

ISSN 1993-0135

ХВОЙНЫЕ

БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ



2022

Том XL
Номер 4

<http://www.sibsau.ru>

Красноярск

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

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XL
№ 4

Красноярск
2022

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XL, № 4

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

Выходит 6 раз в год

Главный редактор

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

Ответственный секретарь

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Авдеева Елена Владимировна, д.с.-х.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)

Алашкевич Юрий Давыдович, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)

Верховец Сергей Владимирович, к.с.-х.н., доцент (Директор Проектного офиса
НОЦ МУ «Енисейская Сибирь», Красноярск)

Выводцев Николай Васильевич, д.с.-х.н., профессор (Тихоокеанский государственный
университет, Хабаровск)

Ермолин Владимир Николаевич, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)

Залесов Сергей Вениаминович, д.с.-х.н., профессор (УГЛТУ, Екатеринбург)

Иванов Валерий Александрович, д.с.-х.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)

Кабаяси Рёсукэ, к.с.-х.н. (Центр полевых биосферных исследований Севера, Университет Хоккайдо)

Казаков Яков Владимирович, д.т.н. (САФУ, Архангельск)

Корпачев Василий Петрович, к.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)

Крутовский Константин Валерьевич, профессор (Техасский агромеханический университет, США)

Кузнецов Борис Николаевич, д.х.н., профессор (ИХХТ СО РАН, Красноярск)

Матвеева Римма Никитична, д.с.-х.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)

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)

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 XL, № 4

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

Issued 6 times a year

Editor-In-Chief

Dr. Natalia P. Bratilova, Professor

Executive secretary

Cand. Aleksandr A. Korotkov, Associate Professor

EDITORIAL BOARD:

- Avdeeva** Elena V., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Alashkevich Yuri D., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Ermolin Vladimir N., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Ivanov Valery A., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Kobayashi Ryosuke, Cand. Sc. in Agriculture (North Field Biosphere Research Center, Hokkaido University)
Kazakov Yakov V., Dr. Sc. in Engineering, Associate Professor (Northern Arctic Federal University, Arkhangelsk)
Korpachev Vasily P., Cand. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Krutovsky Konstantin V., Professor (Texas A&M University, College Station, USA)
Kuznetsov Boris N., Dr. Sc. in Chemistry, Professor (Institute of Chemistry and Chemical Technology, Krasnoyarsk)
Matveeva Rimma N., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Niemz Peter, Professor (Institute for Building Materials (IfB) Wood Physics (Overview wood at the ETH Zurich))
Ogurtsov Victor V., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Onuchin Alexander A., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk)
Pen Robert Z., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
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)
Suhovolsky Vladislav G., Dr. Sc. in Biology, Professor (Institute of Forest, Krasnoyarsk)
Verkhovets Sergei V., Cand. Sc. in Agriculture, Docent (Director of the Project Office of the REC MU “Yenisey Siberia”, Krasnoyarsk)
Vyvodtsev Nikolay V. Dr. Sc. in Engineering, Professor (Pacific National University, Khabarovsk)
Usoltsev Vladimir A. Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Ural State Forestry University, Yekaterinburg)
Zalesov Sergey V. (Ural State Forestry University, Ekaterinburg)
Yakubov Haris H. (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 Federal Supervision Agency for Information Technology,
Communications and Mass Media

Статьи в журнале публикуются бесплатно после обязательного рецензирования
и при оформлении их в соответствии с требованиями редакции (www.hbz.sibsau.ru).
Журнал выходит 6 раз в год.
Электронная версия журнала представлена на сайте Научной электронной библиотеки
(<http://www.elibrary.ru>) и сайте журнала (<https://hbz.sibsau.ru/>)

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

Учредитель и издатель

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

Адрес учредителя и издателя

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

Адрес редакции

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

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

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

Подписано в печать 15.08.2022. Дата выхода в свет 22.11.2022. Формат 70×108/8.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 12,6. Уч.-изд. л. 16,0. Тираж 700 экз.
Заказ С 524/22. 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

Каленская О. П., Абаимова Л. Е. Талантливый сибирский учёный и педагог. К 75-летию юбилею Абаимова Анатолия Платоновича	239
---	-----

БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ, ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Авдеева Е. В., Кухар И. В., Иванов Д. В. Инвентаризационная оценка объектов озеленения города Красноярска	242
Авдеева Е. В., Ровных Н. Л., Иванов Д. В., Сухенко Н. В., Кухар И. В., Калинин М. Д. Российский и мировой опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой	250
Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Михалюк А. В., Горелов А. Н., Орнатский А. Н. Изменчивость и корреляция морфометрических показателей клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной на лесосеменной плантации во Владимирской области	259
Выводцев Н. В., Бессонова Н. В., Сомов Е. В. Особенности роста липы амурской в кедровых лесах Дальнего Востока	269
Гришлова М. В., Братилова Н. П., Шенмайер Н. А., Калагин В. Н., Мантулина А. В. Влияние густоты посадки на репродуктивное развитие и рост сосны кедровой сибирской	276
Долматов С. Н., Ковалев Р. Н. Эффективность лесного комплекса и освоение лесных ресурсов Красноярского края	280
Ковалевский А. В., Лучникова Е. М., Филиппова А. В., Гашков С. И., Зубко К. С., Воронина Л. А. Биологические основы создания защитных и кормовых условий для животных при лесной рекультивации нарушенных земель бореальной зоны	289
Комарницкий В. В., Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф., Щерба Ю. Е., Каленская О. П., Комаров И. В. Индивидуальная и географическая изменчивость 15-летнего семенного потомства привитых деревьев сосны кедровой сибирской	296
Усольцев В. А., Цепордей И. С., Данилин И. М. Охвоенность побегов сосны обыкновенной в географических градиентах Евразии	303
Шевелев С. Л., Кулакова Н. Н. Особенности депонирования углерода в древостоях лиственницы Нижнего Приангарья	312

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Лозовой В. А., Никончук М. Ю., Литвинов Д. Ю. Структурное представление модели дискретно-непрерывной идеализированной поточной линии	318
Скурыдин Ю. Г., Скурыдина Е. М. Физико-механические характеристики древесно-полимерного композитного материала на основе гидролизованной древесины	324
Черник Д. В., Авдеева Е. В., Логачев А. К., Черник К. Н., Ровных Н. Л. Исследование воздействия снеговой нагрузки на каркас теплицы для выращивания сеянцев с ЗКС в SolidWorks	333
Авторская ссылка	338

Contents

Kalenskaya O. P., Abaimova L. E. A talented siberian scholar and pedagogue. On the 75-th anniversary of A. P. Abaimova	239
--	-----

BIOLOGY AND ECOLOGY, FORESTRY

Avdeeva E. V., Kukhar I. V., Ivanov D. V. Inventory assessment of landscape objects Krasnoyarsk	242
Avdeeva E. V., Rovnykh N. L., Ivanov D. V., Sukhenko N. V., Kukhar I. V., Kalinin M. D. Russian and world experience in growing planting material with a closed root system	250
Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Mikhalyuk A. V., Gorelov A. N., Ornatskiy A. N. Variability and correlation of taxation indicators of plus trees of scots pine on a forest-seed plantation in the Vladimir region	259
Vyvodtsev N. V., Bessonova N. V., Somov E. V. Features of the growth of amur linden in the cedar forests of the far east	269
Grishlova M. V., Bratilova N. P., Shenmaier N. A., Kalagin V. N., Mantulina A. V. The effect of planting density on reproductive development and the growth of siberian cedar pine	276
Dolmatov S. N., Kovalev R. N. The efficiency of the forest complex and the development of forest resources in the Krasnoyarsk territory	280
Kovalevskiy A. V., Luchnikova E. M., Filippova A. V., Gashkov S. I., Zubko K. S., Voronina L. A. Biological foundations for creating protective and feeding conditions for animals during forest reclamation of disturbed lands of the boreal zone	289
Komarnitsky V. V., Matveeva R. N., Butorova O. F., Shcherba Yu. E., Kolenskaya O. P., Komarov I. V. Individual and geographical variability of 15-year-old seed offspring of grafted trees of siberian cedar pine	296
Usoltsev V. A., Tsepordey I. S., Danilin I. M. The needle share in tree greenery biomass of scots pine in geographical gradients of Eurasia	303
Shevelev S. L., Kulakova N. N. Features of carbon storage in larch stands in the lower Angara region	312

