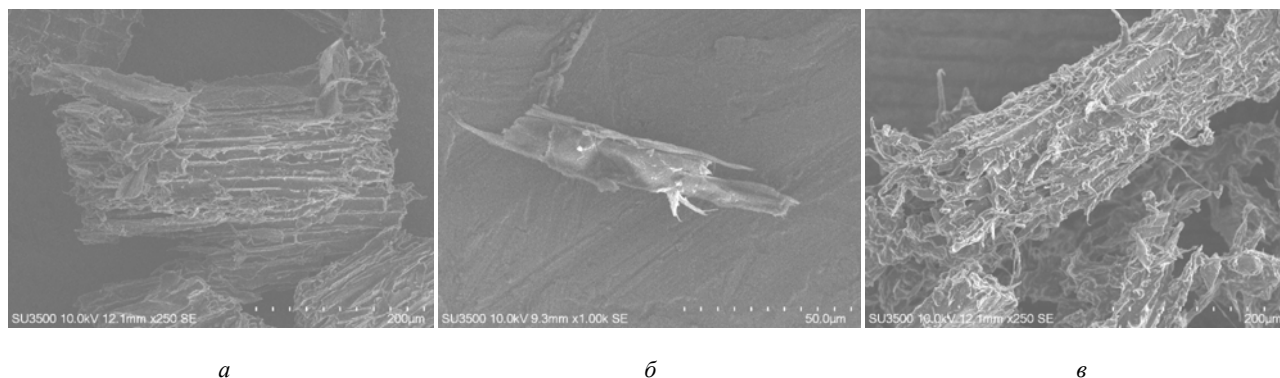


Рис. 3. Микроснимки поверхностей древесных частиц: (а) опилки, (б) древесная мука марки «180», (в) активированные опилки

Результаты получения холоцеллюлозы из частиц березы и содержания в ней альфа-целлюлозы

Наименование исходного сырья	Выход холоцеллюлозы, %.	Содержание альфа-целлюлозы в исходном сырье, %.	Содержание альфа-целлюлозы в холоцеллюлозе, %.
Опилки	30,8–32,6	21,9–23,1	69,7–71,8
Древесная мука «180»	33,7–35,2	22,8–24,6	66,8–70,3
Гидродинамически активированные опилки	31–32,3	25,8–26,2	81,2–83,2

Для дальнейшего получения ацетата целлюлозы необходима холоцеллюлоза с содержанием альфа-целлюлозы около 90 %. Для этого наилучшим образом подходит гидродинамически активированное сырье, продолжительность делигнификации которого была увеличена: выдержка в 8 % растворе азотной кислоты 90 минут, в 10 % растворе гидроксида натрия 45 минут. В результате такой выдержки была получена холоцеллюлоза с выходом 29,9–31,8 % к изначальному сырью с содержанием альфа-целлюлозы 88–92,8 %, что позволяет успешно проводить этерификацию.

Полученный ацетат целлюлозы в гетерогенной фазе соответствует триацетату целлюлозы (рис. 4, а), хорошо растворимому в хлороформе, с содержанием связанной уксусной кислоты 60,3–61,1 %.



Рис. 4. Внешний вид (а) триацетат целлюлозы; (б) диацетат целлюлозы

При проведении процесса в гомогенной фазе был получен диацетат целлюлозы (рис. 4, б), хорошо растворимый в ацетоне при перемешивании, с повышенным содержанием связанной уксусной кислоты 54,1–58 %.

В обоих способах получения ацетата целлюлозы в качестве катализатора использовалась серная кислота. Наибольшую значимость в рассматриваемом процессе имеет стадия промывки ацетата целлюлозы, так как кислая среда снижает термостабильность полученного продукта, из-за чего требуется нейтрализация.

ВЫВОДЫ

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о целесообразности использования гидродинамической механоактивации опилок березы, как способа предобработки, для дальнейшего процесса делигнификации и этерификации, за счет повышения удельной поверхности волокон путем фибриллирования.

Опилки прошедшие гидродинамическую подготовку интенсивнее подвергаются азотнокислой делигнификации с возможностью получения холоцеллюлозы с высоким содержанием альфа-целлюлозы, в отличие от частиц, измельченных сухим способом на

режущем и размольном оборудовании. Применение такой холоцеллюлозы в синтезе ацетатов целлюлозы позволяет получать как триацетат, так и диацетат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» [Интернет ресурс]. URL: <http://www.garant.ru/hotlaw/federal/335057/>.
2. Singh, T., Arpanaei, A., Elustondo, D., Wang, Y., Stocchero, A., West, T. A., & Fu, Q. (2022). Emerging technologies for the development of wood products towards extended carbon storage and CO₂ capture. *Carbon Capture Science & Technology*, 4, 100057.
3. Tuntsev, D. V., Prosvirnikov, D. B., & Kozlov, R. R. (2018). Physical and chemical properties of activated lignocellulose and its areas of application. *Solid State Phenomena*, 284, 779–784.
4. Yang, X., & Berglund, L. A. (2021). Structural and ecofriendly holocellulose materials from wood: microscale fibers and nanoscale fibrils. *Advanced Materials*, 33(28), 2001118.
5. Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина(химия, ультраструктура, реакции). М., 1988. 512 с.
6. Прокопьев А. А., Салимгараева Р. В., Сафин Р. Р. Обзор современных исследований в области ацетилирования древесины // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2022. № 2. С. 106–114.
7. Song, J., Chen, C., Zhu, S., Zhu, M., Dai, J., Ray, U., ... & Hu, L. (2018). Processing bulk natural wood into a high-performance structural material. *Nature*, 554(7691), 224–228.
8. Yano, H. (2001). Potential strength for resin-impregnated compressed wood. *Journal of materials science letters*, 20, 1127–1129.
9. Frey, M., Biffi, G., Adobes-Vidal, M., Zirkelbach, M., Wang, Y., Tu, K., ... & Keplinger, T. (2019). Tunable wood by reversible interlocking and bioinspired mechanical gradients. *Advanced science*, 6(10), 1802190.
10. Li, Y., Fu, Q., Yu, S., Yan, M., & Berglund, L. (2016). Optically transparent wood from a nanoporous cellulosic template: combining functional and structural performance. *Biomacromolecules*, 17(4), 1358–1364.
11. Keplinger, T., Wang, X., & Burgert, I. (2019). Nanofibrillated cellulose composites and wood derived scaffolds for functional materials. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(7), 2981–2992.
12. Segmehl, J. S., Studer, V., Keplinger, T., & Burgert, I. (2018). Characterization of wood derived hierarchical cellulose scaffolds for multifunctional applications. *Materials*, 11(4), 517.

13. Baruah, J., Nath, B. K., Sharma, R., Kumar, S., Deka, R. C., Baruah, D. C., & Kalita, E. (2018). Recent trends in the pretreatment of lignocellulosic biomass for value-added products. *Frontiers in Energy Research*, 6, 141.

14. Эриньш, П. П. Структура и свойства древесины как многокомпонентной полимерной системы [Текст] / П. П. Эриньш // *Химия древесины*. 1977. № 1. С. 8–25.

15. Sun, S., Sun, S., Cao, X., & Sun, R. (2016). The role of pretreatment in improving the enzymatic hydrolysis of lignocellulosic materials. *Bioresource technology*, 199, 49–58.

16. Панкрушина, Н. А. Физическая активация процессов экстракции и органического синтеза / Н. А. Панкрушина, О. И. Ломовский, Т. П. Шахтшнейдер // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2019. Т. 27, № 6. С. 704–715. DOI 10.15372/ChUR2019194.

17. Rumpf H. Beanspruchungstheorie der Prallzerkleinerung // *Chemie Ingenieur Technik*. 1959. Vol. 31, № 5. S. 323–337.

18. Голязимова О. В., Политов А. А., Ломовский О. И. Увеличение эффективности измельчения лигноцеллюлозного растительного сырья с помощью химической обработки // *Химия растительного сырья*. 2009. № 2. С. 53–58.

19. Brandt, K. L., Gao, J., Wang, J., Wooley, R. J., & Wolcott, M. (2018). Techno-economic analysis of forest residue conversion to sugar using three-stage milling as pretreatment. *Frontiers in Energy Research*, 6, 77.

20. Wang, J., Gao, J., Brandt, K. L., Jiang, J., Liu, Y., & Wolcott, M. P. (2018). Improvement of enzymatic digestibility of wood by a sequence of optimized milling procedures with final vibratory tube mills for the amorphization of cellulose. *Holzforschung*, 72(6), 435–441.

21. Просвинников Д. Б. и др. Исследование процесса делигнификации древесины, предварительно активированной паровзрывной обработкой // *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. Т. 18. № 22. С. 103–106.

22. Prosvirnikov, D. B., Safin, R. G., & Zakirov, S. R. (2018). Microcrystalline cellulose based on cellulose containing raw material modified by steam explosion treatment. *Solid State Phenomena*, 284, 773–778.

23. Akpan, E. I., & Adeosun, S. O. (Eds.). (2019). *Sustainable lignin for carbon fibers: principles, techniques, and applications*. Springer.

24. Zhuang, X., Yu, Q., Wang, W., Qi, W., Wang, Q., Tan, X., & Yuan, Z. (2012). Decomposition behavior of hemicellulose and lignin in the step-change flow rate liquid hot water. *Applied biochemistry and biotechnology*, 168, 206–218.

25. Borrega, M., & Sixta, H. (2015). Water prehydrolysis of birch wood chips and meal in batch and flow-through systems: a comparative evaluation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 54(23), 6075–6084.

26. Kim, H. J., Lee, S., Kim, J., Mitchell, R. J., & Lee, J. H. (2013). Environmentally friendly pretreatment of plant biomass by planetary and attrition milling. *Bioresource technology*, 144, 50–56.

27. Ермолин В. Н. и др. Формирование структуры плит малой плотности из гидродинамически активированных мягких отходов деревообработки // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2019. № 5 (371). С. 148–157.

28. Кузнецова С. А. и др. Экологически безопасный процесс получения целлюлозы из древесины березы // *Журнал Сибирского федерального университета. Химия*. 2008. Т. 1, № 1. С. 80–87.

29. Delviawan, A., Kojima, Y., & Kobori, H. (2020). The influence of wet milling time of wood flour on the water resistance of wood plastic composite. *Proceedings of ugsas-gu & bwel joint poster session on agricultural and basin water environmental sciences*, 9

30. Антишин Д. В., Василишин Д. В., Красикова Т. В., Губин Д. Д. Выделение целлюлозы из рога широколистного азотнокислым методом делигнификации // *Chemical Bulletin*. 2022. С. 19.

31. Оболенская А. В., Ельницкая З. П., Леонович А. А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. *Экология*. Москва, 1991. 320 с.

32. Бытенский В. Я., Кузнецова Е. П. Производство эфиров целлюлозы. Л.: Химия, 1974. 208 с.

33. *Химия древесины и синтетических полимеров: лаб. практикум для студентов специальности 1-48 01 05 «Химическая технология переработки древесины»* / сост. А. И. Ламоткин, Ж. В. Бондаренко. Мн.: БГТУ, 2005. 82 с.

REFERENCES

1. Ukaz Prezidenta RF ot 7 iyulya 2011 g. № 899 “Ob utverzhdenii prioritetnykh napravleniy razvitiya nauki, tekhnologii i tekhniki v Rossijskoj Federacii i perechnya kriticheskikh tekhnologii Rossijskoj Federacii” [Internet resurs] URL: <http://www.garant.ru/hotlaw/federal/335057/>.

2. Singh, T., Arpanaei, A., Elustondo, D., Wang, Y., Stocchero, A., West, T. A., & Fu, Q. (2022). Emerging technologies for the development of wood products towards extended carbon storage and CO2 capture. *Carbon Capture Science & Technology*, 4, 100057.

3. Tuntsev, D. V., Prosvirnikov, D. B., & Kozlov, R. R. (2018). Physical and chemical properties of activated lignocellulose and its areas of application. *Solid State Phenomena*, 284, 779–784.

4. Yang, X., & Berglund, L. A. (2021). Structural and ecofriendly holocellulose materials from wood: microscale fibers and nanoscale fibrils. *Advanced Materials*, 33(28), 2001118.

5. Fengel D., Vegener G. *Drevesina(himiya, ul'trastruktura, reakcii)*. M., 1988. 512 s.

6. Prokop'ev, A. A. Obzor sovremennykh issledovanij v oblasti acetilirovaniya drevesiny / A. A. Prokop'ev, R. V. Salimgaraeva, R. R. Safin // *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*. 2022. № 2. S. 106–114.

7. Song, J., Chen, C., Zhu, S., Zhu, M., Dai, J., Ray, U., ... & Hu, L. (2018). Processing bulk natural wood into a high-performance structural material. *Nature*, 554(7691), 224–228.

8. Yano, H. (2001). Potential strength for resin-impregnated compressed wood. *Journal of materials science letters*, 20, 1127–1129.

9. Frey, M., Biffi, G., Adobes-Vidal, M., Zirkelbach, M., Wang, Y., Tu, K., ... & Keplinger, T. (2019). Tunable wood by reversible interlocking and bioinspired mechanical gradients. *Advanced science*, 6(10), 1802190.

10. Li, Y., Fu, Q., Yu, S., Yan, M., & Berglund, L. (2016). Optically transparent wood from a nanoporous

cellulosic template: combining functional and structural performance. *Biomacromolecules*, 17(4), 1358–1364.

11. Keplinger, T., Wang, X., & Burgert, I. (2019). Nanofibrillated cellulose composites and wood derived scaffolds for functional materials. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(7), 2981–2992.

12. Segmehl, J. S., Studer, V., Keplinger, T., & Burgert, I. (2018). Characterization of wood derived hierarchical cellulose scaffolds for multifunctional applications. *Materials*, 11(4), 517.

13. Baruah, J., Nath, B. K., Sharma, R., Kumar, S., Deka, R. C., Baruah, D. C., & Kalita, E. (2018). Recent trends in the pretreatment of lignocellulosic biomass for value-added products. *Frontiers in Energy Research*, 6, 141.

14. Erin'sh, P. P. Stroenie i svoystva drevesiny kak mnogokomponentnoj polimernoj sistemy [Tekst] / P. P. Erin'sh // *Himiya drevesiny*. 1977. № 1. S. 8–25.

15. Sun, S., Sun, S., Cao, X., & Sun, R. (2016). The role of pretreatment in improving the enzymatic hydrolysis of lignocellulosic materials. *Bioresource technology*, 199, 49–58.

16. Pankrushina, N. A. Fizicheskaya aktivaciya processov ekstrakcii i organicheskogo sinteza / N. A. Pankrushina, O. I. Lomovskij, T. P. Shahtshnejder // *Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya*. 2019. T. 27, № 6. S. 704–715. DOI 10.15372/KhUR2019194.

17. Rumpf H. Beanspruchungstheorie der Prallzerkleinerung // *Chemie Ingenieur Technik*. 1959. Vol. 31, № 5. S. 323–337.

18. Golyazimova, O. V. Uvelichenie effektivnosti izmel'cheniya lignocellyuloznogo rastitel'nogo syr'ya s pomoshch'yu himicheskoy obrabotki / O. V. Golyazimova, A. A. Politov, O. I. Lomovskij // *Himiya rastitel'nogo syr'ya*. 2009. № 2. S. 53–58.

19. Brandt, K. L., Gao, J., Wang, J., Wooley, R. J., & Wolcott, M. (2018). Techno-economic analysis of forest residue conversion to sugar using three-stage milling as pretreatment. *Frontiers in Energy Research*, 6, 77.

20. Wang, J., Gao, J., Brandt, K. L., Jiang, J., Liu, Y., & Wolcott, M. P. (2018). Improvement of enzymatic digestibility of wood by a sequence of optimized milling procedures with final vibratory tube mills for the amorphization of cellulose. *Holzforschung*, 72(6), 435–441.

21. Prosvirnikov D. B. i dr. Issledovanie processa delignifikacii drevesiny, predvaritel'no aktivirovannoj parovzryvnoj obrabotkoj // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015. T. 18. № 22. S. 103–106.

22. Prosvirnikov, D. B., Safin, R. G., & Zakirov, S. R. (2018). Microcrystalline cellulose based on cellulose containing raw material modified by steam explosion treatment. *Solid State Phenomena*, 284, 773–778.

23. Akpan, E. I., & Adeosun, S. O. (Eds.). (2019). *Sustainable lignin for carbon fibers: principles, techniques, and applications*. Springer.

24. Zhuang, X., Yu, Q., Wang, W., Qi, W., Wang, Q., Tan, X., & Yuan, Z. (2012). Decomposition behavior of hemicellulose and lignin in the step-change flow rate liquid hot water. *Applied biochemistry and biotechnology*, 168, 206–218.

25. Borrega, M., & Sixta, H. (2015). Water prehydrolysis of birch wood chips and meal in batch and flow-through systems: a comparative evaluation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 54(23), 6075–6084.

26. Kim, H. J., Lee, S., Kim, J., Mitchell, R. J., & Lee, J. H. (2013). Environmentally friendly pretreatment of plant biomass by planetary and attrition milling. *Bioresource technology*, 144, 50–56.

27. Ermolin V. N. i dr. Formirovanie struktury plit maloj plotnosti iz gidrodinamicheski aktivirovannykh myagkikh othodov derevoobrabotki // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2019. № 5 (371). S. 148–157.

28. Kuznecova S. A. i dr. Ekologicheskii bezopasnyj process polucheniya cellyulozy iz drevesiny berezy // *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Himiya*. 2008. T. 1, № 1. S. 80–87.

29. Delviawan, A., Kojima, Y., & Kobori, H. (2020). The influence of wet milling time of wood flour on the water resistance of wood plastic composite. *Proceedings of ugsas-gu & bwel joint poster session on agricultural and basin water environmental sciences*, 9.

30. Antishin D. V., Vasilishin D. V., Krasikova T. V., Gubin D. D. Vydelenie cellyulozy iz rogoza shirokolistnogo azotnokislym metodom delignifikacii // *Chemical Bulletin*. 2022. S. 19.

31. Obolenskaya A. V., El'nickaya Z. P., Leonovich A. A. *Laboratornye raboty po himii drevesiny i cellyulozy*, Ekologiya, Moskva, 1991, 320 s.

32. Bytenskiy V. Ya., Kuznecova E. P. *Proizvodstvo efirov cellyulozy*. L.: Himiya, 1974. 208 s.

33. Himiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov: lab. praktikum dlya studentov special'nosti 1-48 01 05 "Himicheskaya tekhnologiya pererabotki drevesiny" / sost. A. I. Lamotkin, Zh. V. Bondarenko. Mn.: BGТУ, 2005. 82 s.

© Казицин С. Н., Василишин Д. В.,
Шишмарева А. В., Добрынкина Д. Д.,
Ворончихин В. Д., 2024

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

УДК 547.98

DOI: 10.53374/1993-0135-2024-2-80-87

Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. XLII, № 2. С. 80–87

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА КОРЫ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОНОЭТАНОЛАМИНА. СООБЩЕНИЕ 1. ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДУБИЛЬНОГО ЭКСТРАКТА

В. С. Федоров¹, Т. В. Рязанова¹, О. О. Мамаева¹, Е. В. Исаева¹, Н. В. Гончарова²

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

²Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Российская Федерация, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д. 40в, стр. 1
E-mail: fedorovvladimir1996@yandex.ru

*В статье приведены результаты исследований по совершенствованию технологии дубильных экстрактов из коры лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb. Изучен компонентный состав исследуемого сырья. Показано, что отходы механической окорки древесины лиственницы можно перевести в разряд сырья, пригодного для дубильно-экстрактового производства, если процесс извлечения дубильных веществ осуществлять водным раствором моноэтаноламина с концентрацией 5 %, продолжительность процесса 5 ч, при гидромодуле 14. Концентрация экстрактивных веществ в полученном экстракте составляет 41,5 г/л, а доброкачественность – 74,9 %. Проведены исследования по дублению кожевенной ткани огуночным способом с использованием дубильного экстракта, полученного из коры лиственницы, на примере овчины забайкальской породы. Изучены физико-механические и химические показатели готового полуфабриката, которые соответствуют предъявляемым требованиям согласно ГОСТ 4661–76.*

Ключевые слова: кора лиственницы, экстракция, моноэтаноламин, дубильные вещества, экстрактивные вещества, дубление.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 2, P. 80–87

COMPLEX PROCESSING OF SIBERIAN LARCH BARK USING MONOETHANOLAMINE. STATEMENT 1. OBTAINING AND UTILIZATION OF TANNIN EXTRACT

V. S. Fedorov¹, T. V. Ryazanova¹, O. O. Mamaeva¹, E. V. Isaeva¹, N. V. Goncharova²

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

²East Siberia State University of Technology and Management
40v/1, Klyuchevskaya str., Ulan-Ude, 670013, Russian Federation

*The article presents the results of research on improving the technology of tannin extracts from the bark of Siberian larch *Larix sibirica* Ledeb. The component composition of the studied raw materials is studied. It is shown that the wastes of mechanical debarking of larch wood can be transferred to the category of raw materials suitable for tannin-extract production, if the process of extraction of tannins is carried out by aqueous solution of monoethanolamine with a concentration of 5 %, the duration of the process is 5 hours, at hydromodule 14. The concentration of extractive substances in the obtained extract is 41.5 g/l, and the benignity is 74.9 %. The research on tanning of leather fabric by dip-tanning method using tannin extract obtained from larch bark was carried out on the example of sheepskin of Zabaikal breed. The physical, mechanical and chemical parameters of the finished semi-finished product were studied, which meet the requirements according to GOST 4661–76.*

Keywords: larch bark, extraction, monoethanolamine, tannins, extractives, tanning.

ВВЕДЕНИЕ

Лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) является ценным хвойным деревом, широко распро-

страненным в северных регионах России и Азии. Ее древесина обладает уникальным набором свойств, включая высокую прочность, долговечность и устой-

чивость к гниению. В связи с этим лиственница сибирская традиционно используется в различных отраслях промышленности, таких как строительство, судостроение и мебельное производство.

Кора лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) является ценным побочным продуктом лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности. Она составляет около 10–15 % от общего объема древесины. Отличительной особенностью коры от древесины является высокое содержание экстрактивных веществ, которые представлены практически всеми классами органических соединений.

Наибольший интерес представляют вещества полифенольной природы, которые являются активными метаболитами растительных организмов, участвуют в процессах обмена веществ, дыхания, являются антиоксидантной защитой, проявляют бактерицидные и фунгицидные свойства и используются в химической, фармацевтической, пищевой и кожевенной промышленности [1–6].

Для извлечения их из растительного материала используют различные экстрагенты. На состав экстрактов существенную роль оказывает как вид сырья, так и метод выделения. Эти различия в экстрактах, полученных различными методами, указывают на то, что процедуру экстракции необходимо выбирать в соответствии с конечным назначением экстракта.

Разработан способ выделения фитокомплекса из коры лиственницы сибирской путем экстракции ее этилацетатом, который проявляет антиоксидантную активность [7]. Кроме того установлено, что этилацетатный экстракт, полученный обладает капилляроукрепляющей активностью, высоким гастро- и гепатозащитным эффектом, а также оказывает стимулирующее влияние на центральную нервную систему [8–11].

В результате последовательной экстракции – этилацетатом, гексаном и водой были выделены и идентифицированы различные классы полифенольных соединений [12–16]. Установлено, что содержание фенольных соединений в этилацетатовом экстракте составляет 92,0 % [12]. Разнообразный состав полифенолов является биологически ценным и хорошим потенциалом для фармакологической, аграрной, пищевой и лесной промышленности.

Среди полифенолов особая роль принадлежит танинам, веществам, обладающим дубящей способностью.

Танины – это полифенолы с вяжущим вкусом, содержащиеся в растениях, которые могут связывать и осаждать белки. Хотя термин «танин» первоначально был получен из-за использования дубильных веществ при дублении шкур животных для изготовления кожи, этот термин широко применяется к любому полифенольному соединению, которое образует прочные комплексы с белками. Молекулярная масса танинов колеблется от 500 до более чем 3000. Существует два типа танинов: гидролизуемые танины и конденсированные танины. В центре гидролизуемого танина находится такой углевод, как D-глюкоза. Гидроксильные группы углеводов частично или полностью этерифицируются фенольными кислотами, такими как галловая кислота (в галлотанинах).

Конденсированные танины, известные как проантоцианидины, широко распространены в растениях, в частности содержатся в коре лиственницы. Они представляют собой полимеры из 2-50 (или более) флавоноидных единиц, которые не поддаются гидролизу. Некоторые очень крупные конденсированные танины нерастворимы, в то время как гидролизуемые танины и большинство конденсированных танинов растворимы в воде. Все фенольные соединения крайне нестабильны и быстро превращаются в различные продукты реакции, этим объясняется сложность полифенолов в продуктах питания [17].

Одним из способов переработки коры хвойных пород является экстракционная переработка с получением дубильных экстрактов [18], которые используются в качестве дубителей при выделке кожи, придавая изделию прочностные и износостойкие свойства. Применение растительных дубителей – дешево и экологически безопасно [19–21].

Большое содержание древесины в виде отщепов в отходах механической окорки древесины практически исключает возможность использования воды в качестве экстрагента, так как выход дубильных веществ из такого сырья мал и экономически не целесообразен.

Замена растворителя, как было установлено ранее, показала, что использование водного раствора гидроксида натрия или этанольно-щелочного экстрагента позволяет увеличить выход экстрактивных веществ почти на порядок [22–23]. Однако эти экстракты, наряду с высоким выходом, имеют низкую доброкачественность и требуют дополнительной обработки для получения качественного экстракта [24]. Для повышения доброкачественности экстракта предложено проводить нейтрализацию его на катионообменной смоле КУ-2, с последующей ультрафильтрацией на полых волокнах, и сульфитированием концентрата для растворения флорафенов [25].

Другим альтернативным вариантом получения дубильного экстракта является использование вместо водного раствора гидроксида натрия водный раствор аминоспиртов, в частности моноэтаноламина (МЭА) [26; 27; 28]. Присутствие МЭА в экстрагенте способствует увеличению выхода экстрактивных веществ из растительного сырья, так как он является хорошим набухающим агентом. Использование МЭА в качестве экстрагента облегчает переход в жидкую фазу веществ различной природы, а также является слабым деструктурирующим агентом для лигнина. Кроме того, МЭА способен предотвращать окислительные процессы, а также ингибировать конденсацию полифенольных соединений и обеспечивать сохранность углеводного комплекса. В тоже время при наличии в составе экстрагента свободного аммиака [29] возможна реакция флавоноидов и полифлавоноидных дубильных веществ с аммиаком, которая приводит к мультиаминированию значительной доли фенольных гидроксигрупп, причем как на А, так и на В-кольцах флавоноидной структуры. Это, в свою очередь, приводит к олигомеризации и поперечному сшиванию посредством образования мостиков одиночных и двойных связей между флавоноидными звеньями.

Проведенные нами ранее исследования по изучению процесса экстракции водным раствором МЭА, показали, что этот экстрагент обеспечивает высокий выход экстрактивных веществ [30–32].

Экстракты, полученные с использованием МЭА, обладают антимикробными свойствами, в ряде случаев пролонгированного действия, которые обеспечиваются фенольными соединениями [33].

Целью данного исследования являлось изучение возможности комплексной переработки коры лиственницы сибирской на основе экстракции ее водным раствором МЭА и оценка потребительских свойств получаемых продуктов: МЭА экстракта в качестве дубителя.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве исходного сырья использовали воздушно-сухие отходы механической окорки древесины лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb. с размером частиц 1–2 мм. Изучение компонентного состава проводили согласно методикам, принятым в химии растительного сырья [34; 35]. Экстрагирование проводили в две стадии: 1 – водным раствором моноэтаноламина с содержанием основного компонента не менее 5 %, гидромодуль (ГМ) 14, продолжительность процесса экстракции составляла 5 ч при температуре 90–98 °С; 2 – водой, гидромодуль (ГМ) 14, продолжительность процесса экстракции составляла 1 ч при температуре 90–95 °С [30–32]. Известно, что подготовка сырья для процесса экстракции является ключевым этапом, влияющим на интенсивность извлечения. Разрушение клеточной структуры можно осуществить в аппаратах размольного типа [36; 37] и тем самым сделать сырье более доступным для проникновения экстрагента. В данном случае 2 стадию экстракции проводили в аппаратах размольного типа.

Содержание экстрактивных веществ в экстрактах определяли гравиметрическим способом путем выпаривания аликвоты и доведения сухого остатка до постоянной массы [34; 35].

Количественное содержание флавоноидов в экстрактах в пересчете на авикулярин определяли с помощью спектрофотометра УФ 3000. К объему аликвоты экстракта добавляли 2%-ный спиртовой раствор хлорида алюминия и доводили до метки 95%-ным этиловым спиртом, оптическую плотность измеряли при длине волны 410 нм на фоне этилового спирта [38].

Определение водородного показателя осуществляли потенциометрическим методом.

Испытания технологических свойств дубильных экстрактов проводили на образцах меховой овчины забайкальской породы. Обработка мехового сырья проводилась окуночным способом. В качестве контроля использовали хромовое дубление.

Окуночное дубление растительными экстрактами проводили при комнатной температуре, при ГМ = 5 и рН = 6,2–8,5 (для корректировки водородного показателя использовали уксусную кислоту).

Длительность танидного дубления составляла 72 ч. После процесса дубления образцы овчины жировали и после пролежки сушили в свободном состоянии. Далее проводились механические операции, согласно

типовой технологии, принятой на ООО «МИП «ЭКОМ» (г. Улан-Удэ, Республика Бурятия, Российская Федерация).

Определение физико-химических показателей дубленной кожи. Относительное удлинение при разрыве и прочность на разрыв образцов дубленной кожи измеряли в соответствии со стандартами, принятыми в кожевенной промышленности. Для оценки термической эффективности и гидротермической стабильности кожаных материалов была определена температура усадки дубленного образца. Химические показатели дубленной кожи, такие как: массовая доля влаги, золы, не связанных жировых веществ и рН водной вытяжки оценивались в соответствии со стандартными процедурами [39; 40].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение химического состава растительного сырья и выделение в чистом виде отдельных его компонентов связаны с большими трудностями: во-первых, из-за сложности строения этих веществ, во-вторых, из-за существования тесной связи между отдельными компонентами в исследуемом образце. До настоящего времени еще не найдено совершенных методов, позволяющих выделить основные компоненты из растительного сырья в неизменном состоянии, это обусловлено, прежде всего, их высокомолекулярной природой.

Результаты исследования компонентного состава коры лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb. представлены в табл. 1. Содержание компонентов рассчитывалось на единицу абсолютно сухого сырья.