TECHNOLOGY OF LOGGING AND MECHANICAL OPERATION OF WOOD

Lozovoy V. A., Nikonchuk M. Y., Litvinov D. Y. Structural representation of a discrete-continuous idealized production line model	318
Skurydin Yu. G., Skurydina E. M. Physical and mechanical characteristics of wood-polymer composite material based on hydrolyzed wood	324
Chernik D. V., Avdeeva E. V., Logachev A. K., Chernik K. N., Rovnykh N. L. Study of the effect of snow load on the framework of greenhouses for growing seedlings with root-balled tree system in solidworks	333
Author's link	339



Абаимов Анатолий Платонович (1947–2006)

Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XL, № 4. С. 239–241

**ТАЛАНТЛИВЫЙ СИБИРСКИЙ УЧЕНЫЙ И ПЕДАГОГ.
К 75-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ АБАИМОВА АНАТОЛИЯ ПЛАТОНОВИЧА**

О. П. Каленская, Л. Е. Абаимова

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

Статья освещает заслуги известного сибирского ученого и педагога, выдающегося представителя научной школы Абаимова Анатолия Платоновича, внесшего ценный вклад в изучение динамики сибирских лесов под воздействием пожаров, исследований структуры и динамики лесов в области сплошного распространения многолетней мерзлоты. Его преподавательская деятельность много лет была связана с Сибирским технологическим институтом, университетом. Много лет занимал должность профессора кафедры лесоводства Сибирского государственного технологического университета, разработал специальный курс мерзлотного лесоведения, был автором многих учебных пособий и программ. В научном сообществе А. П. Абаимов известен как талантливый наставник молодых учёных. Под его руководством защищены кандидатские и докторские диссертации, авторы которых работают во многих вузах, российских и зарубежных. Анатолий Платонович являлся заместителем председателя диссертационного совета Института леса, членом диссертационного совета Сибирского государственного технологического университета. А. П. Абаимов был руководителем ряда научных проектов, в том числе и международных.

Ключевые слова: сибирские леса, мерзлотное лесоведение, экология, лесообразовательный процесс.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 4, P. 239–241

**A TALENTED SIBERIAN SCHOLAR AND PEDAGOGUE.
ON THE 75-TH ANNIVERSARY OF A. P. ABAIMOVA**

O. P. Kalenskaya, L. E. Abaimova

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

The article highlights the merits of the famous Siberian scientist and teacher, an outstanding representative of the scientific school of Anatoly Platonovich Abaimov, who made a valuable contribution to the study of the dynamics of Siberian forests under the influence of fires, studies of the structure and dynamics of forests in the field of continuous

permafrost. His teaching activity for many years was associated with the Siberian Institute of Technology, University. For many years he held the position of professor of the Forestry Department of the Siberian State Technological University, developed a special course in permafrost forestry, was the author of many textbooks and programs. In the scientific community, A. P. Abaimov is known as a talented mentor of young scientists. Under his leadership, PhD and doctoral dissertations were defended, the authors of which work in many universities, Russian and foreign. Anatoly Platonovich was the deputy chairman of the Dissertation Council of the Forest Institute, a member of the dissertation Council of the Siberian State Technological University. A. P. Abaimov was the head of a number of scientific projects, including international ones.

Keywords: *siberian forests, permafrost forestry, ecology, forest formation process.*

18 августа 2022 г. исполняется 75 лет со дня рождения Анатолия Платоновича Абаимова, известного ученого и педагога, внесшего ценный вклад в изучение динамики сибирских лесов под воздействием пожаров, исследований структуры и динамики лесов в области сплошного распространения многолетней мерзлоты.

А. П. Абаимов родился в таежном селе Кордово Курагинского района Красноярского края в семье фронтовика, ушедшего из жизни спустя шесть лет после рождения сына. В 1969 г. Анатолий Платонович окончил лесохозяйственный факультет Сибирского технологического института и сразу же был выдвинут на освобожденную комсомольскую работу.

В 1980 г. защитил диссертацию на степень кандидата и стал сотрудником кафедры лесоводства СибТИ. С 1974 г. по 1980 г. он преподает в должности ассистента.

В 1981 г. его преподавательская и научная работа была прервана переходом на партийную должность. До 1988 г. он работал заместителем и заведующим отделом науки и учебных заведений Красноярского крайкома КПСС. В эти годы активно формировался Красноярский научный центр СО АН СССР, в том числе и развивался Институт леса. Роль руководителя отдела науки, бесспорно, была очень высокой. Даже в эти годы при высокой нагрузке основными служебными обязанностями Анатолий Платонович находил время для научной работы в Сибирском технологическом институте и Институте леса и древесины.

В 1988 г. Анатолий Платонович переходит на работу в Институт леса СО АН СССР, где он проработал до января 2006 г. заместителем директора по научной работе и одновременно заведующим отделом лесоводства. В начале 1990-х годов Анатолий Платонович организовал в институте лабораторию мерзлотного лесоведения. Под его руководством коллектив лаборатории внес заметный вклад в изучение биологического разнообразия.

В 1997 г. Анатолий Платонович защитил докторскую диссертацию по теме «Листоветочные леса и редколесья Севера Сибири: Разнообразие, особенности экологии и лесообразовательного процесса».

С 1988 г. по 2006 г. работал заместителем директора Института леса СО РАН.

Своим наставником Анатолий Платонович считал Коропачинского Игоря Юрьевича, профессора, выдающегося российского дендролога. Он передал своему ученику богатый опыт и знания.

В 2001 г. А. П. Абаимову было присвоено звание профессора. Он был прекрасным педагогом. Много

лет занимал должность профессора кафедры лесоводства Сибирского государственного технологического университета, разработал специальный курс мерзлотного лесоведения, был автором методических пособий и программ. Также успешно он читал лекции по лесоведению и в Красноярском государственном университете.

Анатолий Платонович являлся заместителем председателя диссертационного совета Института леса, членом диссертационного совета Сибирского государственного технологического университета. Под его руководством выполнен ряд кандидатских диссертаций. Он часто рецензировал диссертационные работы соискателей и аспирантов, выступал в качестве официального оппонента, помогал диссертантам при подготовке докторских и кандидатских работ. А. П. Абаимов был руководителем ряда научных проектов, в том числе и международных. Его талант организатора особенно проявился при выполнении коллективами шести институтов экспедиционных комплексных работ по изучению состояния наземных экосистем Крайнего Севера, подвергающихся техногенному воздействию.

Научные интересы Анатолия Платоновича были разнообразны, но они непременно были связаны с сибирской тематикой. Ученый занимался исследованиями, направленными на изучение закономерностей и региональных особенностей лесообразовательного процесса в условиях высоких широт Сибири, разработкой научных основ рационального использования, охраны и воспроизводства лесов, сохранения их экологических и биосферных функций.

Анатолий Платонович был «ушиблен» Эвенкией. Этот регион находится в зоне сплошного распространения вечной мерзлоты, с точки зрения изучения структуры и динамики листовенных лесов был ему интересен. Этот великий ученый проводил большую работу по организации экспедиций и созданию лабораторной базы. Он считал, что для успешной работы должен быть комплексный подход к проблеме и организованы постоянные исследовательские станции. Поначалу им и коллегами изучались особенности развития и динамики сибирских лесов под воздействием пожаров, в дальнейшем значительно расширились задачи исследований в соответствии с известным Киотским протоколом. Идея заключается в том, чтобы, получив количественную оценку аккумулярующей роли тундровых, болотных, степных и лесных экосистем и затем, оценив их качественно, перевести эти данные на прагматично-финансовую основу.

С 1994 года Анатолий Платонович и коллеги проводили совместно с Институтом лесоводства и лесных продуктов Японии, Хоккайдским научно-исследовательским центром, исследования лесов Эвенкии.

А. П. Абаимов – автор 150 научных публикаций, в том числе 8 книг и учебных пособий. Значительная часть его работ вышла в академических и зарубежных журналах. Труды Анатолия Платоновича до сих пор сохраняют свою научную значимость и цитируются учеными.

Он был членом Президиума Красноярского научного центра, Объединенного ученого совета Сибирского отделения РАН по биологическим наукам, Научного совета РАН по проблемам леса, достойно представлял коллектив научных сотрудников института на Общих собраниях Сибирского отделения и Российской академии наук.

Исключительное трудолюбие, опыт организационной работы, умение оперативно и квалифицированно решать проблемы, способствовали сохранению структуры, основных научных направлений и ведущих кадров института.