Таблица 1
Компонентный состав коры лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb. до и после экстракции моноэтаноламином

Компонент	Содержание, % от а.с.с.
Минеральные вещества	3,3/4,2
Экстрактивные вещества	19,9/5,0
Легкогидролизуемые полисахариды	14,9/15,7
Трудногидролизуемые полисахариды	24,8/35,6
Всего полисахаридов	39,7/51,3
Негидролизуемая часть	36,4/39,5
Знаменатель – твёрдый остаток после экстракции 5 % водным раствором моноэтаноламина	
Относительная погрешность не более 5,0 %	

По компонентному составу кора лиственницы представляет лигно-углеводный комплекс. Содержание минеральных веществ в коре лиственницы сибирской составляет 3,3 %. Количество извлекаемых веществ в результате последовательной экстракции (водой и 95%-м этиловым спиртом) в коре лиственницы составляет до 19,9 %. Углеводная часть, представляющая комплекс легко- и трудногидролизуемых полисахаридов составляет 39,7 %. Негидролизуемая часть представлена в основном веществами фенольной природы, в частности лигнином и другими конденсированными структурами, на долю которых приходится до 36,4 %.

Изучение компонентного состава коры лиственницы сибирской, показало наличие высокого содержания экстрактивных веществ, что позволяет использовать данное сырье для экстракционной переработки с целью получения дубильного экстракта.

Так как таниды и другие полифенолы содержатся не только в полостях клеток, но и пропитывают клеточные стенки, то эффективность процесса извлечения экстрактивных веществ будет зависеть от способности реагента проникать в капиллярно-пористую структуру клеточной стенки. Таким экстрагентом является органический растворитель моноэтаноламин (МЭА). Использование МЭА в качестве добавки к основному экстрагенту воде, позволяет увеличить выход экстрактивных веществ.

Результаты влияния концентрации МЭА на выход экстрактивных веществ из коры лиственницы представлен в табл. 2 [28].

Таблица 2

Влияние концентрации моноэтаноламина на выход экстрактивных веществ коры лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb.

Компонент	Концентрация моноэтаноламина, %		
	0,5	2,75	5,0
Выход ЭВ, % от а.с.с.	20,9	34,5	40,4

Как видно из результатов исследований, приведенных в табл. 2 на выход экстрактивных веществ, существенную роль оказывает концентрация МЭА в. Наибольший выход экстрактивных веществ наблюдается при 5 %-м растворе МЭА и составляет 40,4 %.

О том, что входит в состав МЭА экстракта свидетельствуют результаты в табл. 1, из которых видно, что экстрактивные вещества и полифенолы, входившие в негидролизуемую часть, составляют более 50 % и менее 50 % приходится на вещества углеводного характера.

Экспериментальные исследования по определению оптимального режима экстракции проводили с использованием математических методов планиро-

вания экспериментов, в основу которых был положен план второго порядка – план на кубе. В качестве параметров оптимизации были выбраны: выход экстрактивных веществ и содержание флавоноидов (% от а.с.с.); независимые переменные: концентрация МЭА – X_1 и гидромодуль – X_2 . Температура и продолжительность процесса экстракции были застabilизированы.

В результате математической обработки экспериментальных данных при помощи пакета программы MathCad 14 получены уравнения регрессии, которые имеют следующий вид [30; 31]:

$$Y_1 = 6,97X_1 - 1,629X_2 - 0,713X_1^2 + 0,011X_2^2 + 0,14X_1X_2 + 26,49, \quad (1)$$

$$Y_2 = 5,350X_1 - 0,357X_2 - 0,062X_1^2 + 0,009X_2^2 - 0,214X_1X_2 + 1,428. \quad (2)$$

В качестве оптимального предложен следующий режим на первой стадии: концентрация МЭА – 5 %; гидромодуль – 14; продолжительность – 5 ч, температура – 90–95 °С.

Характеристика экстракта, полученного из коры лиственницы водно-моноэтаноламиновой смесью в оптимальном режиме приведена в табл. 3.

Согласно полученным экспериментальным данным видно, что экстракт обладает высокой доброкачественностью, что позволяет использовать его в качестве дубителя в кожевенной промышленности.

Дубление проводили на образцах меховой овчины забайкальской породы, отобранных по методу ассиметричной бахтармы. Обработку мехового сырья проводили окуночным способом. Длительность танидного дубления составляла 72 ч.

Органолептическая оценка готового полуфабриката показала, что кожаная ткань овчин танидного дубления получилась хорошо наполненной, мягкой пластичной по всей площади. Результаты физико-механических испытаний и химических исследований овчин представлены в табл. 4.

Таблица 3

Характеристика экстракта коры лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb.

Порода	pH экстракта	Концентрация экстрактивных веществ, г/л	Содержание флавоноидов, %	Доброкачественность экстракта, %
Лиственница сибирская	12,4	41,5	31,1	74,9

Таблица 4

Физико-механические и химические испытания танидного дубления

Показатель	Лиственница сибирская	Хромовое дубление
Температура усадки готового полуфабриката, °С	62; 63	76; 75
Массовая доля влаги, %	9,1	8,5
Массовая доля золы, %	5,0	7,3
Массовая доля не связанных жировых веществ, %	19,8	19,8
pH водной вытяжки	6,9	4,0
Нагрузка при разрыве целой овчины, для овчин площадью свыше 40 дм ² , кгс/мм ²	2,5	1,8
Удлинение полное для целых овчин при напряжении 4,9 МПа, %	30,1	40,0

В результате дубления происходит структурирование коллагена веществами, молекулы которых способны реагировать с полярными группами полипептидных цепей, образуя между ними гидролитически устойчивые мостики. Выдубленные коллагеновые волокна, могут деформироваться самопроизвольно при нагревании до определенной температуры.

Из результатов, приведенных в таблице видно, что температура усадки при использовании в качестве дубителя растительного экстракта обеспечивает сопоставимые значения температуры усадки в пределах 62–63 °С, что является ниже по сравнению с требованием ГОСТа 4661–76 и хромовым дублением. Такая температура может свидетельствовать об интенсивном процессе обработки. Для корректировки температуры усадки при 100 % прокрасе кожевенной ткани в рабочий раствор добавляют карбонат натрия в растворенном виде до pH = 3,6–3,8 и продолжают дубление до достижения необходимого значения температуры усадки. Важно учитывать это при выборе технологии производства в зависимости от требований к конечному продукту и эксплуатационным условиям.

Массовая доля влаги, которая оказывает существенную роль на тепловые и физические свойства материала, в меховом полуфабрикате составляет 9,1 %, что является допустимым в соответствии с установленными стандартами (не более 14 %).

Из полученных результатов видно, что содержание золы в меховом полуфабрикате, полученном при выделке мехового полуфабриката, находятся в пределах 5,0 % что является допустимой нормой.

Массовая доля не связанных жировых веществ в меховом полуфабрикате при таннидном и хромовом дублении составляет 19,8 %. Это свидетельствует о соблюдении стандартов и обеспечивает стабильность в качестве материала.

Водородный показатель (pH) водной вытяжки влияет на химическую стабильность и комфортность использования конечного продукта. Исходя из данных приведенных в таблице видно, что значения pH водной вытяжки при дублении растительным экстрактом находится в пределах 4,0–6,9 что подтверждает нейтральность или слабую кислотность, данный показатель не превышает допустимые значения.

Физико-механические показатели, такие как: нагрузка при разрыве целой овчины, для овчин площадью свыше 40 дм² и удлинение полное для целых овчин при напряжении 4,9 МПа свидетельствуют о прочностных характеристиках мехового изделия. Полученные результаты являются допустимыми, согласно требованиям ГОСТа 4661–76.

Таким образом, проведенные испытания свойств лиственничного МЭА экстракта, подтвердили его пригодность для выделки мехового полуфабриката.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Древесные отходы, образующиеся в результате механической окорки древесины являются потенциальным и дешевым источником сырья для экстракционной переработки.

Использование водного раствора моноэтаноламина в качестве экстрагента для извлечения из коры ли-

ственницы сибирской дубильных веществ позволит получить экстракт с концентрацией экстрактивных веществ 41,5 г/л, доброкачественность экстракта составляет 74,9 %.

Полученный экстракт пригоден в качестве растительного дубителя при выделке кожи, о чем свидетельствуют соответствующие техническим условиям его физико-механические и химические показатели, установленные в результате опытно-производственных испытаний на ООО «МИП «ЭКОМ» (г. Улан-Удэ, Республика Бурятия, Российская Федерация).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Состав полифенолов в биоматериалах российских хвойных пород / А. Б. Гаврилов, С. В. Горяинов, А. А. Мариничев [и др.] // Химия растительного сырья. 2019. № 2. С. 51–58. DOI 10.14258/jcprn.2019024260.
2. Geana E.-I., Ciucure C. T., Tamaian R., Marinas I. C., Gaboreanu D. M., Stan M., Chitescu C. L. Antioxidant and Wound Healing Bioactive Potential of Extracts Obtained from Bark and Needles of Softwood Species. *Antioxidants* 2023, 12, 1383. <https://doi.org/10.3390/antiox12071383>.
3. Pizzi, A. Tannins: Prospectives and Actual Industrial Applications. *Biomolecules* 2019, 9, 344. <https://doi.org/10.3390/biom9080344>.
4. Faggian M., Bernabè G., Ferrari S., Francescato S., Baratto G., Castagliuolo I., Dall'Acqua S., Peron G. Polyphenol-Rich *Larix decidua* Bark Extract with Antimicrobial Activity against Respiratory-Tract Pathogens: A Novel Bioactive Ingredient with Potential Pharmaceutical and Nutraceutical Applications. *Antibiotics* 2021, 10, 789. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10070789>.
5. Горбылева Е. Л., Боровский Г. Б. Биостимуляторы роста и устойчивости растений терпеноидной природы и другие биологически активные соединения, полученные из хвойных пород // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8, № 4(27). С. 32–41. DOI 10.21285/2227-2925-2018-8-4-32-41.
6. Fedorov V. S., Ryzanova T. V. Bark of Siberian Conifers: Composition, Use, and Processing to Extract Tannin. *Forests* 2021, 12, 1043. <https://doi.org/10.3390/f12081043>.
7. Патент № 2188031 (РФ). Фитокомплекс, обладающий антиоксидантной активностью, и способ его получения / В. А. Бабкин, Л. А. Остроухова, Н. В. Иванова, Ю. А. Малков, С. З. Иванова, Н. А. Онучина. 2002.
8. Бабкин В. А. Экстрактивные вещества древесины лиственницы: химический состав, биологическая активность, перспективы практического использования // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2017. № 2(20). С. 210–224.
9. Бабкин В. А., Остроухова Л. А., Трофимова Н. Н. Биомасса лиственницы: от химического состава до инновационных продуктов. Новосибирск, 2011. 236 с.
10. Левчук А. А., Беловежец Л. А., Онучина Н. А. Микробиологическая активность этилацетатных фракций древесины лиственницы сибирской // Фенольные соединения: свойства, активность, инновации. М., 2018. С. 470–473.

11. Влияние экстрагента на компонентный состав фенольного комплекса, извлекаемого из коры лиственницы Гмелина / Н. И. Гордиенко, Т. Е. Федорова, С. З. Иванова, В. А. Бабкин // *Химия растительного сырья*. 2008. № 2. С. 35–38.
12. Определение количественного содержания экстрактивных веществ из древесины, корней и коры деревьев хвойных пород Сибири: лиственницы (*Larix Sibirica L.*), сосны (*Pinus Sylvestris L.*), пихты (*Abies Sibirica L.*), ели (*Picea Obovata L.*) и кедра (*Pinus Sibirica Du Tour*). Л. А. Остроухова, Т. Е. Федорова, Н. А. Онучина [и др.] // *Химия растительного сырья*. 2018. № 4. С. 185–195. DOI 10.14258/jcprtm.2018044245.
13. Флавоноидные соединения коры лиственницы сибирской и лиственницы Гмелина / С. З. Иванова, Т. Е. Федорова, Н. В. Иванова [и др.] // *Химия растительного сырья*. 2002. № 4. С. 5–13.
14. Ivanova S. Z., Gorshkov A. G., Kuzmin A. V., Gordienko I. I., Babkin V. A. Phenolic compounds of Siberian and Dahurian larch phloem // *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2012. Vol. 38. No. 7. Pp. 769–774. DOI: 10.1134/S1068162012070096.
15. Иванова С. З., Федорова Т. Е., Федоров С. В., Бабкин В. А. Стильбены коры лиственницы Гмелина // *Химия растительного сырья*. 2008. № 4. С. 83–88.
16. Fedorova T. E., Ivanova S. Z., Babkin V. A. Spiroflavonoid Compounds: Structure and Distribution in Nature Review // *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2010. Vol. 36. № 7. Pp. 11–20. DOI: 10.1134/S1068162010070022.
17. Izawa K., Amino Y., Kohmura M., Ueda Y., Kuroda, M. Human–Environment Interactions – Taste // *Comprehensive Natural Products II*. 2010. Pp. 631–671. Doi:10.1016/b978-008045382-8.00108-8.
18. Федоров В. С., Рязанова Т. В., Еременко О. Н. Переработка коры хвойных с получением дубильных экстрактов // *Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование : материалы междунауч.-практ. конф. (11–13 декабря 2021 г.)*. Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2022. С. 27–34. DOI 10.53980/9785907599079_27.
19. Z. Sebestyén, E. Jakab, E. Badea, E. Barta-Rajnai, C. Şendrea, and Z. S. Czégény, “Thermal degradation study of vegetable tannins and vegetable tanned leathers,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 138, pp. 178–187, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.12.022>.
20. É. Hansen, P. M. de Aquim, and M. Gutierrez, “Environmental assessment of water, chemicals and effluents in leather post-tanning process: a review,” *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 89, Article ID 106597, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106597>.
21. Hedberg Y. S. Chromium and leather: a review on the chemistry of relevance for allergic contact dermatitis to chromium // *Journal of Leather Science and Engineering*, vol. 2, pp. 20–15, 2020. <https://doi.org/10.1186/s42825-020-00027-y>.
22. Получение и облагораживание экстрактов из коры хвойных / О. Н. Еременко, П. В. Мишура, Т. В. Рязанова // *Хвойные бореальной зоны*. 2015. Т. 33, № 5-6. С. 291–295.
23. Экстрактивные вещества водно-щелочного экстракта коры сосны / Ю. А. Тюлькова, Т. В. Рязанова, О. Н. Еременко, Т. М. Тарченкова // *Хвойные бореальной зоны*. 2013. Т. 31, № 3-4. С. 101–104.
24. Совершенствование производства дубильных экстрактов из коры хвойных с использованием щелочных экстрагентов / О. Н. Еременко, П. В. Мишура, Т. В. Рязанова, М. В. Ток // *Вестник КрасГАУ*. 2015. № 2(101). С. 90–95.
25. Гончарова, Н. В. Ультрафильтрация щелочных экстрактов коры лиственницы сибирской / Н. В. Гончарова, М. В. Ток, Т. В. Рязанова // *Химия растительного сырья*. 1998. № 2. С. 69–73.
26. Пермьякова Г. В., Лоскутов С. Р., Семенович А. В. Экстракция коры хвойных водой с добавлением моноэтаноламина // *Химия растительного сырья*. 2008. № 1. С. 37–40.
27. Пермаков Г. В., Лоскутов С. Р., Семенович А. В. Экстракция коры хвойных водно-органических экстрагентов // *Химия растительного сырья*. 2008. № 2. С. 43–46.
28. Влияние добавок моноэтаноламина на экстракцию коры *Larix sibirica* Ledeb / С. Р. Лоскутов, Г. В. Пермьякова, А. А. Анискина, Г. И. Перышкина // *Растительные ресурсы*. 1997. Т. 33, № 2. С. 74–78.
29. Braghiroli F., Fierro V., Pizzi A., Rode K., Radke W., Delmotte L., Parmentier J., Celzard A. (2013). *Reaction of condensed tannins with ammonia // Industrial Crops and Products*, 44, 330–335. doi:10.1016/j.indcrop.2012.11.024.
30. Ябров В. И., Рязанова Т. В. Экстракция коры лиственницы моноэтаноламином // *Молодые ученые в решении актуальных проблем науки : сб. материалов всеросс. науч.-практ. конф. (19 мая 2017 г.)*. Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, 2017. С. 207–209.
31. Fedorov V., Ryazanova T. // *E3S Web of Conferences*. 2023. 390. 05038. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339005038>.
32. Влияние концентрации моноэтаноламина на выход экстрактивных веществ / В. С. Федоров, Т. В. Рязанова, Р. А. Марченко, О. О. Мамаева // *Лесной и химический комплексы – проблемы и решения : сб. материалов всерос. науч.-практ. конф. (29 октября 2021 г.)*. Красноярск : Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, 2022. С. 352–354.
33. Изучение антимикробных свойств экстрактивных веществ хвойных / В. А. Сенашова, Г. В. Пермьякова, Н. В. Пашенова [и др.] // *Сибирский лесной журнал*. 2019. № 3. С. 71–77. DOI 10.15372/SJFS 20190309.
34. Оболенская А. В., Никитин В. М., Щеглов В. *Химия древесины и целлюлозы; Лесная промышленность: Москва, Россия, 1978. С. 367. ISBN 978-5-458-34022-9.*
35. Рязанова Т. В., Чупова Н. А., Исаева Е. В. *Химия древесины; LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG: Саарбрюккен, Германия, 2012; С. 428. ISBN 978-3-8473-7148-9.*

36. Рязанова Т. В., Чупрова Н. А., Ким Н. Ю. Об интенсификации процесса экстракции коры лиственницы сибирской в дезинтеграторе // Химия растительного сырья. 2000. № 1. С. 95–100.

37. Алашкевич Ю. Д., Марченко Р. А., Решетова Н. С. Процесс безножевой обработки волокнистой суспензии в установке «струя-преграда» // Химия растительного сырья. 2009. № 2. С. 157–164.

38. Природные флавоноиды / Д. Ю. Корулькин, Ж. А. Абилов, Р. А. Музычкина, Г. А. Толстиков ; Рос. акад. наук, Сиб. отд., Новосиб. ин-т органической химии. Новосибирск : Академическое изд-во «Тео», 2007. 232 с.

39. International standard ISO 3376 IULTCS/IUP 6. Leather – Physical and mechanical tests – Determination of tensile strength and percentage elongation.

40. ГОСТ 4661–76. Овчина меховая выделанная. Технические условия. : дата введения 1977-01-01. Москва : ИПК «Издательство стандартов», 2002. 11 с.

REFERENCES

1. Sostav polifenolov v biomaterialakh rossiyskikh khvoynykh porod / A. B. Gavrillov, S. V. Goryainov, A. A. Marinichev [i dr.] // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2019. № 2. S. 51–58. DOI 10.14258/jcprm.2019024260.

2. Geana E.-I., Ciucure C. T., Tamaian R., Marinas I. C., Gaboreanu D. M., Stan M., Chitescu C. L. Antioxidant and Wound Healing Bioactive Potential of Extracts Obtained from Bark and Needles of Softwood Species. *Antioxidants* 2023, 12, 1383. <https://doi.org/10.3390/antiox12071383>.

3. Pizzi, A. Tannins: Prospectives and Actual Industrial Applications. *Biomolecules* 2019, 9, 344. <https://doi.org/10.3390/biom9080344>.

4. Faggian M., Bernabè G., Ferrari S., Francescato S., Baratto G., Castagliuolo I., Dall'Acqua S., Peron G. Polyphenol-Rich *Larix decidua* Bark Extract with Antimicrobial Activity against Respiratory-Tract Pathogens: A Novel Bioactive Ingredient with Potential Pharmaceutical and Nutraceutical Applications. *Antibiotics* 2021, 10, 789. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10070789>.

5. Gorbyleva E. L., Borovskiy G. B. Biostimulatory rosta i ustoychivosti rasteniy terpenoidnoy prirody i drugie biologicheski aktivnyye soyedineniya, poluchennyye iz khvoynykh porod // Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya. 2018. T. 8, № 4(27). S. 32–41. DOI 10.21285/2227-2925-2018-8-4-32-41.

6. Fedorov V. S., Ryazanova T. V. Bark of Siberian Conifers: Composition, Use, and Processing to Extract Tannin. *Forests* 2021, 12, 1043. <https://doi.org/10.3390/f12081043>.

7. Patent № 2188031 (RF). Fitokompleks, obladayushchiy antioksidantnoy aktivnost'yu, i sposob ego polucheniya / V. A. Babkin, L. A. Ostroukhova, N. V. Ivanova, Yu. A. Malkov, S. Z. Ivanova, N. A. Onuchina. 2002.

8. Babkin V. A. Ekstraktivnyye veshchestva drevesiny listvennitsy: khimicheskiy sostav, biologicheskaya aktivnost', perspektivy prakticheskogo ispol'zovaniya // Innovatika i ekspertiza: nauchnyye trudy. 2017. № 2(20). S. 210–224.

9. Babkin V. A., Ostroukhova L. A., Trofimova N. N. Biomassa listvennitsy: ot khimicheskogo sostava do innovatsionnykh produktov. Novosibirsk, 2011. 236 s.

10. Levchuk A. A., Belovezhets L. A., Onuchina N. A. Mikrobiologicheskaya aktivnost' etilatsetatnykh fraktsiy drevesiny listvennitsy sibirskoy // Fenol'nyye soyedineniya: svoystva, aktivnost', innovatsii. M., 2018. S. 470–473.

11. Vliyanie ekstragenta na komponentnyy sostav fenol'nogo kompleksa, izvlekayemogo iz kory listvennitsy Gmelina / N. I. Gordiyenko, T. E. Fedorova, S. Z. Ivanova, V. A. Babkin // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2008. № 2. S. 35–38.

12. Opreddeniye kolichestvennogo sodержaniya ekstraktivnykh veshchestv iz drevesiny, korney i kory derev'yev khvoynykh porod Sibiri: listvennitsy (*Larix Sibirica* L.), sosny (*Pinus Sylvestris* L.), pikhty (*Abies Sibirica* L.), eli (*Picea Obovata* L.) i kedra (*Pinus Sibirica* Du Tour). L. A. Ostroukhova, T. E. Fedorova, N. A. Onuchina [i dr.] // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2018. № 4. S. 185–195. DOI 10.14258/jcprm.2018044245.

13. Flavonoidnyye soyedineniya kory listvennitsy sibirskoy i listvennitsy Gmelina / S. Z. Ivanova, T. E. Fedorova, N. V. Ivanova [i dr.] // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2002. № 4. S. 5–13.

14. Ivanova S. Z., Gorshkov A. G., Kuzmin A. V., Gordienko I. I., Babkin V. A. Phenolic compounds of Siberian and Dahurian larch phloem // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2012. Vol. 38. No. 7. Pp. 769–774. DOI: 10.1134/S1068162012070096.

15. Ivanova S. Z., Fedorova T. E., Fedorov S. V., Babkin V. A. Stil'beny kory listvennitsy Gmelina // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2008. № 4. S. 83–88.

16. Fedorova T. E., Ivanova S. Z., Babkin V. A. Spiroflavonoid Compounds: Structure and Distribution in Nature Review // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2010. Vol. 36. № 7. Pp. 11–20. DOI: 10.1134/S1068162010070022.

17. Izawa K., Amino Y., Kohmura M., Ueda Y., Kuroda, M. Human–Environment Interactions – Taste // Comprehensive Natural Products II. 2010. Pp. 631–671. DOI:10.1016/b978-008045382-8.00108-8.

18. Fedorov V. S., Ryazanova T. V., Eremenko O. N. Pererabotka kory khvoynykh s polucheniyem dubil'nykh ekstraktov // Kozha i mekh v XXI veke: tekhnologiya, kachestvo, ekologiya, obrazovaniye : materialy mezhdun. nauch.-prakt. konf. (11–13 dekabrya 2021 g.). Ulan-Ude: Vostochno-Sibirskiy gosudarstvennyy universitet tekhnologii i upravleniya, 2022. S. 27–34. DOI 10.53980/9785907599079_27.

19. Z. Sebestyén, E. Jakab, E. Badea, E. Barta-Rajnai, C. Şendrea, and Z. S. Czégény, “Thermal degradation study of vegetable tannins and vegetable tanned leathers,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 138, pp. 178–187, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.12.022>.

20. É. Hansen, P. M. de Aquim, and M. Gutterres, “Environmental assessment of water, chemicals and effluents in leather post-tanning process: a review,” *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 89, Article ID 106597, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106597>.

21. Hedberg Y. S. Chromium and leather: a review on the chemistry of relevance for allergic contact dermatitis to chromium // *Journal of Leather Science and Engineering*, vol. 2, pp. 20–15, 2020. <https://doi.org/10.1186/s42825-020-00027-y>.

22. Polucheniye i oblagorazhivaniye ekstraktov iz kory khvoynykh / O. N. Eremenko, P. V. Mishura, T. V. Ryazanova // *Khvoynnye boreal'noy zony*. 2015. T. 33, № 5-6. S. 291–295.
23. Ekstraktivnyye veshchestva vodno-shchelochnogo ekstrakta kory sosny / Yu. A. Tyul'kova, T. V. Ryazanova, O. N. Eremenko, T. M. Tarchenkova // *Khvoynnye boreal'noy zony*. 2013. T. 31, № 3-4. S. 101–104.
24. Sovershenstvovaniye proizvodstva dubil'nykh ekstraktov iz kory khvoynykh s ispol'zovaniyem shchelochnykh ekstragentov / O. N. Eremenko, P. V. Mishchra, T. V. Ryazanova, M. V. Tok // *Vestnik KrasGAU*. 2015. № 2(101). S. 90–95.
25. Goncharova, N. V. Ul'trafil'tratsiya shchelochnykh ekstraktov kory listvennitsy sibirskoy / N. V. Goncharova, M. V. Tok, T. V. Ryazanova // *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 1998. № 2. S. 69–73.
26. Permyakova G. V., Loskutov S. R., Semenovich A. V. Ekstraktsiya kory khvoynykh vodoy s dobavleniyem monoetanolamina // *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2008. № 1. S. 37–40.
27. Permakov G. V., Loskutov S. R., Semenovich A. V. Ekstraktsiya kory khvoynykh vodno-organicheskikh ekstragentov // *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2008. № 2. S. 43–46.
28. Vliyaniye dobavok monoetanolamina na ekstraktsiyu kory *Larix sibirica* Ledeb / S. R. Loskutov, G. V. Permyakova, A. A. Aniskina, G. I. Peryshkina // *Rastitel'nyye resursy*. 1997. T. 33, № 2. S. 74–78.
29. Braghiroli F., Fierro V., Pizzi A., Rode K., Radke W., Delmotte L., Parmentier J., Celzard A. (2013). *Reaction of condensed tannins with ammonia* // *Industrial Crops and Products*, 44, 330–335. doi:10.1016/j.indcrop.2012.11.024.
30. Yabrov V. I., Ryazanova T. V. Ekstraktsiya kory listvennitsy monoetanolinom // *Molodyye uchenyye v reshenii aktual'nykh problem nauki : sb. materialov vseross. nauch.-prakt. konf. (19 maya 2017 g.)*. Krasnoyarsk: Sibirskiy gosudarstvennyy universitet nauki i tekhnologii imeni akademika M. F. Reshetneva, 2017. S. 207–209.
31. Fedorov V., Ryazanova T. // *E3S Web of Conferences*. 2023. 390. 05038. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339005038>.
32. Vliyaniye kontsentratsii monoetanolamina na Vychod ekstraktivnykh veshchestv / V. S. Fedorov, T. V. Ryazanova, R. A. Marchenko, O. O. Mamayeva // *Lesnoy i khimicheskiy kompleksey – problemy i resheniya : sb. materialov vseross. nauch.-prakt. konf. (29 oktyabrya 2021 g.)*. Krasnoyarsk : Sibirskiy gosudarstvennyy universitet nauki i tekhnologii imeni akademika M. F. Reshetneva, 2022. S. 352–354.
33. Izucheniye antimikrobynykh svoystv ekstraktivnykh veshchestv khvoynykh / V. A. Senashova, G. V. Permyakova, N. V. Pashanova [i dr.] // *Sibirskiy lesnoy zhurnal*. 2019. № 3. S. 71–77. DOI 10.15372/SJFS20190309.
34. Obolenskaya A. V., Nikitin V. M., Shcheglov V. *Khimiya drevesiny i tsellyulozy; Lesnaya promyshlennost'*: Moskva, Rossiya, 1978. S. 367. ISBN 978-5-458-34022-9.
35. Ryazanova T. V., Chupova N. A., Isaeva E. V. *Khimiya drevesiny*; LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG: Saarbrücken, Germaniya, 2012; S. 428. ISBN 978-3-8473-7148-9.
36. Ryazanova T. V., Chuprova N. A., Kim N. Yu. Ob intensifikatsii protsessa ekstraktsii kory listvennitsy sibirskoy v dezintegratore // *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2000. № 1. S. 95–100.
37. Alashkevich Yu. D., Marchenko R. A., Reshetova N. S. Protsess beznozhvoy obrabotki voloknistoy suspensii v ustanovke «struya-pregrada» // *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2009. № 2. S. 157–164.
38. Prirodnyye flavonoidy / D. Yu. Korul'kin, Zh. A. Abilov, R. A. Muzychkina, G. A. Tolstikov ; Ros. akad. nauk, Sib. otd., Novosib. in-t organicheskoy khimii. Novosibirsk : Akademicheskoye izd-vo «Teo», 2007. 232 s.
39. International standard ISO 3376 IULTCS/IUP 6. *Leather – Physical and mechanical tests – Determination of tensile strength and percentage elongation*.
40. GOST 4661–76. *Ovchina mekhovaya vydelannaya. Tekhnicheskiye usloviya. : data vvedeniya 1977-01-01*. Moskva : IPK «Izdatel'stvo standartov», 2002. 11 s.

© Федоров В. С., Рязанова Т. В., Мамаева О. О.,
Исаева Е. В., Гончарова Н. В., 2024

Поступила в редакцию 10.10.2023
Принята к печати 15.04.2024

ОСОБЕННОСТИ БЕЗНОЖЕВОГО РАЗМОЛА ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ОДНОЛЕТНИХ РАСТЕНИЙ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

М. М. Литвинова, Ю. Д. Алашкевич, Р. А. Марченко

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: marg32883@gmail.com

Как известно, основным сырьем целлюлозно-бумажной промышленности используется, как правило, древесина хвойных и лиственных пород, но наиболее часто в технологии используют древесину хвойных пород. Учитывая особенности физико-механических характеристик готовых изделий из хвойной древесины по сравнению с древесиной лиственных пород, известно, что в сравнении этих двух видов древесины, у древесины хвойных пород волокна более длинные. А как известно, длина волокон имеет весомое значение, как для на бумагообразующие свойства волокнистых полуфабрикатов, так и физико-механические характеристики готовых изделий целлюлозно-бумажного производства. Учитывая необходимость использования в технологии целлюлозно-бумажного производства однолетних растений, естественно появляется необходимость исследования процессов волокнистых полуфабрикатов из однолетних растений, в сравнении с механизмом размолки волокнистых полуфабрикатов из древесины, и в первую очередь из древесины хвойных пород.