Он прожил яркую жизнь, много сделал для лесной науки, чем заслужил долгую и благодарную память всех, кто был с ним знаком.

Основные публикации А.П. Абаимова

1. Лиственница Гмелина и Каяндера. Новосибирск : Наука, 1984. 121 с.
2. Леса Красноярского Заполярья. Новосибирск : Наука, 1997. 207 с.
3. Variability and ecology of Siberian larch species. Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. of silviculture, 1998. 123 с.
4. Мерзлотное лесоведение. Красноярск : СибГТУ, 1999. 249 с.
5. Мерзлотное лесоводство. М-во образования Рос. Федерации, Сиб. гос. технологич. ун-т. Красноярск : СибГТУ, 2002. 87 с.
6. Лесоведение и лесоводство. Красноярск : Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Красноярский государственный университет, 2003. 197 с.
7. Size-mass allometry and biomass allocation of two larch species growing on the continuous permafrost region in Siberia. Forest Ecology and Management. 2006.
8. Структурно-функциональные особенности лиственницы Гмелина в Криолитозоне Центральной Эвенкии. Новосибирск : Наука, 2008. 163 с.
9. Биоразнообразие лиственницы Азиатской России. Новосибирск : «ГЕО», 2010. 153 с.

© Каленская О. П., Абаимова Л. Е., 2022

Поступила в редакцию 30.05.2022
Принята к печати 01.08.2022

ИНВЕНТАРИЗАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ОБЪЕКТОВ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

Е. В. Авдеева, И. В. Кухар, Д. В. Иванов

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

Наиболее перспективным подходом изучения качества городской среды, в целом, и отдельных ее компонентов, в частности древесной растительности, является концепция экологического мониторинга, в основе которой лежит организация системы непрерывных наблюдений, анализ и прогноз ее состояния. Технологической основой мониторинга состояния городских объектов озеленения является сочетание биологических и технических методов получения информации с применением выборочных методов исследования и система обработки, анализа и хранения информации с использованием тематических и картографических банков данных и иерархически соподчиненных, взаимосвязанных, адекватно отражающих наблюдаемую в городе экологическую ситуацию показателей. На основании этого были отобраны объекты озеленения – девять скверов, расположенные в г. Красноярске на территориях с различными уровнями антропогенных воздействий, максимально приближенные к постам наблюдения за состоянием окружающей среды: «Лесок», «Серебряный», «Космонавтов», «Сказочный», «Панюковский», «Энтузиастов», «Юбилейный», «Одесский», «им. В.И. Сурикова» и два контрольных участка, расположенных в зеленой зоне г. Красноярска (Плодово-ягодная станция и питомник УЗС).

На основании общепринятых и авторских методик сформированы экологического паспорта объектов озеленения. Экологический паспорт объекта включает в себя такие разделы как ситуационный план, баланс территории объекта, количественные данные об озелененности и качественные характеристики состояния растительности и дорожной сети, данные о рекреационной нагрузке, расчеты уровня загазованности и шумовой нагрузки от транспортных потоков на прилегающих магистралях, фрагменты которых представлены в статье. Анализ полученных материалов показал, что: все представленные скверы являются объектами озеленения общего пользования и относятся к объектам районного значения; площади данных скверов находятся в пределах от 0,81 до 2,95 га, за исключением сквера «Космонавтов», площадь которого составляет 6,96 га. При этом установлено, что в скверах площадью до трех гектаров зона комфортной среды может составлять только 9 %, на объектах озеленения площадью от 7 до 20 га – до 30 % при условии компактности территорий, таким образом, в сквере «Одесский» зона комфорта отсутствует, т.к. имеет вытянутую форму и расположен вдоль проезжей части автодороги с интенсивным движением (с грузовым транспортом), сквер Лесок – наоборот, при незначительных размерах расположен в жилой зоне вдали от автомагистралей, наибольшую зону комфорта имеет сквер Космонавтов в связи с большой территорией и удаленности основной его части от автодороги. Инвентаризационная оценка насаждений показала, что жизненное состояние березы повислой и липы мелколистной в целом по городу оценивается от «здоровых» до «отмирающих», индекс варьирует от 100 до 15, закономерно снижаясь в критических условиях произрастания, взаимосвязь возраста, класса повреждения с качеством воздушной среды позволяет использовать березу повислую и липу мелколистную в качестве вида-индикатора для оценки аэротехногенного загрязнения городов, а также данное обстоятельство необходимо учитывать при создании городских насаждений на объектах озеленения с различной техногенной нагрузкой.

Ключевые слова: мониторинг, объекты озеленения, город Красноярск, липа мелколистная, береза повислая.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 4, P. 242–249

INVENTORY ASSESSMENT OF LANDSCAPE OBJECTS KRASNOYARSK

E. V. Avdeeva, I. V. Kukhar, D. V. Ivanov

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

The most promising approach to studying the quality of the urban environment in general, and its individual components, in particular woody vegetation, is the concept of environmental monitoring, which is based on the organization of a system of continuous observations, analysis and forecast of its state. The technological basis for monitoring the state of urban landscaping objects is a combination of biological and technical methods for obtaining information using selective research methods and a system for processing, analyzing and storing information using thematic and cartographic data banks and hierarchically subordinate, interconnected, adequately reflecting the ecological situation observed in the city indicators. Based on this, landscaping objects were selected – nine squares located in the city of Krasnoyarsk in territories with different levels of anthropogenic impacts, as close as possible to the observation posts for the state of the environment: “Lesok”, “Silver”, “Cosmonauts”, “Fabulous”, “Panyukovsky”, “Enthusiasts”, “Jubilee”, “Odessa”, “im. I. V. Surikov” and two control plots located in the green zone of Krasnoyarsk (Fruit and berry station and UZS nursery).

On the basis of generally accepted and author's methods, ecological passports of landscaping objects were formed. The environmental passport of the facility includes such sections as a situational plan, the balance of the territory of the facility, quantitative data on landscaping and qualitative characteristics of the state of vegetation and the road network, data on recreational load, calculations of the level of gas pollution and noise load from traffic flows on adjacent highways, fragments of which are presented in the article. The analysis of the received materials showed that: all the presented squares are objects of landscaping for general use and belong to objects of regional significance; the areas of these squares are in the range from 0.81 to 2.95 hectares, with the exception of the square “Cosmonauts”, whose area is 6.96 hectares. At the same time, it was found that in squares with an area of up to three hectares, the zone of a comfortable environment can be only 9 %, in landscaping objects with an area of 7 to 20 hectares – up to 30 %, provided that the territories are compact, thus, in the square “Odessky” there is no comfort zone, because has an elongated shape and is located along the carriageway of a highway with heavy traffic (with freight traffic), Lesok Square – on the contrary, although it is small in size, it is located in a residential area away from highways, the Cosmonauts Square has the largest comfort zone due to the large territory and remoteness of its main part from the highway. The inventory assessment of plantings showed that the life condition of drooping birch and small-leaved linden in the city as a whole is estimated from “healthy” to “dying off”, the index varies from 100 to 15, naturally decreasing in critical growing conditions, the relationship of age, damage class with air quality allows the use of drooping birch and small-leaved linden as an indicator species for assessing aerotechnogenic pollution of cities, and this circumstance must be taken into account when creating urban plantations at landscaping objects with various technogenic loads.

Keywords: monitoring, landscaping objects, the city of Krasnoyarsk, *Betula pendula*, *Tilia cordata*.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее перспективным подходом изучения качества городской среды, в целом, и отдельных ее компонентов, в частности древесной растительности, является концепция экологического мониторинга, в основе которой лежит организация системы непрерывных наблюдений, анализ и прогноз ее состояния. Мониторинг объектов озеленения – это система оперативного контроля за нарушением их устойчивости, повреждением вредителями, поражением болезнями и другими природными и антропогенными факторами среды, а также система слежения за динамикой этих процессов, обеспечивающая раннее выявление неблагоприятного состояния насаждений, оценку и прогноз развития экологически неблагоприятных ситуаций, получение достоверной информации о нежелательных изменениях природы под влиянием антропогенного воздействия и материалов для обоснования и принятия своевременных законодательных, управленческих, хозяйственных, технологических и других решений, выбора оптимальных вариантов стратегии и тактики защитных и природоохранных мероприятий и обеспечения рациональной и экологически обоснованной деятельности системы городского хозяйства с использованием эколого-экономических критериев и с учетом средообразующих функций и целевого назначения насаждений [1; 2; 3].