Ключевые слова: бумажная продукция, бумага, растительные полимеры, целлюлоза.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 2, P. 88–94

PECULIARITIES OF KNIFE-LESS MILLING OF FIBER SEMI-FINISHED PRODUCTS FROM ANNUAL PLANTS IN PULP AND PAPER PRODUCTION

M. M. Litvinova, Y. D. Alashkevich, R. A. Marchenko

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: marg32883@gmail.com

As is known, the main raw material of the pulp and paper industry is usually coniferous and hardwood wood, but coniferous wood is most often used in technology. Taking into account the peculiarities of the physical and mechanical characteristics of finished products made of coniferous wood in comparison with hardwood, it is known that in comparison of these two types of wood, coniferous wood fibers are longer. And as you know, the length of the fibers is of great importance, both for the paper-forming properties of fibrous semi-finished products and the physical and mechanical characteristics of finished products of pulp and paper production. Given the need to use annual plants in pulp and paper production technology, it is naturally necessary to study the processes of fibrous semi-finished products from annual plants, in comparison with the grinding mechanism of fibrous semi-finished products from wood, and primarily from coniferous wood.

Keywords: paper products, paper, vegetable polymers, cellulose.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Производство бумаги сопряжено с целым рядом проблем, включая его ресурсоемкость и высокий уровень загрязнения окружающей среды. В дополнение к самому волокну, вода, энергия и химикаты играют решающую роль в процессе производства бумаги. Все эти факторы в совокупности способствовали давней репутации отрасли как одного из наиболее ресурсоемких и загрязняющих окружающую среду производственных секторов [1].

Для содействия устойчивому развитию целлюлозно-бумажной промышленности крайне важно инвестировать в разведку и использование альтернатив-

ных видов сырья. Традиционное производство бумаги в значительной степени зависит от древесных волокон, добываемых в лесах, что может способствовать обезлесению и разрушению среды обитания. Диверсифицируя ассортимент используемого сырья, такого как сельскохозяйственные отходы, недревесные волокна и вторично перерабатываемые волокна, промышленность может снизить свое воздействие на окружающую среду и зависимость от ограниченных ресурсов [2].

В зависимости от происхождения однолетних растений целлюлозные волокна можно разделить на несколько категорий:

1. Семенные волокна: Эти волокна расположены на поверхности семян и включают хлопок в качестве наиболее известного примера.

2. Фруктовые волокна: Эти волокна присутствуют во внешней оболочке или шелухе плодов. Примерами могут служить кокосовая койра и капок.

3. Стеблевые волокна: Эти волокна расположены внутри стебля растений. Примечательными примерами являются лен, конопля, джут и кенаф.

4. Волокна листьев: Эти волокна содержатся в листьях некоторых растений. Примерами могут служить абака, сизаль, хенеквен, для мамы и юкка.

Каждый вариант целлюлозного волокна обладает различными свойствами и областями применения. Всестороннее понимание разнообразного происхождения и характеристик этих волокон позволяет промышленным предприятиям эффективно использовать их в широком спектре производственных процессов, включая текстильное производство, производство бумаги и за его пределами. Наибольший интерес с точки зрения целлюлозно-бумажной промышленности вызывает техническая конопля.

Конопля, растение с годичным жизненным циклом, обычно достигает высоты 2–4 метров, хотя может вырасти и до 5–7 метров. Стебель растения конопля имеет диаметр от 3,5 до 15 мм у основания. Он растет вертикально и характеризуется отчетливыми листьями с зубчатыми краями. Период роста растения каннабис длится от 80 до 160 дней. Примечательно, что конопля проявляет адаптивность к различным типам почв, условиям освещения и температурам.

Производство высококачественной бескислотной бумаги из длинных лубяных волокон конопля требует меньшего количества химических добавок, чем бумага на древесной основе. Со временем конопляная бумага сохраняла свой цвет, долговечность и структурную целостность, не желтея и не становясь хрупкой, как обычная бумага. Кроме того, конопля оказалась более эффективным и целесообразным источником клетчатки по сравнению с деревьями. Исключительное качество и долговечность конопляной бумаги сделали ее высоко ценимой для длительного хранения важных документов, валюты и производства сигарет [3, с. 97].

В технологии целлюлозно-бумажного производства не зависимо от вида сырья важнейшим процессом является размола волокнистых полуфабрикатов, поэтому ему уделяют особое внимание, не только при использовании древесины, но и в качестве сырьевых волокон однолетних растений.

В течение длительного периода ученые в специальной технической литературе широко обсуждали основные механизмы, участвующие в размоле растительных волокон. В результате появилось несколько теорий размола, включая химическую теорию, предложенную Г. Кроссом, Э. Беваном и Х. Швальбе, физическую теорию, выдвинутую Дж. Страчаном и В. Кэмпбеллом, комбинированную гипотезу, сформулированную Дж. Кларком, и современную теорию размола, разработанную В. Н. Гончаровым и Ю. Д. Алашквичем. Согласно современной теории, при размоле

растительных волокон в водной среде на волокна воздействуют механические и гидродинамические эффекты, а также коллоидные и химические явления, обусловленные морфологическим строением и химическим составом этих волокон.

Механическое воздействие в процессе размола проявляется в разрезании волокон, дроблении, расщеплении с отделением пучков волокон и образованием отдельных ворсинок на поверхности волокон (внешняя фибрилляция). Гидродинамические эффекты в основном связаны с воздействием суспензии волокон на размалывающие элементы и стенки размольного агрегата. Эти гидродинамические эффекты добавляются к механическим воздействиям на волокна, которые также трутся друг о друга и о размольные элементы.

Современная теория размола не только объясняет превращения, происходящие в волокнах при размоле волокнистых масс, но и раскрывает влияние этих изменений на свойства бумажной массы. Например, значительное снижение прочности бумаги при намокании может быть связано с разрушением водородных связей между волокнами. Введение наполнителей и других органических или неорганических веществ, если они не образуют связей с целлюлозой, может привести к снижению прочности бумаги, вызывая расслоение волокон, нарушая контакт волокна с волокном и уменьшая силу сцепления.

В процессе размола волокнистая масса проходит ряд этапов обработки, в том числе [4]:

- 1) окончательное разделение пучков волокон на отдельные волокна;
- 2) разрушение поверхности первичной стенки (оболочки) волокна;
- 3) ускорение набухания;
- 4) внешняя и внутренняя фибрилляция;
- 5) выравнивание длины волокон – разрезание.

Нелегко определить, какой процесс производства бумаги является наиболее важным с точки зрения влияния на свойства конечного продукта. Несомненно, на свойства получаемой бумаги влияет совокупное воздействие всех процессов производства бумаги. Однако процесс размола бумажной массы уже давно признан чрезвычайно важным для получения широкого спектра свойств бумажного листа. Лист бумаги, изготовленный из не размолотых волокон, обладает неудовлетворительными характеристиками с точки зрения его структуры, внешнего вида и физико-механических свойств. Не молотые волокна обладают низкой пластичностью, плохо развитой поверхностью и ограниченным гидролизом, что приводит к недостаточному сцеплению между волокнами внутри бумажного листа.

Практическое использование и прогнозирование гидродинамических факторов в процессе размола на ножевых установках предполагает учет геометрических параметров набора ножей, в частности отношения высоты ножа к ширине зазора между соседними ножами. Эти явления также учитывают влияние других переменных, таких как расстояние между лопастями ротора и статора и скорость вращения ротора. Варьируя эти параметры, можно увеличить гидроди-

намический эффект размола по сравнению с механическим воздействием на волокно. Следовательно, это может потенциально повлиять на качество полуфабрикатов из размолотого волокна [4]. По сравнению с ножевым размол безножевой размол обеспечивает более мягкий и щадящий подход к переработке, что особенно важно для волокон, которые уже прошли стадию первоначального ножевого размола. Поэтому наряду с усовершенствованием систем ножей большое значение имеют исследования методов размола без ножей. Полуфабрикаты из волокна, обработанные без воздействия ножей на волокно, имеют отличные прочностные характеристики и отвечают требованиям современного бумажного производства [5]. Все методы и безножевые устройства, используемые для предварительной обработки и размола волокнистых материалов, основаны на явлениях, вызываемых жидкостью и зависящих от определенных гидродинамических факторов. В этих устройствах обработка волокнистых материалов обычно достигается сочетанием различных физических эффектов, которые можно разделить на следующие основные группы [4; 6; 7]:

1) кавитационный эффект: этот эффект возникает в результате возникновения, развития и схлопывания кавитационных пузырьков в жидкости при определенных условиях, а также их взаимодействия с волокнистым материалом;

2) эффект пульсации: этот эффект возникает в результате попеременного повышения или понижения гидравлического давления в суспензионной массе. Он тесно связан с генерацией волн давления и их распространением в жидкости, поэтому также часто используется термин «акустический эффект»;

3) эффект волокон: относится к воздействию волокон на твердые поверхности рабочих органов внутри машин;

4) гидродинамическое трение: этот эффект обусловлен силами трения, возникающими из-за вязкости и градиента скорости, присутствующих в движущейся жидкости.

В зависимости от способа воздействия на волокно безножевые машины делятся на различные типы, включая газоструйные диспергаторы, использующие принцип межвального дробления, центробежно-пульсационные, кавитационные, ультразвуковые методы и струйно-барьерный тип [8].

Безножевые струйно-барьерные установки играют ключевую роль в исследовании оптимальных условий размола волокнистых суспензий для производства высококачественной бумаги. По мнению исследователей, эти устройства позволяют получать массу с более развитыми волокнами без существенного укорачивания. Обширные усилия в этом направлении первоначально были предприняты В. Г. Марковым, а впоследствии продолжены и расширены Ю. Д. Алашкевичем и В. Г. Васютиным, которые разработали специализированные установки для безножевого размола волокнистого материала. В этих установках волокнистые суспензии через сопло выбрасывались на преграду [9].

Основополагающий принцип, лежащий в основе работы гидродинамических установок типа «струя-

преграда», заключается в выбросе струи взвеси из сопла, где она взаимодействует с препятствиями различной конфигурации. Струя не сразу погружается в воду. Автор выделяет три различных участка в зависимости от расстояния от сопла: компактный, частично фрагментированный и распыляемый.

На прочностные параметры волокна существенное влияние оказывает способ обработки волокнистой суспензии, что было продемонстрировано при испытании образцов. Работы академика РАО Ю. Д. Алашкевича и его учеников раскрывают качественные изменения в потоке струи из сопла в зависимости от диаметра сопла и силы воздействия струи на преграду. Авторы также отмечают возникновение кавитационных явлений при столкновении струи суспензии с препятствием, выдвигая предположения относительно их последствий. Эти установки демонстрируют более высокую эффективность при воздействии на волокна со скоростями, превышающими те, которые наблюдаются в известных системах типа «струя-преграда». Образование волокнистой суспензии может происходить в этих установках из-за касательных напряжений сдвига во время течения суспензии внутри удлинителя и сопла, а также воздействия струи суспензии на барьер при выходе из сопла и эффекта кавитации, когда жидкость проходит через барьер [4; 6; 7; 8]. Все вышеупомянутые полезные характеристики были тщательно изучены с использованием волокнистой массы из древесины как сырья.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Учитывая вышеизложенное, о целесообразности использования в качестве сырья в целлюлозно-бумажном производстве волокнистого полуфабриката из однолетних растений, в частности, технической конопли, в отличие от использования бисульфатной небеленой целлюлозы из древесины.

В работе были поставлены следующие задачи:

1. Провести исследования процесса безножевой обработки волокнистой суспензии технической конопли при сравнении с результатами обработки её на лабораторном центробежно-размольном аппарате (ЦРА).

2. Провести сравнение результатов безножевого размола двух различных волокнистых полуфабрикатов, одним из которых является бисульфатная небеленая целлюлоза из древесины, а вторым волокнистая масса из технической конопли.

Установка безножевого размола волокнистых полуфабрикатов (Патент № 2363792 С1) [9] имеет следующие основные характеристики: давление в рабочем цилиндре для выбрасывания волокнистой суспензии через сопло на преграду регулировалось от минимального значения до максимального – 12 МПа. Эксперимент проводился при давлении в рабочем цилиндре 12 МПа. Внутренний диаметр сопла для выбрасывания струи суспензии на преграду составляет – 2 мм. Скорость истечения струи суспензии из рабочего цилиндра составляла – 130 м/с.

Лабораторный ЦРА обеспечивал возможность регулирования скорости вращения рабочего барабана. В эксперименте скорость вращения барабана составляла – 150 об/мин. Количество инерционных грузов

установки, вращающиеся барабана составило – 6 штук. Угол установки насечек на инерционных грузах составляет 90° к горизонту.

Волокнистые суспензии технической конопли и бисульфитная небеленая целлюлоза из древесины имели одинаковую концентрацию и составляли – 1 %.

Бисульфитная небеленая целлюлоза изготавливалась из смешанных пород хвойной древесины. Среди которых были: сосна, ель, пихта и в небольшом объеме лиственница. Процентное соотношение хвойных пород древесины в общей массе не регулировалось и определялось наличием поставляемой древесины на предприятие.

Оценка показателей помола волокнистых полуфабрикатов оценивалась наличием качественных показателей их бумагообразующих свойств и физико-механических показателей готовых изделий (отливки из размолотых полуфабрикатов).

Исследовались следующие бумагообразующие свойства волокнистых полуфабрикатов: прирост степени помола по шкале Шоппер–Риглера, изменение длины волокна при размоле, водоудерживающая способность. Определялись следующие физико-механические показатели готовых отливок после размола: разрывная длина, сопротивление к продавливанию, сопротивление на излом (число двойных перегибов).

На рис. 1 представлена зависимость степени помола по методике Шоппер–Риглера от времени размола. Как видно из графика качественные зависимости безножевого размола и с использованием центробежно-размольной установки носят идентичные характеры –

параболические. Количественные зависимости отличаются друг от друга. В частности, максимальные значения степени помола наблюдаются при размоле массы технической конопли безножевым способом. Усредненные количественные зависимости наблюдаются при размоле технической конопли в ЦРА. И минимальные количественные зависимости наблюдаются при размоле бисульфитной небеленой целлюлозы из древесной массы безножевым способом.

При безножевом размоле волокнистой массы из древесины наблюдаются более низкие показатели. При сравнении безножевого способа размола массы из технической конопли и бисульфитной небеленой целлюлозы из древесной массы более высокие показатели прироста степени помола наблюдаются у технической конопли. Сравнивая результаты размола волокнистой массы из технической конопли при использовании двух различных установок, наилучшие показатели были при безножевом размоле.

На рис. 2 представлена зависимость водоудерживающей способности от степени помола. Водоудерживающая способность волокнистой массы может быть использована для характеристики степени набухания волокон, как предложено Джайме [10]. Из рисунка видно, что качественные и количественные зависимости имеют значительные различия. Так, независимо от вида исследуемого материала и способов размола наблюдается рост водоудерживающей способности материала, с увеличением значения степени помола. При безножевом размоле технической конопли зависимость носит параболический характер.

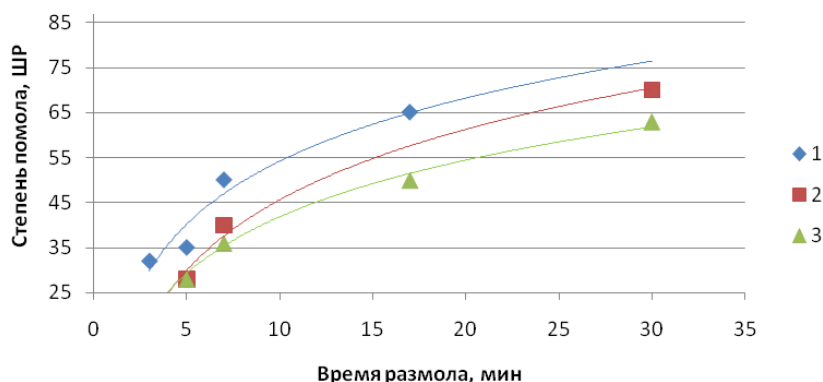


Рис. 1. Прирост степени помола по шкале Шоппер–Риглера от времени:

1 – размол технической конопли на безножевой установке; 2 – размол технической конопли на ЦРА; 3 – размол хвойной бисульфитной небеленой целлюлозы на безножевой установке

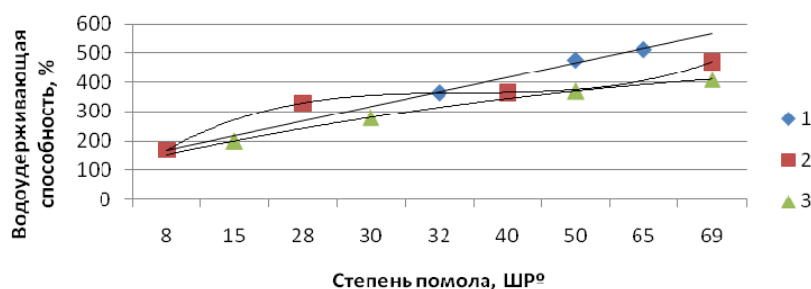


Рис. 2. Изменение водоудерживающей способности от степени помола по шкале Шоппер–Риглера:

1 – размол технической конопли на безножевой установке; 2 – размол технической конопли на ЦРА; 3 – размол хвойной бисульфитной небеленой целлюлозы на безножевой установке

Размол технической конопля на ЦРА и бисульфитной небеленой целлюлозы на безножевой установке подчиняются зависимостям близким к линейным. Максимальные значения водоудерживающей способности наблюдается при безножевом размоле технической конопля и далее видно снижение этого показателя при размоле технической конопля на ЦРА, и самый низкий показатель водоудерживающей способности наблюдается у волокнистой массы из бисульфитной небеленой целлюлозы, при размоле её на безножевой установке.

На рис. 3 представлены зависимости длины волокна при размоле от степени помола. Как видно из рисунка качественные и количественные зависимости имеют различный характер и зависят как от степени помола, так и от вида размалываемого полуфабриката. Во всех трех случаях, как и следовало ожидать, наблюдается снижение длины волокна при размоле полуфабрикатов. Вместе с тем наблюдается различная интенсивность снижения длины волокна при размоле полуфабриката. При безножевом размоле технической конопля с увеличением степени помола до 50 ШР° наблюдается небольшая интенсивность снижения длины волокна. С дальнейшим увеличением степени помола интенсивность снижения длины волокна резко увеличивается. Для сравнения при безножевом размоле технической конопля при получении длины волокна в пределах (2,2–2,4 мм) желательно выдерживать степень помола в пределах 50 ШР°. При размоле технической конопля с использованием ЦРА и безножевом размоле бисульфитной небеленой целлюлозы в отличие от безножевого размола технической конопля, наблюдается, более плавное изменение длины волокна при увеличении степени помола до 70 ШР°.

помола до 70 ШР° длина волокна при безножевом размоле технической конопля составляла 1,5 мм. При размоле технической конопля с использованием ЦРА длина волокна составляла 1,3 мм, и при безножевом размоле бисульфитной небеленой целлюлозы длина волокон составила 2 мм.

Для получения ширококораспространенных видов бумаг степень помола полуфабрикатов составляет при этом значения, близкие к 30 ШР°. Для этой степени помола длина волокна при безножевом размоле не зависит от вида полуфабриката близки друг к другу и составляют 2,3 мм для технической конопля, 2,5 мм для бисульфитной небеленой целлюлозы, и 2 мм для размола технической конопля на ЦРА.

На рис. 4 представлена зависимость разрывной длины готовых изделий от степени помола волокнистой массы. Из рисунка видно, что качественные зависимости разрывной длины готовой продукции имеют различные закономерности, зависящие как от вида размалываемого волокнистого полуфабриката, так и от его способа размола. Аналогичная картина при размоле волокнистых полуфабрикатов, наблюдается, и при анализе количественных зависимостей. Так, при размоле волокнистой массы из технической конопля, не зависит от способа её обработки качественные зависимости аналогичны друг другу, а количественные значительно ниже чем при безножевом размоле волокнистой массы бисульфитной небеленой целлюлозы из хвойных пород древесины. Не зависит от вида волокнистого полуфабриката, подвергаемого размолу и способа его размола с приростом степени помола по шкале Шоппер–Риглера (ШР°), наблюдается, рост значений показателя разрывной длины.

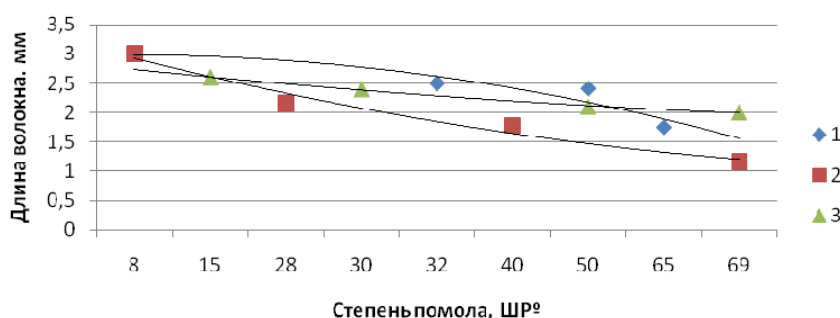


Рис. 3. Изменение длины волокна от степени помола по шкале Шоппер–Риглера:

- 1 – размол технической конопля на безножевой установке; 2 – размол технической конопля на ЦРА;
3 – размол хвойной бисульфитной небеленой целлюлозы на безножевой установке

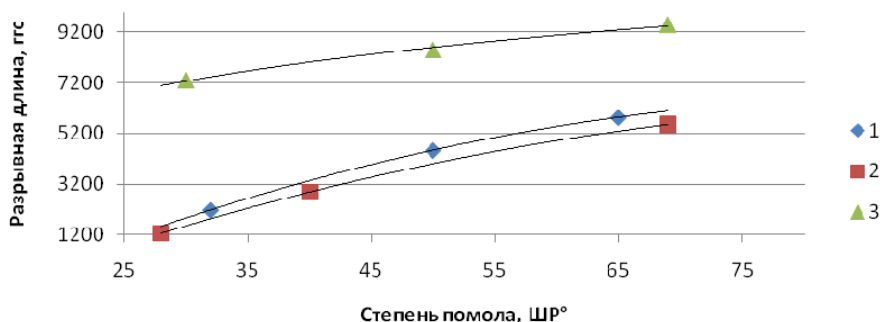


Рис. 4. Значения показателей разрывной длины при изменении степени помола по шкале Шоппер–Риглера:

- 1 – размол технической конопля на безножевой установке; 2 – размол технической конопля на ЦРА;
3 – размол хвойной бисульфитной небеленой целлюлозы на безножевой установке

На рис. 5 представлен характер изменения продавливания у готовых отливок в зависимости от двух видов волокнистых полуфабрикатов и различных способов их размолла. Как видно из рисунка характер изменения величины продавливания как в качественных, так и в количественных значениях очень близки к изменению показателя разрывной длины. Разница между двумя показателями, заключается в абсолютных значениях этих величин и качественных значений их изменения при безножевом размоле волокнистой массы из бисульфитной небеленой целлюлозы хвойных пород древесины. Изменение величины продавливания при безножевом размоле бисульфитной небеленой целлюлозы представляет собой линейную зависимость.

На рис. 6 представлены данные по числу двойных перегибов при размоле технической конопля и бисульфитной небеленой целлюлозы из древесины хвойных пород. В отличие от изменения разрывной

длины и величины продавливания, закономерности изменения числа двойных перегибов, в корне отличаются. Изменения заключаются в следующем: качественные изменения при безножевом размоле бисульфитной небеленой целлюлозы для всех трех физико-механических показателей были близки друг к другу и представляли собой зависимости близкие к линейным. Что касается количественных значений изменения физико-механических характеристик отливок после безножевого размолла бисульфитной небеленой целлюлозы, то они резко отличаются. Для показателей разрывной длины и величины продавливания они имели максимальные значения, а для числа двойных перегибов эти показатели находились на минимуме. Что касается, качественных и количественных изменений числа двойных перегибов при безножевом размоле технической конопля и размоле технической конопля на ЦРА, то они отличаются друг от друга.

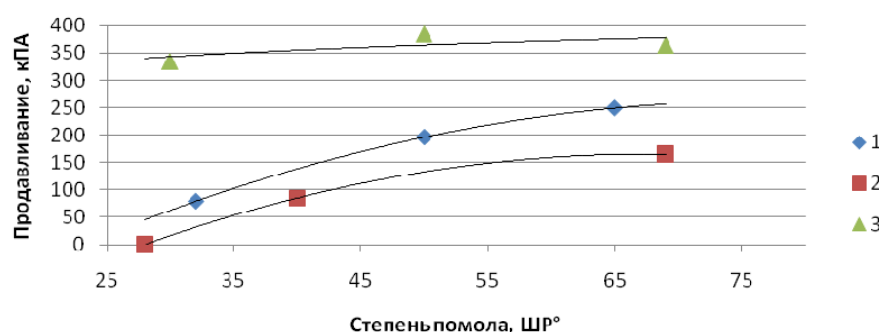


Рис. 5. Значение величины продавливания образцов при изменении степени помола по шкале Шоппер–Риглера:

1 – размол технической конопля на безножевой установке; 2 – размол технической конопля на ЦРА; 3 – размол хвойной бисульфитной небеленой целлюлозы на безножевой установке

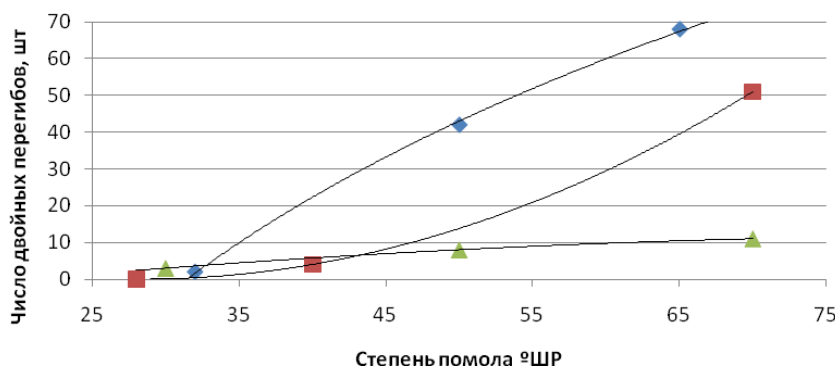


Рис. 6. Число двойных перегибов при изменении степени помола по шкале Шоппер–Риглера:

1 – размол технической конопля на безножевой установке; 2 – размол технической конопля на ЦРА; 3 – размол хвойной бисульфитной небеленой целлюлозы на безножевой установке

ВЫВОДЫ

1. На основании анализа литературных источников по использованию вида сырья в целлюлозно-бумажном производстве с учетом важности сохранения древесины целесообразно расширение использования однолетних растений и, в частности, технической конопля с учетом особенностей культивирования её в условиях России.

2. При получении высоких показателей бумагообразующих свойств волокнистого сырья и физико-механических особенностей готовых образцов, целе-

сообразно применять безножевой способ размолла волокнистых полуфабрикатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Paper production – and waste – to double [Электронный ресурс]. URL: <https://www.theworldcounts.com/stories/Paper-Waste-Facts>).
2. Where does your paper come from? The good and the bad news [Электронный ресурс]. URL: <https://www.popsoci.com/environment/paper-products-sustainability/>.

3. Конкурсное сортоиспытание перспективного селекционного материала конопли посевной / В. А. Серков, Р. О. Белоусов, М. Р. Александрова, О. К. Давыдова // Нива Поволжья. 2019. № 2(51). С. 91–100.

4. Марченко Р. А. Интенсификация безножевого размол волокнистых полуфабрикатов в целлюлозно-бумажном производстве : дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03 / Марченко Роман Александрович [Место защиты: Сибирский государственный технологический университет], 2016. 161 с.

5. Леготский С. С., Гончаров В. Н. Размалывающие оборудование и подготовка бумажной массы [Текст]. Москва : Лесная промышленность, 1990. 224 с.

6. Ерофеева А. А. Безножевой размол волокнистых полуфабрикатов с учетом реологических особенностей суспензий : дис. ... канд. техн. наук : 05.21.03 / Ерофеева Анна Александровна [Место защиты: Сиб. гос. технол. ун-т]. Красноярск, 2012. 134 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/1842.

7. Кутовая Л. В. Комплексный параметр процесса обработки волокнистых суспензий безножевым способом в установке типа «Струя-Преграда» : специальность 05.21.03 «Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины» : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Кутовая Лариса Владимировна. Красноярск, 1998. 20 с.

8. Ерофеева А. А., Ковалев В. И., Алашкевич Ю. Д. и др. Анализ распределения скорости струи суспензии при течении её в рабочих органах размольной установки «струя-преграда» // Вестник Московского Государственного университета леса – лесной вестник. 2010. С. 147–150.

9. Патент № 2363792 C1 Российская Федерация, МПК D21C 1/00. установка для измельчения волокнистого материала : № 2008119775/12 : заявл. 19.05.2008 : опубл. 10.08.2009 / Ю. Д. Алашкевич, В. И. Ковалев, А. И. Невзоров, Р. А. Марченко ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный технологический университет».

10. Сергеева А. С. Технологический контроль целлюлозно-бумажного производства : учебное пособие для вузов. Москва : Лесная промышленность, 1969. 216 с. Текст : непосредственный.

REFERENCES

1. Paper production – and waste – to double [Электронный ресурс]. URL: <https://www.theworldcounts.com/stories/Paper-Waste-Facts>).

2. Where does your paper come from? The good and the bad news [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.popsci.com/environment/paper-products-sustainability/>.

3. Konkursnoye sortoispytaniye perspektivnogo selektsionnogo materiala konopli posevnoy / V. A. Serkov, R. O. Belousov, M. R. Aleksandrova, O. K. Davydova // Niva Povolzh'ya. 2019. № 2(51). S. 91–100.

4. Marchenko R. A. Intensifikatsiya beznozhevoego razmola voloknistykh polufabrikatov v tsellyulozno-bumazhnom proizvodstve : dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.03 / Marchenko Roman Aleksandrovich [Mesto zashchity: Sibirskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet], 2016. 161 s.

5. Legotskiy S. S., Goncharov V. N. Razmalyvayushchiye oborudovaniye i podgotovka bumazhnoy massy [Tekst]. Moskva : Lesnaya promyshlennost', 1990. 224 s.

6. Erofeyeva A. A. Beznoshevoy razmol voloknistykh polufabrikatov s uchetoм reologicheskikh osobennostey suspenziy : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.21.03 / Erofeyeva Anna Aleksandrovna [Mesto zashchity: Sib. gos. tekhnol. un-t]. Krasnoyarsk, 2012. 134 s.: il. RGB OD, 61 12-5/1842.

7. Kutovaya L. V. Kompleksnyy parametr protsessа obrabotki voloknistykh suspenziy beznoshevym sposobom v ustanovke tipа “Struya-Pregrada” : spetsial'nost' 05.21.03 “Tekhnologiya i oborudovaniye khimicheskoy perera-botki biomassy dereva; khimiya drevesiny” : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / Kutovaya Larisa Vladimirovna. Krasnoyarsk, 1998. 20 s.

8. Erofeyeva A. A., Kovalev V. I., Alashkevich Yu. D. i dr. Analiz raspredeleniya skorosti strui suspenzii pri techenii eyë v rabochikh organakh razmol'noy ustanovki «struya-pregrada» // Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo universiteta lesa – lesnoy vestnik. 2010. S. 147–150.