Технологической основой мониторинга состояния городских объектов озеленения является сочетание

биологических и технических методов получения информации с применением выборочных методов исследования и система обработки, анализа и хранения информации с использованием тематических и картографических банков данных и иерархически соподчиненных, взаимосвязанных, адекватно отражающих наблюдаемую в городе экологическую ситуацию показателей [1; 3]. В процессе мониторинга состояния городских объектов озеленения выполняются следующие этапы: наблюдение и получение данных – измерение и оценка (формирование паспорта объекта озеленения); картографирование объекта озеленения; формирование интерактивного макета объекта озеленения [1; 3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Мониторинг объектов озеленения начинается с процедуры выделения объекта и обследования его состояния. Динамичная урбанизация привела к увеличению экологического риска и значительному экономическому ущербу, наносимому окружающей среде. В городах сформировалась качественно новая санитарно-экологическая ситуация, определяющей чертой которой является высокая концентрация антропогенных факторов, отрицательно воздействующих, в том числе, и на состояние зеленых насаждений. Элементом организации мониторинга является обоснование адекватного выбора численности объектов, их разме-

щения в плане города. Целью выбора объектов является достижение их максимальной представительности на территории города: расположение должно охватывать все зоны города (центральные, средние и периферийные части города); различное расположение площадок по отношению к транспортным магистралям [1; 3].

На основании этого нами были отобраны объекты озеленения, расположенные в г. Красноярске на территориях с различными уровнями антропогенных воздействий, максимально приближенные к постам наблюдения за состоянием окружающей среды. Исходя из поставленных задач, отобрано девять скверов: «Лесок», «Серебряный», «Космонавтов», «Сказочный», «Панюковский», «Энтузиастов», «Юбилейный», «Одесский», «им. В.И. Сурикова» и два контрольных участка, расположенных в зеленой зоне г. Красноярска (Плодово-ягодная станция и питомник УЗС) (рис. 1).

Для выполнения натурных обследований на основании общепринятых и авторских методик с целью формирования паспорта объекта озеленения и построения интерактивного макета разработаны ведомости обследования и справочная документация [1]. Паспорт объекта включает в себя такие разделы, как ситуационный план, баланс территории объекта, количественные данные об озелененности и качественные характеристики состояния растительности и дорожной сети, данные о рекреационной нагрузке, расчеты уровня загазованности и шумовой нагрузки от транспортных потоков на прилегающих магистралях. На основании этого проводится сбор данных и заполняются следующие ведомости: баланс территории объекта, функционально-планировочное зонирование, состояние древесных растений, состояние газонов, цветники, дорожно-тропиночная сеть, рекреационная

нагрузка, малые архитектурные формы, оценка авто-транспортного воздействия.

Периодическая фиксация состояния объектов озеленения и сравнительный анализ современных материалов с предшествующими позволяют оценить динамику состояния изучаемых объектов, изменения качества и количества древесных растений, а также установить причины происходящих процессов. На основании этого, для каждого исследуемого объекта озеленения, составлен экологический паспорт, в котором отражены следующие характеристики: категория объекта по функциональному назначению, значимость в структуре города, месторасположение, площадь, периметр, видовой состав древесных растений, их жизненное состояние, тип условий произрастания на объекте. Далее представлены фрагменты экологических паспортов исследуемых объектов озеленения. Дата обследования объектов – апрель 2022 г.

Сквер «Лесок». Категория объекта по функциональному назначению: *общего пользования*. Значимость объекта: *объект районного значения*. «Адрес» объекта: административный район города: *Октябрьский*, ориентиры: ул. 2-я Ботаническая. Баланс территории: периметр объекта: 404 м; общая площадь объекта: 8116 м² (0,81 га); индекс пространственной формы объекта: 1,27. *Пространственная форма объекта способствует снижению рекреационной комфортности посетителей и экологической устойчивости зеленых насаждений*. Тип условий произрастания растений – *удовлетворительный*. Количество древесных растений на объекте: деревьев – 323 шт., кустарников – 89 шт. Оценка жизненного состояния насаждений на объекте озеленения – индекс жизненного состояния насаждений сквера «Лесок» составляет 75,5 %, состояние посадок оценивается как «ослабленное». Видовой состав растений.



Рис. 1. Схема размещения изучаемых объектов озеленения и стационарных постов наблюдения за состоянием окружающей среды г. Красноярска:

▲ – ПН: 1 – ул. Минусинская, 14д, 2 – ул. Красномосковская, 32д, 3 – ул. Быковского, 4д, 4 – ул. Чайковского, 7д, 5 – ул. Матросова, 6д, 6 – ул. Кутузова, 92ж, 7 – ул. Бакинских Комиссаров, 26д, 8 – ул. Сурикова, 54 м;
■ – скверы и контрольные пункты: 9 – Плодово-ягодная станция, 10 – питомник УЗС, 11 – сквер «Серебряный», 12 – сквер «Лесок», 13 – сквер «Космонавтов», 14 – сквер «Сказочный», 15 – сквер «Панюковский», 16 – сквер «Энтузиастов», 17 – сквер «Юбилейный», 18 – сквер «Одесский», 19 – сквер «им. В. И. Сурикова»

Сквер «Серебряный». Категория объекта по функциональному назначению: *общего пользования*. Значимость объекта: *объект районного значения*. «Адрес» объекта: административный район города: *Октябрьский*, ориентиры: *улица Хабаровская 2-а*. **Баланс территории объекта:** периметр объекта: 680 м, общая площадь объекта: 2,59 га, индекс пространственной формы объекта: 1,19. *Пространственная форма объекта является экологически эффективной, т.е. способствует повышению рекреационной комфортности посетителей и экологической устойчивости насаждений на данной территории.* Тип условий произрастания растений – *напряженный*. Количество древесных растений на объекте: деревьев – 239 шт., кустарников – 23 шт. Оценка жизненного состояния насаждений на объекте озеленения – индекс жизненного состояния насаждений сквера «Серебряный» составляет 65,4 % и оценивается как «ослабленное». Видовой состав растений.

Сквер «Космонавтов». Категория объекта по функциональному назначению: *общего пользования*. Значимость объекта: *объект районного значения*. «Адрес» объекта: административный район города: *Советский*. **Баланс территории объекта:** периметр объекта: 1336 м, общая площадь объекта: 6,96 га, индекс пространственной формы объекта: 1,43. *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 – узкая линейная.* Тип условий произрастания растений – *напряженный*. Количество древесных растений на объекте: деревьев – 830 шт., кустарников – 858 шт. Оценка жизненного состояния насаждений на объекте озеленения – индекс жизненного состояния насаждений сквера «Космонавтов» составляет 81,6 % и оценивается как «здоровое».

Сквер «Сказочный». Категория объекта по функциональному назначению: *общего пользования*. Значимость объекта: *объект районного значения*. «Адрес» объекта: административный район города: *Свердловский*, ориентиры: *ул. Александра Матросова, 30/1*. **Баланс территории объекта:** периметр – 401 м, общая площадь объекта: 1,05 га, индекс пространственной формы объекта: 1,10. *Пространственная форма объекта является экологически эффективной, т.е. способствует повышению рекреационной комфортности посетителей и экологической устойчивости насаждений на данной территории.* Тип условий произрастания растений – *конфликтный*. Количество древесных растений на объекте: деревьев – 118 шт., кустарников – 0 шт. Оценка жизненного состояния насаждений на объекте озеленения – индекс жизненного состояния насаждений сквера «Сказочный» составляет 73,7 % и оценивается как «ослабленное».

Сквер «Панюковский». Категория объекта по функциональному назначению: *общего пользования*, значимость объекта: *объект районного значения*. «Адрес» объекта: административный район города: *Свердловский*, ориентиры: *просп. имени Газеты «Красноярский Рабочий», 143а*. **Баланс территории**

объекта: периметр объекта: 652 м, общая площадь объекта: 1,91 га, индекс пространственной формы объекта: 1,33. *Пространственная форма объекта способствует снижению рекреационной комфортности посетителей и экологической устойчивости зеленых насаждений;* Тип условий произрастания растений – *конфликтный*. Количество древесных растений на объекте: деревьев – 469 шт., кустарников – 1439 шт. Оценка жизненного состояния насаждений на объекте озеленения – индекс жизненного состояния насаждений сквера «Панюковский» составляет 70,1 % и оценивается как «ослабленное».