9. Patent № 2363792 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK D21C 1/00. ustanovka dlya izmel'cheniya voloknistogo materiala : № 2008119775/12 : zayavl. 19.05.2008 : opubl. 10.08.2009 / Yu. D. Alashkevich, V. I. Kovalev, A. I. Nevzorov, R. A. Marchenko ; zayavitel' Gosudarstvennoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego professional'nogo obrazovaniya “Sibirskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet”.

10. Sergeyeva A. S. Tekhnologicheskii kontrol' tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva : uchebnoye posobiye dlya vuzov. Moskva : Lesnaya promyshlennost', 1969. 216 s. Tekst : neposredstvennyy.

© Литвинова М. М., Алашкевич Ю. Д.,
Марченко Р. А., 2024

Поступила в редакцию 20.10.2023
Принята к печати 15.04.2024

**ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БУМАГИ ИЗ ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНА
В КОМПОЗИЦИИ С БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗОЙ****Е. А. Рогова, В. А. Кожухов, Ю. Д. Алашкевич**

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

В современном мире древесина широко используется в различных отраслях. Самое распространенное ее применение связано с целлюлозно-бумажной промышленностью, которая ежегодно потребляет сотни миллионов кубических метров древесины. Лесные площади сокращаются в глобальном масштабе, и эта реальность имеет решающее значение для глобальной экологии. Нехватка древесины для бумажной промышленности стала большой проблемой, и по этой причине возникла необходимость принимать во внимание другие виды сырья. К альтернативным видам источников сырья можно отнести макулатуру и однолетние растения. Макулатура является наиболее важным сырьем для бумажной промышленности, но из нее можно производить бумагу только низкого качества. Поэтому все больше исследований направлено на улучшение качества вторичного волокна путем введения в его состав дополнительных составляющих.

В работе проведены исследования и представлены результаты по влиянию использования бактериальной целлюлозы в композиции с макулатурой различных марок, на изменение физико-механических характеристик готовой продукции.

Ключевые слова: макулатура, вторичное волокно, рециклинг, бактериальная целлюлоза.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 2, P. 95–99

**CHANGING THE QUALITY INDICATORS OF RECYCLED FIBER PAPER IN A COMPOSITION
WITH BACTERIAL CELLULOSE****E. A. Rogova, V. A. Kozhukhov, Y. D. Alashkevich**

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

In the modern world, wood is widely used in various industries. Its most common use is associated with the pulp and paper industry, which annually consumes hundreds of millions of cubic meters of wood. Forest areas are shrinking on a global scale, and this reality is crucial for the global ecology. The shortage of wood for the paper industry has become a big problem, and for this reason it has become necessary to take into account other types of raw materials. Alternative sources of raw materials include waste paper and annual plants. Waste paper is the most important raw material for the paper industry, but only low-quality paper can be produced from it. Therefore, more and more research is aimed at improving the quality of secondary fiber by introducing additional components into its composition.

The research is carried out and the results are presented on the effect of the use of bacterial cellulose in a composition with waste paper of various brands on the change in the physical and mechanical characteristics of the finished product.

Keywords: waste paper, secondary fiber, recycling, bacterial cellulose, composition with bacterial cellulose.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время макулатура является самым востребованным сырьем для производства изделий бумажной продукции, за исключением бумаги для фильтрации, электроизоляционных, медицинских и иных видов бумажной продукции, где необходимо обеспечить высокие требования к химической чистоте и однородности готового продукта [1].

Все больше предприятий по производству бумажной продукции отдают предпочтение вторичному сы-

рью. При этом они производят замещение целлюлозы, вторичным волокном, как частично, так и полностью при производстве бумажной продукции различного назначения [2].

Первичные волокна целлюлозы отличаются от вторичных волокон макулатуры изначально более высокими бумагообразующими характеристиками. Авторы в своем исследовании [3], связывают это с тем, что состав макулатурной массы, во-первых, состоит из множества волокон разнообразного проис-

хождения и состояния. Помимо этого макулатурная масса может содержать различные примеси не связанные с бумажным производством. Во-вторых, снижение этих характеристик связывают с разделением макулатуры на группы, которые характеризуют ее качество. Макулатура группы А считается высококачественной, группы Б – среднего качества и группы В – низкого качества [4]. Также в своем исследовании авторы доказывают, что физико-механические показатели готовой продукции из макулатуры на прямую зависят от качества макулатуры, то есть от ее группы. Чем выше качество макулатуры, тем выше физико-механические показатели готовой продукции. И в-третьих, и это самое главное, физико-механические характеристики становятся хуже с каждым последующим циклом (многократным использованием) переработки макулатуры [4]. Это связано с тем, что при каждой вторичной, либо последующей механической и термической обработки волокна, меняется его физическое и химическое строение. Химическое строение меняется в связи с уменьшением свободных гидроксильных групп, которые могут образовывать водородные связи, так необходимых для сцепления волокон при формировании готового изделия. Этот процесс называется «ороговением» и он является необратимым, потому что происходит утоньшение клеточной стенки и как следствие приводит к снижению такого бумагообразующего фактора, как водоудерживающая способность. Физическое изменение волокна связано с расслоением волокон, что приводит к внутреннему фибрированию, а так же к значительным изменением длины волокна, что приводит к ухудшению фракционного состава вторичной волокнистой массы. И как следствие всех физических изменений волокна, готовая продукция из такой массы становится хрупкой [5].

Для решения вышеуказанных проблем, с вторичным волокном было проведено множество исследований. Все эти исследования можно объединить в группы и представить в виде классификации. Основной классифицирующий признак заключается в способе воздействия на вторичное волокно. На основе этого признака было выделено две основные группы: механический способ воздействия на вторичное волокно и химический способ воздействия на вторичное волокно. Под механическим способом улучшения качества вторичного волокна понимается размол на различного рода мельницах, использование гидравлических способов воздействия на волокно (безножевой размол, роспуск с применением различного рода мешалок). Под химическим способом улучшения качества вторичного волокна понимается введение в состав вторичной волокнистой массы – добавок, которые непосредственно служат для улучшения протекания химической реакции при получении готовой продукции.

Авторы [6] предлагают использовать механический способ улучшения вторичного волокна. Он заключается в комбинировании известных способов роспуска волокна, что приводит к сохранению бумагообразующих свойств вторичного волокна и исключает щелочное потемнение массы.

Авторами [7] был использован химический способ улучшения вторичного волокна. Ими была разработана новая технология с применением специальных смол марки «Ультрарез DS», что так же доказывает улучшение физико-механических свойств картона из вторичного волокна, за счет большей глубины проникновения волокон.

Группа авторов [8] провела исследование по определению оптимальных параметров размола волокнистой массы из макулатуры группы А (что позволяет отнести данный способ к механическому способу улучшения вторичного волокна), что так же привело к улучшению физико-механических характеристик готовой продукции из полученной массы.

В данной работе, авторами было рассмотрено влияние комбинации механического и химического способов улучшения вторичного волокна на изменение физико-механических свойств готовой продукции полученной из макулатуры различных групп и марок. Комбинация включает в себя два этапа подготовки. Первый этап подготовки волокнистой массы – механический, методом роспуска в мешалки. Второй этап подготовки волокнистой массы – химический, заключается в введении в ее состав бактериальной целлюлозы.

Бактериальная целлюлоза (БЦ) – это уникальный биоматериал, который является по своей природе чистым материалом, в отличие от других биополимеров. Волокна бактериальной целлюлозы тоньше, чем волокна целлюлозы растительного происхождения. БЦ представляет собой высокопористые трехмерные сети. Кроме того, БЦ является биоразлагаемым, биосовместимым, нетоксичным и неаллергенным полимером. Несмотря на такие механические характеристики, бактериальная целлюлоза в то же время обладает хорошей упругостью, эластичностью, пластичностью [9].

Благодаря своим особым свойствам БЦ находит применение во многих отраслях, в том числе в технике, медицине и научных исследованиях, открывает новые широкие возможности для разработки нанотехнологий, в том числе в нашем случае в производстве бумаги [10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения влияния БЦ на физико-механические свойства готовой продукции были выбраны следующие марки макулатуры: МС-1А – отходы производства белой бумаги (кроме газетной): бумага для печати, писчая, чертежная, рисовальная, основа светочувствительной бумаги и другие виды белой бумаги; МС-8В – отходы производства и потребления газет и газетной бумаги; МС-3А – отходы производства бумаги из сульфатной небеленой целлюлозы: упаковочной, шпагатной, электроизоляционной, патронной, мешочной и других видов бумаг. Данные марки макулатуры характеризуются высоким содержанием волокон из хвойных пород древесины.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Макулатура, каждой выбранной марки, была предварительно замочена на сутки в воде, а затем подвергнута роспуску на волокна в мешалки в течение

10 минут. Что бы выявить закономерность влияния БЦ на физико-механические свойства готовой продукции, были изготовлены опытные образцы отливок из 100 % вторичного растительного волокна (ВРВ) каждого вида. Затем была составлена композиция из БЦ и макулатуры выбранного вида в следующем процентном соотношении БЦ/ ВРВ: 10/90, 20/80, 30/70 (данные соотношения являются оптимальными на основе проведенных предварительных исследований [11]). Для данного исследования бактериальная целлюлоза была предоставлена Институтом биофизики СО РАН в городе Красноярск в виде гелепленки. Синтез бактериальной целлюлозы осуществлялся штаммом *Komagataeibacter Xylinum*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Опытные образцы отливок из композиции БЦ/ ВРВ были выполнены в соответствии с требованиями [12] и исследованы на физико-механические характеристики, которые представлены на рисунках (рис. 1–3).

На рис. 1 представлена зависимость сопротивления излому (число двойных перегибов) от % соотно-

шения БЦ при использовании в качестве основного компонента сырья макулатуры марки МС-1А, МС-8В, МС-3А. Как видно из рисунка, для каждой марки макулатуры качественные показатели практически близки. Что касается количественных значений, в случае с макулатурой высокого качества они имеют значительный прирост с повышением % БЦ. Макулатура низкого качества имеет не значительный прирост показателя сопротивления излому.

При добавлении 10 % БЦ к макулатуре разных марок не наблюдается существенного увеличения количественного значения показателя, в то время как при добавлении 20 % БЦ к макулатуре марки МС-1А дает резкое увеличение показателя почти в 8 раз, марки МС-8В – в 5 раз, а марка МС-3А в 2,5 раза. При дальнейшем добавлении 30 % БЦ к макулатуре наблюдается увеличение показателя у марки МС-1А в 20 раз, у марки МС-3А и МС-8В в среднем в 9 раз. Не смотря на то, что макулатура марки МС-3А и МС-8В имеет одинаковое значение увеличения степени показателя, их количественные характеристики различаются примерно на 250 единиц.

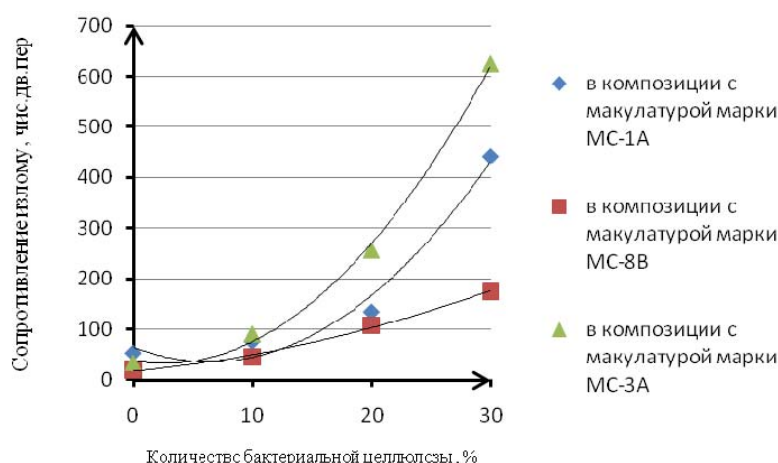


Рис. 1. Физико-механические показатели качества бумажных отливок. Соотношение влияния количества бактериальной целлюлозы на сопротивление излому

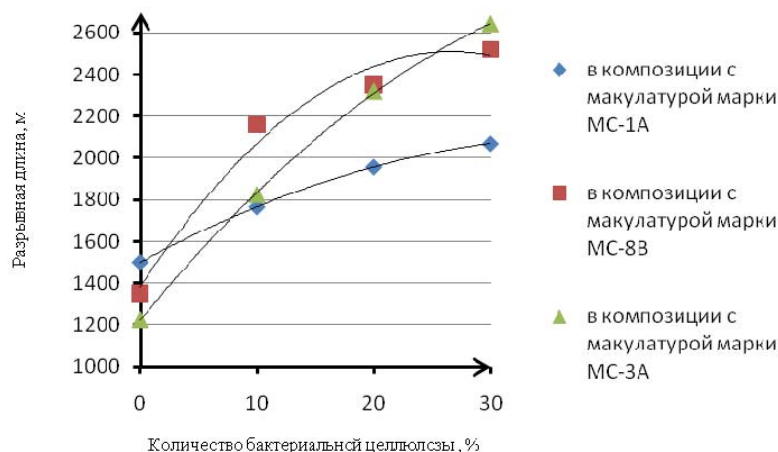


Рис. 2. Физико-механические показатели качества бумажных отливок. Соотношение влияния количества бактериальной целлюлозы на разрывную длину

На рис. 2 представлена зависимость разрывной длины от % соотношения БЦ при использовании в качестве основного компонента сырья макулатуры марки МС-1А, МС-8В, МС-3А. Как видно из рисунка все три вида использованной макулатуры имеют достаточно близкие друг к другу качественные значения. Для макулатуры марки МС-1А наблюдается зависимость близкая к линейной зависимости с небольшими количественными изменениями значений, не смотря на то, что эта макулатура высокого качества. Что касается макулатуры марки МС-3А и МС-8В то наблюдается значительно более высокие значения разрывной длины по сравнению с макулатурой марки МС-1А. Качественные показатели при добавлении 10 % БЦ у макулатуры марки МС-1А увеличились на 10 %, у МС-3А на 50 %, а у МС-8В на 90 %, в то время как МС-1А и МС-3А имеют фактически одинаковые значения. При добавлении 20 % БЦ качественные показатели значительно увеличиваются у макулатуры марок МС-3А и МС-8В, хотя их количественные показате-

тели фактически близки. Значительная разница в приросте показателя сопротивление излому от показателя разрывной длины при добавлении БЦ объясняется природой данного волокна, обладающего при малой длине (наноцеллюлоза) и диаметре – высокой гибкостью.

На рис. 3 представлена зависимость сопротивление продавливанию от % соотношения БЦ при использовании в качестве основного компонента сырья макулатуры марки МС-1А, МС-8В, МС-3А. Как видно из рисунка качественные значения продавливанию близки друг к другу и при добавлении 20 % БЦ имеют очень близкие значения. Не смотря на это, макулатура марки МС-3А имеет больший показатель прироста при увеличении % БЦ, в среднем в 3 раза, в то время как показатель у макулатуры марки МС-1А и МС-8В увеличился в 2 раза. Не смотря на то, что показатель при 30 % БЦ выше у макулатуры марки МС-3А, он не значительно отличается от количественных показателей макулатуры марки МС-1А и МС-8В.