Сквер «Энтузиастов». Категория объекта по функциональному назначению: *общего пользования*, значимость объекта: *объект районного значения*. «Адрес» объекта: административный район города: *Кировский*, ориентиры: *просп. имени Газеты «Красноярский Рабочий», 120*. **Баланс территории объекта:** периметр объекта: 720 м, общая площадь объекта: 3,33 га. Индекс пространственной формы объекта: 1,11. *Пространственная форма объекта является экологически эффективной, т.е. способствует повышению рекреационной комфортности посетителей и экологической устойчивости насаждений на данной территории.* Тип условий произрастания растений – *конфликтный*. Количество древесных растений на объекте: деревьев – 698 шт., кустарников – 451 шт. Оценка жизненного состояния насаждений на объекте озеленения – индекс жизненного состояния насаждений сквера «Энтузиастов» составляет 89 % и оценивается как «здоровое».

Сквер «Юбилейный». Категория объекта по функциональному назначению: *общего пользования*, значимость объекта: *объект районного значения*. «Адрес» объекта: административный район города: *Советский*, ориентиры: *ул. Коломенская*. **Баланс территории объекта:** периметр объекта: 500 м, общая площадь объекта: 0,91 га. Индекс пространственной формы объекта: 1,50. *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).* Тип условий произрастания растений – *конфликтный*. Количество древесных растений на объекте: деревьев – 85 шт., кустарников – 54 шт. Оценка жизненного состояния насаждений на объекте озеленения – индекс жизненного состояния насаждений сквера «Юбилейный» составляет 73,8 % и оценивается как «ослабленное».

Сквер «Одесский». Категория объекта по функциональному назначению: *общего пользования*, значимость объекта: *объект районного значения*. «Адрес» объекта: административный район города: *Ленинский*, ориентиры: *ул. Одесская, 7*. **Баланс территории объекта:** периметр объекта: 675 м, общая площадь объекта: 1,50 га, индекс пространственной формы объекта: 1,55. *Пространственная форма объекта способствует снижению рекреационной комфортности посетителей и экологической устойчивости зеленых насаждений – очень низкая экологическая ус-*

тойчивость озелененных территорий из-за незащищенности внутренних пространств объекта (узкая линейная, изрезанная форма объекта). Тип условий произрастания растений – критический. Количество древесных растений на объекте: деревьев – 426 шт., кустарников – 96 шт. Оценка жизненного состояния насаждений на объекте озеленения – индекс жизненного состояния насаждений сквера «Одесский» составляет 66,6 % и оценивается как «ослабленное».

Сквер «Им. В. И. Сурикова». Категория объекта по функциональному назначению: *общего пользования*, значимость объекта: *объект районного значения*. «Адрес» объекта: административный район города: *Центральный*, ориентиры: *ул. Ленина, 118а*. Баланс территории объекта: периметр объекта: 487 м, общая площадь объекта: 1,40 га, индекс пространственной формы объекта: 1,16. Пространственная форма объекта является экологически эффективной, т.е. способствует повышению рекреационной комфортности посетителей и экологической устойчивости насаждений на данной территории. Тип условий произрастания растений на объекте: деревьев – 234 шт., кустарников – 33 шт. Оценка жизненного состояния насаждений на объекте озеленения – индекс жизненного состояния насаждений сквера «Им. В. И. Сурикова» составляет 41,9 % и оценивается как «сильно ослабленное».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных материалов показал, что:

- все представленные скверы являются объектами озеленения общего пользования и относятся к объектам районного значения;
- площади данных скверов находятся в пределах от 0,81 до 2,95 га, за исключением сквера «Космонавтов»

тов», площадь которого составляет 6,96 га. При этом установлено, что в скверах площадью до трех гектаров зона комфортной среды может составлять только 9 %, на объектах озеленения площадью от 7 до 20 га – до 30 % при условии компактности территорий [Краснощекова, 1974], таким образом, в сквере «Одесский» зона комфорта отсутствует, так как имеет вытянутую форму и расположен вдоль проезжей части автодороги с интенсивным движением (с грузовым транспортом), сквер Лесок – наоборот, при незначительных размерах расположен в жилой зоне вдали от автомагистралей, наибольшую зону комфорта имеет сквер Космонавтов в связи с большой территорией и удаленности основной его части от автодороги (рис. 2);

• пространственная форма объектов достаточно компактная, в четырех скверах из девяти индекс кругообразности находится в пределах от 1,1 до 1,20, это означает, что пространственная форма объекта является экологически эффективной, т.е. способствует повышению рекреационной комфортности посетителей и экологической устойчивости насаждений на данной территории. В двух скверах «Лесок» и «Панюковский» индекс пространственной формы находится в пределах от 1,21 до 1,40 – от 1 до 1,20 – пространственная форма объекта способствует снижению рекреационной комфортности посетителей и экологической устойчивости зеленых насаждений. В трех скверах – 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) (рис. 3);

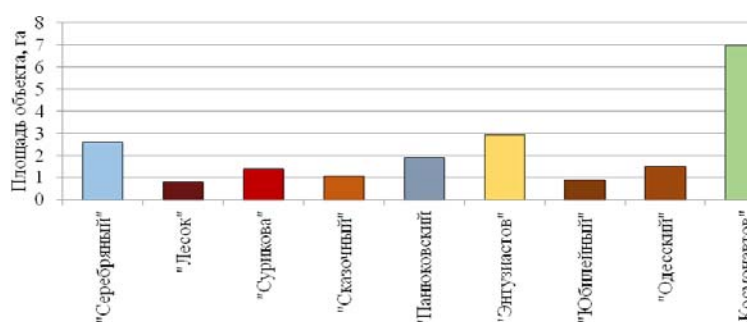


Рис. 2. Пространственная форма исследуемых объектов озеленения

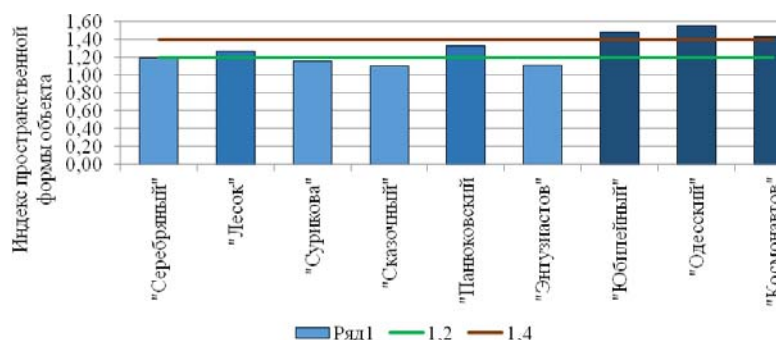


Рис. 3. Пространственная форма объектов

• биоразнообразие насаждений определяется количеством видов древесных растений и разнообразием растительных группировок (однорядные посадки, аллеи, куртины и т.п.). В изучаемых скверах их количество значительно варьирует и по мере приближения к центральной части города увеличивается: от семи (сквер «Сказочный») до тридцати (сквер «Космонавтов») видов растений и от трех до шести типов насаждений (рис. 4);

• на всех объектах озеленения встречаются такие виды как: береза повислая, ель сибирская, лиственница сибирская, яблоня сибирская, есть виды, которые встречаются только на одном объекте пузыреплодник калинолистный (сквер «Юбилейный»), орех маньчжурский (сквер «Энтузиастов») и т.д., встречаемость видов представлена в таблице;

• в ассортименте древесных растений исследуемых скверов представлена береза повислая, липа мел-

колистная отсутствует в скверах «Серебряный» и «Юбилейный». Доля участия березы повислой выше, чем липы мелколистной в насаждениях данных скверов и изменяется от средней до очень высокой, составляет от 0,6 до 45 % (сквер «Юбилейный») (рис. 5);

• жизненное состояние березы повислой и липы мелколистной изменяется от «отличного» до «крайне неудовлетворительного». Наибольшее количество деревьев березы повислой «отличного» состояния (88 %) произрастает в сквере «Энтузиастов», «неудовлетворительного» состояния (47 %) отмечено в сквере «Сурикова». Максимальное количество деревьев липы мелколистной «отличного» состояния (91 %) отмечено в сквере «Энтузиастов», «неудовлетворительного» – 26 % в «им. В. И. Сурикова» (рис. 6–7).