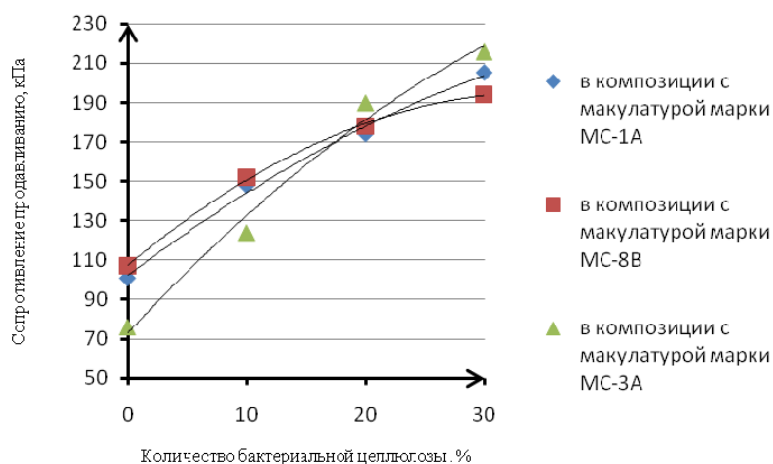


Рис. 3. Физико-механические показатели качества бумажных отливок. Соотношение влияния количества бактериальной целлюлозы на сопротивление продавливанию

ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований по применению БЦ в композиции с вторичным волокном (макулатурой) различных марок, была доказана ее эффективное применение для улучшения физико-механических характеристик готовых изделий.

Добавление 30 % БЦ в состав композиции вторичного волокна привело к увеличению величины сопротивления продавливанию в среднем на 100 % независимо от группы использованной макулатуры. Величина разрывной длины увеличивается в диапазоне от 30 до 100 %, не смотря на то, что макулатура низкого качества имеет примерно те же показатели прироста, что и макулатура высокого качества. Но макулатура разных марок внутри группы А имеет разные показатели прироста, что может быть связано с различной природой первоначального волокна и способом его подготовки.

Показатель сопротивление излому имеет стабильный прирост в % соотношении и достигает достаточно высоких значений.

Анализируя отдельные физико-механические характеристики готовых изделий можно сделать выводы, что с использованием макулатуры любой группы и добавлением БЦ можно получить бумагу высокого качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Комаров А. С. Анализ производства бумаги из вторичного сырья и анализ марок макулатуры // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 5. С. 482–487.
2. Шабие Р. О., Смолин А. С., Парамонова Л. Л. Изготовление и испытание лабораторных образцов бумаги и картона из вторичного сырья : учеб. пособие. СПб. : СПбГТУРП, 2013. 66 с.
3. Кулешов А. В., Смолин А. С. Влияние цикличности использования макулатурного волокна на бумагообразующие свойства // Лесной журнал. 2008. № 4. С. 131–138.
4. Комаров А. С. Анализ производства бумаги из вторичного сырья и анализ марок макулатуры // Из-

вестия ТулГУ. Технические науки. 2022. № 5. С. 482–478.

5. ГОСТ 10700–97. Макулатура бумажная и картонная. Технические условия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200030476> (дата обращения: 14.12.2023).

6. Пенкин А. А. Перспективы рециклинга трудно-разволокняемой макулатуры, содержащей полиамид-эпихлоргидриновые смолы // Труды БГТУ. Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2021. № 2. С. 159–165.

7. Теоретические основы технологии повышения прочности картона из макулатуры полимерами / С. Л. Андреева, С. Ю. Кожевников, Д. А. Дулькин, В. К. Дубовый // Химия растительного сырья. 2011. № 1. С. 179–181.

8. Повышение бумагообразующих свойств вторичных волокнистых материалов / А. А. Каверина, В. В. Горжанов, А. А. Пенкин, Т. М. Соловьева // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2011. № 4. С. 160–162.

9. Композиционная бумага из бактериальной целлюлозы и хвойной целлюлозы / Ю. А. Гисматулина, В. В. Будаева, А. Е. Ситникова, Н. В. Бычин, Е. К. Гладышева, Н. А. Шавыркина, Г. Ф. Миронова, Ю. В. // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11, № 3. С. 460–471.

10. Состояние и перспективы совершенствования способов получения и использования бактериальной целлюлозы (обзор) / Е. А. Рогова, Ю. Д. Алашкевич, В. А. Кожухов, И. Р. Лапин, Е. Г. Киселев // Химия растительного сырья. 2022. № 4. С. 27–46. DOI 10.14258/jcrpm.20220411373.

11. Влияние композиции с бактериальной целлюлозой на прочностные характеристики бумажных отливок / И. Р. Лапин, Е. А. Рогова, Ю. Д. Алашкевич // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск : СибГУИм. М. Ф. Решетнева. 2023. С. 232–235.

12. Технология целлюлозно-бумажного производства : справ. материалы : в 3 т / Всерос. науч.-исслед. ин-т целлюлоз.-бумаж. пром-сти (ВНИИБ) ; отв. ред. П. С. Осипов. СПб. : СПб ЛТА, 2003. 633 с.

REFERENCES

1. Komarov A. S. Analiz proizvodstva bumagi iz vtorichnogo syr'ya i analiz marok makulatury // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. 2022. № 5. S. 482–487.

2. Shabiye R. O., Smolin A. S., Paramonova L. L. Izgotovleniye i ispytaniye laboratornykh obraztsov bumagi i kartona iz vtorichnogo syr'ya : ucheb. posobiye. SPb. : SPbGTURP, 2013. 66 s.

3. Kuleshov A. V., Smolin A. S. Vliyaniye tsiklichnosti ispol'zovaniya makulturnogo volokna na bumago-obrazuyushchiye svoystva // Lesnoy zhurnal. 2008. № 4. S. 131–138.

4. Komarov A. S. Analiz proizvodstva bumagi iz vtorichnogo syr'ya i analiz marok makulatury // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskiye nauki. 2022. № 5. S. 482–478.

5. GOST 10700–97. Makulatura bumazhnaya i kartonnaya. Tekhnicheskiye usloviya. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://docs.cntd.ru/document/1200030476> (data obrashcheniya: 14.12.2023).

6. Penkin A. A. Perspektivy retsiklinga trudnorazvolknayemoy makulatury, soderzhashchey poliamidamin-epikhlorgidrinovyye smoly // Trudy BGTU. Khimicheskkiye tekhnologii, biotekhnologii, geokologiya. 2021. № 2. S. 159–165.

7. Teoreticheskkiye osnovy tekhnologii povysheniya prochnosti kartona iz makulatury polimerami / S. L. Andreyeva, S. Yu. Kozhevnikov, D. A. Dul'kin, V. K. Dubovyy // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2011. № 1. S. 179–181.

8. Povysheniye bumagoobrazuyushchikh svoystv vtorichnykh voloknistykh materialov / A. A. Kaverina, V. V. Gorzhanov, A. A. Penkin, T. M. Solov'yeva // Trudy BGTU. Seriya 2: Khimicheskkiye tekhnologii, biotekhnologiya, geokologiya. 2011. № 4. S. 160–162.

9. Kompozitsionnaya bumaga iz bakterial'noy nanotsellyulozy i khvoynoy tsellyulozy / Yu. A. Gismatulina, V. V. Budayeva, A. E. Sitnikova, N. V. Bychin, E. K. Gladysheva, N. A. Shavyrkin, G. F. Mironova, // Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya. 2021. T. 11, № 3. S. 460–471.

10. Sostoyaniye i perspektivy sovershenstvovaniya sposobov polucheniya i ispol'zovaniya bakterial'noy tsellyulozy (obzor) / E. A. Rogova, Yu. D. Alashkevich, V. A. Kozhukhov, I. R. Lapin, E. G. Kiselev // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2022. № 4. S. 27–46. DOI 10.14258/jcrpm.20220411373.

11. Vliyaniye kompozitsii s bakterial'noy tsellyulozoy na prochnostnyye kharakteristiki bumazhnykh otlivok / I. R. Lapin, E. A. Rogova, Yu. D. Alashkevich // Molodyye uchenyye v reshenii aktual'nykh problem nauki : sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. Krasnoyarsk : SibGUim. M. F. Reshetneva. 2023. S. 232–235.

12. Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva : sprav. materialy : v 3 t / Vseros. nauch.-issled. in-t tsellyuloz.-bumazh. prom-sti (VNIIB) ; otv. red. P. S. Osipov. SPb. : SPb LTA, 2003. 633 s.

© Рогова Е. А., Кожухов В. А.,
Алашкевич Ю. Д., 2024

Поступила в редакцию 30.10.2023
Принята к печати 15.04.2024

АВТОРСКАЯ ССЫЛКА

Авдеева Е. В. Инвентаризационная оценка насаждений объектов озеленения и городского питомника (на примере г. Красноярск), с. 53–62

Авдеева Е. В., см. Безруких В. А.

Алашкевич Ю. Д., см. Литвинова М. М.

Алашкевич Ю. Д., см. Рогова Е. А.

Артёмов А. В. Исследование влияния гидрофобизирующей и антисептической добавки в виде гидролизного лигнина на эксплуатационные свойства пластиков без добавления связующих на основе древесного пресс-сырья, с. 63–72

Астапенко С. А., см. Суховольский В. Г.

Безденежных И. В. Обеспеченность подростом сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) спелых и перестойных мягколиственных насаждений Западно-Сибирского северо-таёжного равнинного лесного района, с. 7–11

Безруких В. А. «Рискованное земледелие» или риски в аграрном природопользовании бореальной зоны Приенисейской Сибири, с. 12–15

Братилова Н. П. Перспективы выращивания сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) в условиях Крайнего Севера, с. 38–44

Буриндин В. Г., см. Артёмов А. В.

Василишин Д. В., см. Казитин С. Н.

Ворончихин В. Д., см. Казитин С. Н.

Гетте И. Г., см. Пахарькова Н. В.

Гончарова Н. В., см. Федоров В. С.

Добрынькина Д. Д., см. Казитин С. Н.

Ершова А. С., см. Артёмов А. В.

Залесов С. В., см. Безденежных И. В.

Иванов Д. В., см. Авдеева Е. В.

Иванов Д. В., см. Безруких В. А.

Исаева Е. В., см. Федоров В. С.

Казитин С. Н. Исследование процесса получения ацетата целлюлозы из механоактивированных частиц березы, с. 73–79

Калабина А. А., см. Пахарькова Н. В.

Ковалев А. В., см. Суховольский В. Г.

Кожухов В. А., см. Рогова Е. А.,

Коновалова Д. А., см. Братилова Н. П.

Кузнецова О. А., см. Безруких В. А.

Лигаева Н. А., см. Безруких В. А.

Литвинова М. М. Особенности безножевого размола волокнистых полуфабрикатов из однолетних растений в целлюлозно-бумажном производстве, с. 88–94

Мамаева О. О., см. Федоров В. С.

Мантулина А. В., см. Братилова Н. П.

Марченко Р. А., см. Литвинова М. М.

Масенцова И. В., см. Пахарькова Н. В.

Паркина О. В., см. Федорец А. А.

Пахарькова Н. В. Сезонные изменения пигментного комплекса хвои сосны сибирской в условиях высотной поясности Западного Саяна, с. 22–29

Позднякова Е. Е., см. Пахарькова Н. В.

Рогова Е. А. Изменение качественных показателей бумаги из вторичного волокна в композиции с бактериальной целлюлозой, с. 95–99

Рязанова Т. В., см. Федоров В. С.

Сорокина Г. А., см. Пахарькова Н. В.

Суховольский В. Г. Восприимчивость лесных насаждений к развитию вспышек массового размножения насекомых-вредителей: прогноз по данным дистанционного зондирования, с. 30–37

Третьякова Р. А., см. Федорец А. А.

Федорец А. А. Оценка основных таксационных показателей сосны обыкновенной в Колыванском районе, с. 16–21

Федоров В. С. Комплексная переработка коры лиственницы сибирской с использованием моноэтаноламина. Сообщение 1. Получение и использование дубильного экстракта, с. 80–87

Цепордей И. С. Изменение высоты деревьев и древостоев некоторых хвойных и лиственных видов в климатических градиентах Евразии, с. 45–52

Шишмарева А. В., см. Казитин С. Н.

Шпагин Д. Е., см. Авдеева Е. В.

Щерба Ю. Е., см. Братилова Н. П.

Якубенко О. Е., см. Федорец А. А.

AUTHOR'S LINK

Alashkevich Y. D., see Litvinova M. M.

Alashkevich Y. D., see Rogova E. A.

Artemov A. V. Investigation of the effect of hydrophobizing and antiseptic additives in the form of hydrolysis lignin on the performance properties of plastics without the addition of binders based on wood press raw materials, p. 63–72

Astapenko S. A., see Soukhovolsky V. G.

Avdeeva E. V. Inventory assessment of plantings of greening objects and city nursery (based on the example of Krasnoyarsk), p. 53–62

Avdeeva E. V., see Bezrukh V. A.

Bezdenezhnyh I. V. Provision of mature and overmature softwood plantations with undergrowth of siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour.) for the territory of the western siberian north-taiga plain forest region, p. 7–11

Bezrukh V. A. “Risky farming” or risks in agricultural environmental management of the boreal zone of the Yenisei Siberia, p. 12–15

Bratilova N. P. Prospects of growing siberian cedar pine (*Pinus sibirica* Du Tour.) in the conditions of the Far North, p. 38–44

Buryndin V. G., see Artemov A. V.

Dobrynkina D. D., see Kazitsin S. N.

Ershova A. S., see Artemov A. V.

Fedorets A. A. Assessment of the main taxation indicators of common pine in the Kolyvan district, p. 16–21

Fedorov V. S. Complex processing of siberian larch bark using monoethanolamine. Statement 1. Obtaining and utilization of tannin extract, p. 80–87

Gette I. G., see Pakharkova N. V.

Goncharova N. V., see Fedorov V. S.

Isaeva E. V., see Fedorov V. S.

Ivanov D. V., see Avdeeva E. V.

Ivanov D. V., see Bezrukh V. A.

Kalabina A. A., see Pakharkova N. V.

Kazitsin S. N. Research of the process of obtaining cellulose acetate from mechanoactivated birch particles, p. 73–79

Konovalova D. A., see Bratilova N. P.

Kovalev A. V., see Soukhovolsky V. G.

Kozhukhov V. A., see Rogova E. A.

Kuznetsova O. A., see Bezrukh V. A.

Ligaeva N. A., see Bezrukh V. A.

Litvinova M. M. Peculiarities of knife-less milling of fiber semi-finished products from annual plants in pulp and paper production, p. 88–94

Mamaeva O. O., see Fedorov V. S.

Mantulina A. V., see Bratilova N. P.

Marchenko R. A., see Litvinova M. M.

Masentsova I. V., see Pakharkova N. V.

Pakharkova N. V. Seasonal changes in the pigment complex of siberian pine needles in the conditions of the high-altitude zone of the Western Sayan, p. 22–29

Parkina O. V., see Fedorets A. A.

Pozdnyakova E. E., see Pakharkova N. V.

Rogova E. A. Changing the quality indicators of recycled fiber paper in a composition with bacterial cellulose, p. 95–99

Ryazanova T. V., see Fedorov V. S.

Shcherba Yu. E., see Bratilova N. P.

Shishmareva A. V., see Kazitsin S. N.

Shpagin D. E., see Avdeeva E. V.

Sorokina G. A., see Pakharkova N. V.

Soukhovolsky V. G. Susceptibility of forest plantations to the development of outbreaks of insect pests: forecast based on remote sensing data, p. 30–37

Tretyakova R. A., see Fedorets A. A.

Tsepordey I. S. The change in tree and stand height of some coniferous and deciduous species in the climatic gradients of Eurasia, p. 45–52

Vasilishin D. V., see Kazitsin S. N.

Voronchikhin V. D., see Kazitsin S. N.

Yakubenko O. E., see Fedorets A. A.

Zalesov S. V., see Bezdenezhnyh I. V.