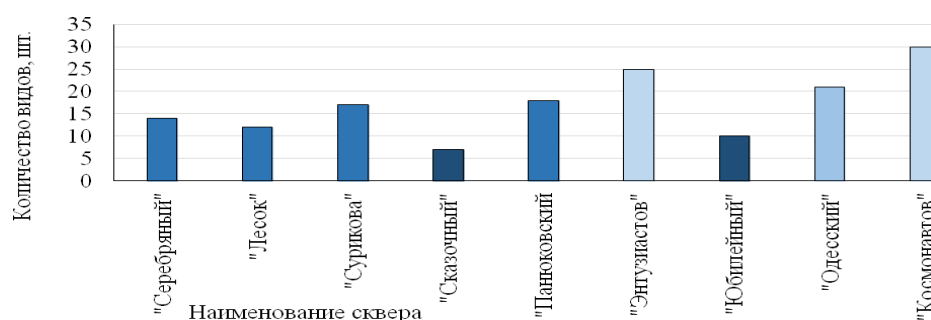


Рис. 4. Видовое разнообразие растений на исследуемых объектах озеленения

Встречаемость видов в скверах

Порода	Сквер «Серебряный»	Сквер «Лесок»	Сквер «Сказочный»	Сквер «Панюковский»	Сквер «Энтузиастов»	Сквер «Юбилейный»	Сквер «Космонавтов»	Сквер Им. В. И. Сурикова	Сквер «Одесский»
Береза повислая	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Липа мелколистная	–	+	+	+	+	–	+	+	+
Ель сибирская	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Сосна обыкновенная	–	+	–	–	–	–	–	+	+
Лиственница сибирская	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Яблоня сибирская	+	+	–	+	+	+	+	+	+
Вяз мелколистный	–	–	+	+	+	–	+	+	+
Рябина обыкновенная	+	–	–	+	+	+	+	–	+
Тополь бальзамический	+	+	+	+	+	–	+	+	+
Клен ясенелистный	+	+	–	+	+	+	+	+	+
Клен приречный	–	–	–	+	–	–	–	–	–
Черемуха Маака	+	–	–	+	+	+	+	–	+
Груша уссурийская	–	–	–	+	+	–	+	–	–
Сосна сибирская кедровая	–	–	–	–	–	–	–	+	–
Ясень обыкновенный	–	–	–	–	–	–	+	–	–
Ясень пенсильванский	–	–	–	–	–	–	–	+	–
Ива волчниковая	–	–	–	–	+	–	+	–	+
Ива остролистная	–	–	–	–	+	–	–	–	–
Ива ломкая	–	–	–	+	–	–	–	–	–
Орех маньчжурский	–	–	–	–	+	–	–	–	–
Тополь лавролистный	–	–	–	–	+	–	–	–	–

Окончание таблицы

Порода	Сквер «Серебряный»	Сквер «Лесок»	Сквер «Сказочный»	Сквер «Панковский»	Сквер «Энтузиастов»	Сквер «Юбилейный»	Сквер «Космонавтов»	Сквер Им. В. И. Сурикова	Сквер «Одесский»
Тополь белый	+	–	–	–	–	–	+	–	+
Липа крупнолистная	–	–	–	–	–	–	+	–	–
Ель колючая голубая	–	–	–	–	+	–	+	+	–
Черемуха обыкновенная	–	+	+	+	+	+	–	–	–
Ива белая	+	–	–	–	–	–	–	–	+
Слива уссурийская	–	–	–	–	+	–	–	–	+
Боярышник обыкновенный	–	–	–	–	–	–	–	–	+
Боярышник кроваво-красный	–	–	–	–	–	–	–	+	–
Сирень венгерская	+	+	–	+	+	–	+	+	–
Кизильник блестящий	+	–	–	+	–	–	+	–	–
Жимолость татарская	–	–	–	–	+	+	+	–	+
Рябинник рябинолистный	–	–	–	–	–	–	+	–	–
Пузыреплодник калинолистный	–	–	–	–	–	+	–	–	–
Роза морщинистая	–	–	–	–	+	–	+	–	–
Смородина двуиглая	–	–	–	+	+	–	+	–	+
Карагана древовидная	+	+	–	–	–	–	+	–	+
Бузина черная	–	–	–	–	–	–	+	–	–
Лох серебристый	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Смородина золотистая	+	+	–	–	–	–	+	+	–
Дерен белый	–	–	–	–	+	–	–	–	+
Калина обыкновенная	–	–	–	–	+	–	+	–	–
Вишня войлочная	–	–	–	–	–	–	+	–	+
Можжевельник обыкновенный	–	–	–	–	–	–	+	–	–

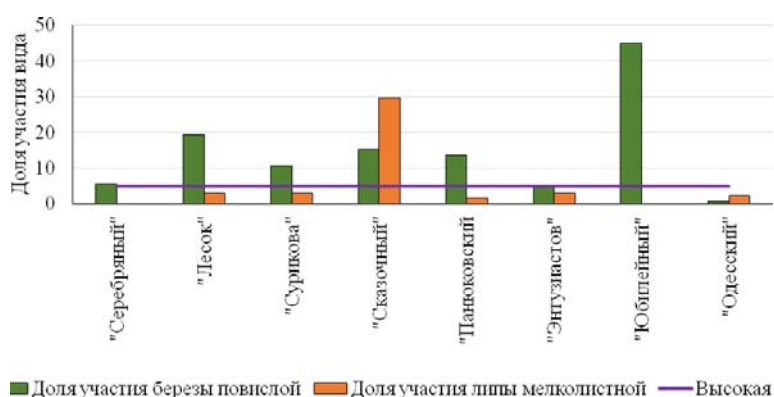


Рис. 5. Доля участия березы повислой и липы мелколистной на исследуемых объектах озеленения

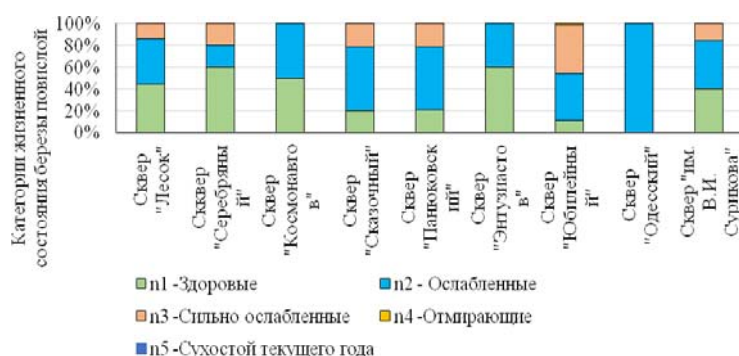


Рис. 6. Жизненное состояние березы повислой

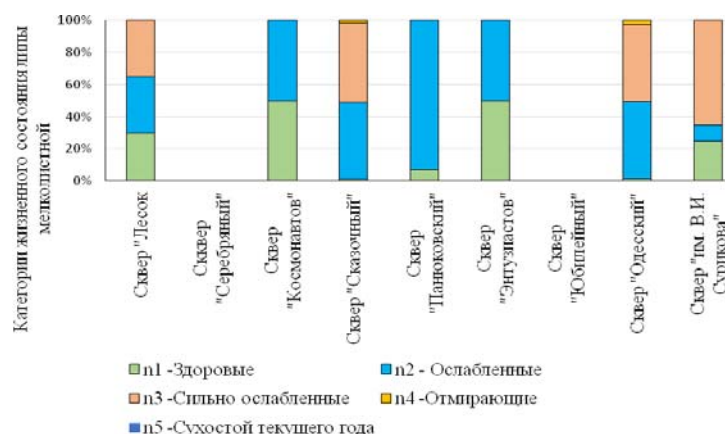


Рис. 7. Жизненное состояние липы мелколистной

ВЫВОДЫ

Инвентаризационная оценка насаждений показала, что жизненное состояние березы повислой и липы мелколистной в целом по городу оценивается от «здоровых» до «отмирающих», индекс варьирует от 100 до 15, закономерно снижаясь в критических условиях произрастания, взаимосвязь возраста, класса повреждения с качеством воздушной среды позволяет использовать березу повислую и липу мелколистную в качестве вида-индикатора для оценки аэротехногенного загрязнения городов, а также данное обстоятельство необходимо учитывать при создании городских насаждений на объектах озеленения с различной техногенной нагрузкой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Информационно-аналитическая система «Управление качеством городских объектов озеленения», Модуль I мониторинг состояния городских объектов / Е. В. Авдеева [и др.] // Хвойные бореальной зоны. 2015. С. 89–95.

2. Якубов Х. Г. Экологический мониторинг зеленых насаждений Москвы. М : ООО «Стагирит-Н», 2005. 264 с.

3. Авдеева Е. В., К. В. Черникова Урбодендрология. Тополь бальзамический (*populus balsamifera* L.). 2021. 206 с.

REFERENCES

1. Informatsionno-analiticheskaya sistema «Upravleniye kachestvom gorodskikh ob'yektov ozeleneniya», Modul' I monitoring sostoyaniya gorodskikh ob'yektov / Ye. V. Avdeyeva [i dr.] // Khvoynyye boreal'noy zony. 2015. S. 89–95.

2. Yakubov Kh. G. Ekologicheskiy monitoring zelenykh nasazhdeniy Moskvyy. M : OOO «Stagirit-N», 2005. 264 s.

3. Avdeyeva Ye. V., Chernikova K. V. Urbodendrologiya. Topol' bal'zamicheskiy (*populus balsamifera* L.). 2021. 206 s.

© Авдеева Е. В., Кухар И. В., Иванов Д. В., 2022

Поступила в редакцию 10.06.2022

Принята к печати 01.08.2022

РОССИЙСКИЙ И МИРОВОЙ ОПЫТ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ*

Е. В. Авдеева, Н. Л. Ровных, Д. В. Иванов, Н. В. Сухенко,
И. В. Кухар, М. Д. Калинин

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

Эффективность искусственного лесоразведения во многом зависит от качества посадочного материала при создании лесных культур. Посадочный материал, выращенный в лесных питомниках в открытом грунте и в теплицах, имел ряд существенных недостатков. Сеянцы или саженцы для создания лесных культур использовались с открытой корневой системой, что резко ограничивало сроки посадки. Задержка с посадкой может привести к пересыханию верхних горизонтов почвы и, как следствие этого, к гибели высаженных растений или низким показателям приживаемости. Кроме того, при посадке, особенно в жаркую ветреную погоду, корневые системы сеянцев (саженцев) пересыхали, что приводило к их гибели. Таким образом, главным недостатком посадочного материала с открытой корневой системой являлся ограниченный период сроков создания лесных культур, в значительной степени зависящий от условий погоды. При больших объемах искусственного лесоразведения или лесовосстановления, даже при осуществлении механизированной посадки, возникали огромные сложности в посадке в оптимальные сроки.

Посадочный материал с закрытой корневой системой – сеянцы (или саженцы), корневые системы которых находятся внутри корнезакрывающего субстрата. Посадочный материал с закрытой корневой системой имеет ряд преимуществ по сравнению с открытой корневой системой: обладает более высокой засухоустойчивостью, запас воды в коме субстрата увеличивает период безполивного его содержания при хранении и транспортировке, высаженный на лесокультурную площадь посадочный материал с закрытой корневой системой имеет более длительный период без атмосферного увлажнения. Указанные обстоятельства объясняют повышенное внимание к разработке технологий выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. В статье представлен российский и мировой опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. Достаточно подробно изложен первый опыт выращивания сеянцев с закрытой корневой системой в г. Красноярске на базе тепличного комплекса МП «УЗС» в 2021 году.

Ключевые слова: закрытая корневая система, Красноярск, лесоразведение.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 4, P. 250–258

RUSSIAN AND WORLD EXPERIENCE IN GROWING PLANTING MATERIAL WITH A CLOSED ROOT SYSTEM

E. V. Avdeeva, N. L. Rovnykh, D. V. Ivanov, N. V. Sukhenko,
I. V. Kukhar, M. D. Kalinin

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

The effectiveness of artificial afforestation largely depends on the quality of planting material when creating forest plantations. Planting material grown in forest nurseries in the open field and in greenhouses had a number of significant drawbacks. Seedlings or saplings for creating forest crops were used with an open root system, which sharply limited the planting time. A delay in planting can lead to the drying of the upper soil horizons and, as a result, to the death of the planted plants or low survival rates. In addition, when planting, especially in hot windy weather, the root systems of seedlings (seedlings) dried up, which led to their death. Thus, the main disadvantage of planting material with an open root system was the limited period of time for the creation of forest plantations, which largely depended on weather conditions. With large volumes of artificial afforestation or reforestation, even with the implementation of mechanized planting, there were huge difficulties in planting at the optimum time. Planting material with a closed root system – seedlings (or seedlings), the root systems of which are located inside the root-covering substrate. Planting material with a closed root system has a number of advantages compared to an open root system: it has a higher drought resistance, the water supply in the substrate coma increases the period of its non-irrigation maintenance during storage and

* Работа выполнена при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда поддержки науки и технологий в рамках проекта № 2022030508374.

transportation, planting material planted on a silvicultural area with a closed root system has a longer period without atmospheric moisture. These circumstances explain the increased attention to the development of technologies for growing planting material with a closed root system. The article presents the Russian and world experience in growing planting material with a closed root system. The first experience of growing seedlings with a closed root system in Krasnoyarsk on the basis of the greenhouse complex MP "UZS" in 2021 is described in sufficient detail.

Keywords: closed root system, Krasnoyarsk, afforestation.

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В соответствии с действующими нормативными документами [1] лесовосстановление осуществляется в целях восстановления вырубок, погибших и поврежденных насаждений путем естественного, искусственного или комбинированного способов. При этом искусственное лесовосстановление проводится в случае, если невозможно обеспечить естественное лесовосстановление или нецелесообразно комбинированное лесовосстановление хозяйственно ценными лесными древесными породами, а также на лесных участках, на которых погибли лесные культуры. Помимо лесовосстановления в лесохозяйственной практике существует термин лесоразведение, под которым понимается облесение нелесных земель в составе земель лесного фонда, создание защитных лесных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения, землях промышленности, транспорта, землях водного фонда и землях других категорий, создание лесных насаждений при рекультивации земель, нарушенных промышленной деятельностью.

Большинство исследователей едины в мнении о том, что искусственные насаждения превосходят естественные по производительности [3; 4; 5; 6; 7; 8; 9] и увеличение доли искусственного лесовосстановления и лесоразведения можно рассматривать, как направления повышения продуктивности лесов [10; 11; 12; 13; 14; 15; 9]. Н.А. Луганский, С.В. Залесов и В.А. Щавровский (1995) [13] в качестве преимуществ искусственного лесовосстановления над естественным выделяют следующие: быстрота роста древостоев в молодом возрасте; более быстрые темпы (до определенного возраста) накопления древе-сокращение сроков выращивания древостоев на 10–20 лет; отсутствие до смыкания крон конкуренции у деревьев, более позднее наступление дифференциации их; дифференциация деревьев протекает слабее за счет концентрации большего количества деревьев в центральных ступенях толщины; предотвращение нежелательной смены пород; создание насаждений любого целевого назначения; улучшение лесорастительных условий за счет обработки почвы; возможность равномерного размещения деревьев по площади; ускорение направленной селекции древесных пород; одновременность заселения культивируемой площади.

К указанным достоинствам искусственного лесовосстановления и лесоразведения можно добавить возможность выращивания искусственных насаждений там, где древесные породы ранее не произрастали или где отсутствуют естественные источники обсеменения. Искусственное лесоразведение позволяет на десятки лет ускорить рекультивацию нарушенных земель, сформировать рекреационно привлекательные ландшафты [9]. Искусственные насаждения могут создаваться как посевом, так и посадкой. У каждого способа

создания лесных культур есть достоинства и недостатки. В то же время большинство авторов отмечает, что культуры, созданные посадкой, имеют более высокие показатели приживаемости и сохранности, быстрее растут, менее перегущены, эффективнее противостоят конкуренции со стороны нежелательных пород, подлеска, живого напочвенного покрова и др., т.е. лесные культуры, созданные посадкой более эффективны в лесоводственном отношении [9; 16; 17; 18; 19; 20; 21].

Выращивание искусственных насаждений связано со значительными трудностями. В частности, для искусственного лесовосстановления методом посадки требуется качественный районированный посадочный материал, а, следовательно, необходимо наличие семенной базы, создание лесных питомников, обеспечивающих возможность выращивания стандартного посадочного материала. Кроме того, необходимо выполнение всего комплекса агротехнических и лесоводственных уходов по созданию и выращиванию лесных культур [9; 22]. Преимущество выращивания посадочного материала в теплицах заключается в том, что здесь легче создать оптимальные условия для прорастания семян и развития проростков. Теплица позволяет высаживать семена на месяц раньше, чем в условиях открытого грунта [23] и получить за один год посадочный материал близкий по размерам к стандартным двухлетним сеянцам [9].

Эффективность искусственного лесоразведения во многом зависит от качества посадочного материала при создании лесных культур. Посадочный материал, выращенный в лесных питомниках в открытом грунте и в теплицах, имел ряд существенных недостатков. Сеянцы или саженцы для создания лесных культур использовались с открытой корневой системой, что резко ограничивало сроки посадки. Задержка с посадкой может привести к пересыханию верхних горизонтов почвы и, как следствие этого, к гибели высаженных растений или низким показателям приживаемости. Кроме того, при посадке, особенно в жаркую ветреную погоду, корневые системы сеянцев (саженцев) пересыхали, что приводило к их гибели.

Таким образом, главным недостатком посадочного материала с открытой корневой системой являлся ограниченный период сроков создания лесных культур, в значительной степени зависящий от условий погоды. При больших объемах искусственного лесоразведения или лесовосстановления, даже при осуществлении механизированной посадки, возникали огромные сложности в посадке в оптимальные сроки.

Посадочный материал с закрытой корневой системой – сеянцы (или саженцы), корневые системы которых находятся внутри корнезакрывающего субстрата. Посадочный материал с закрытой корневой системой имеет ряд преимуществ по сравнению с открытой корневой системой: обладает более высокой засухо-

устойчивостью, запас воды в коме субстрата увеличивает период безполивного его содержания при хранении и транспортировке, высаженный на лесокультурную площадь посадочный материал с закрытой корневой системой имеет более длительный период без атмосферного увлажнения. Указанные обстоятельства объясняют повышенное внимание к разработке технологий выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой [9; 24; 25].

ОПЫТ ФИНЛЯНДИИ

В Финляндии выращивается до 160 млн штук сеянцев ежегодно. В настоящее время в стране 6 крупных компаний, содержащих 12 питомников, рассредоточенных по всей территории. Производительность питомников в Финляндии – до 15–20 млн шт. посадочного материала в год. Общая площадь питомников составляет 889 439 м², из них на 887 289 м² выращивают ПМЗКС и на 7150 м² – посадочный материал с открытой корневой системой [Лесное, 2015]. В Финляндии большое значение придается изучению леса. В этой стране самый высокий показатель лесистости в Европе – 3/4 территории покрыто лесом. Специальная исследовательская организация, которая разрабатывает решения проблем и вопросов, связанных с воспроизводством, уходом, использованием лесов – Финский Лесной научно-исследовательский институт (Metla) [26].

При этом 60 % лесовосстановления производится посадкой, 20 % – посевом и 20 % составляет естественное возобновление. В течение нескольких десятилетий ведутся эксперименты по механизированной посадке с применением различных видов техники. Однако, несмотря на это, пока еще всего 5 % посадочных работ выполняется механизированным способом. При выборе способа обработки почвы учитываются такие факторы, как степень увлажненности почвы, ее плодородность, толщина гумусового слоя, угол наклона местности и каменистость. Целью подготовки почвы на малоплодородных сухих землях является только разрушение поверхности почвогрунта под посев/посадку. Микроповышение выполняется путем оборачивания пласта земли на необработанный участок почвы, при этом внутри образованного микроповышения остается двойной слой гумуса, а на его поверхности – однородный слой минеральной почвы, толщина которого должна составлять 5–15 сантиметров [26].

При выращивании сеянцев в контейнерах очень важную роль играет качество семян, для чего производится сепарирование и очистка методом PREVAC. Таким образом, повышается скорость и одновременность всходов. Замечено, что чем дольше во времени затягивается появление всходов, тем больше некондиционного посадочного материала получается в процессе выращивания. Используются различные методы предпосевной обработки семян. В связи с сокращением времени на предварительную обработку здесь в качестве предпосевной, обработки используют замачивание семян при температуре воды +15 °С на протяжении 16 часов. После этого семена в течение 24 часов начинают раскрываться и на 15 сутки 98 % семян всходят. Тогда как посеянные сухие семена на 15 сутки дают всего 47 % всходов.

В производстве используются пластиковые кассеты, которые перед посевом дезинфицируются горячей водой (t° – 80 °С) путем 10-секундного погружения. Линия по высеву «Urbinati» обладает производительностью 250–300 кассет/час [26]. Выбор кассет для выращивания посадочного материала обусловлен дальнейшим использованием посадочного материала в различных условиях местопроизрастания. Сосна обыкновенная выращивается в кассетах F 121 (объем – 50 см³, плотность – 820 шт./м²), либо в кассетах F 81 (объем – 85 см³, плотность – 546 шт./м²). Выбор кассет для выращивания посадочного материала обусловлен дальнейшим использованием посадочного материала в различных условиях местопроизрастания.

Засеянные кассеты устанавливаются в отапливаемые теплицы на 6 недель. На 90 % питомниках Финляндии в качестве субстрата используется торф. Общая потребность его составляет 75 млн м³. Для выращивания посадочного материала с ЗКС используется грунт на основании верхового торфа с размерами частиц до 40 мм. Для более крупных контейнеров допускается применение более грубого торфа. К верховому торфу при приготовлении грунта добавляется стартовое количество удобрений и добавляется доломитовая мука [26]. Для посева используется грунт «Kekkila» состоящий из белого сфагнового торфа с РН 4-4,5 и стартовыми удобрениями «Kekkila I» (N-P2 O5 – K2 O 14-9-24) и «Kekkila 6» (N-P2 O5 -K2 O 16-10-20) с добавлением смачивающих реагентов.

Для оптимального роста и равномерного развития сеянцев существенным является получение сеянцами достаточного количества воды на каждой стадии роста. Поскольку площадь поверхности каждой ячейки относительно небольшая, точная дозировка воды является еще более существенной. Также из-за небольших запасов влаги в мелких ячейках критическое высыхание может наступить быстро. В период активного роста необходимо промачивать весь корнеобитаемый слой субстрата. Для определения сроков полива используют визуальное наблюдение, весовой метод, тензиометры и другое электрооборудование [26].

Основными моментами при поливе являются: первый полив должен осуществляться до самого дна (полностью), после полива влажность субстрата должна составлять 95–100 %; второй и последующие поливы должны осуществляться только после достижения субстратом критической влажности – 40 % (небольшой полив допускается, при сильном пересыхании верхнего слоя); для оптимального роста растения в субстрате должно содержаться: 47,5 % – воздуха, 47,5 % – воды, 5 % – торфа; влажность субстрата должна составлять 40–50 %; обильный полив приводит к развитию самого растения, но не корневой системы; для насыщения корневой системы кислородом необходимо периодически доводить влажность субстрата до критической влажности (40 %) [26].

В теплицах Финляндии используется подвесная поливочная установка рампового типа, которая крепится к потолку теплицы, что позволяет оптимально использовать площадь теплицы. Установка оснащена дозатором удобрений. Прямая дозировка воды сеянцам гарантирует равномерный полив всей территории для

достижения оптимальной всхожести. для достижения оптимальной всхожести. Полив необходим при доращивании сеянцев и на специальных полигонах доращивания. [26]. Вода, используемая для полива, может содержать различные примеси солей и пестицидов, семена сорных растений и возбудителей болезней. Поэтому к качеству поливной воды предъявляются жесткие требования. Полный анализ качества воды включает: определение концентрации специфических ионов (Na, Ca, Mg, Cl, карбонатов, бикарбонатов, сульфатов, В); определение стандартных показателей (электрическая проводимость, кислотность, относительное содержание натрия); определение содержания питательных веществ (N, P, K, микроэлементы); определение наличия патогенных микроорганизмов [26].

На полях доращивания с середины июля создается затенение саженцев. Освещенность убирается на 16 часов в день, что ускоряет формирование верхушечной почки, что обеспечит более раннее распускание на будущий год. Притенение ели на второй год выращивания позволяет при одновременном проведении подкормок сформировать стволую систему сеянца [26].

Важность минерального питания для роста и развития сеянцев в закрытом грунте трудно переоценить. Искусственный субстрат, как правило, верховой торф, по своей природе содержит малое количество питательных веществ. Поэтому снабжение растений питательными веществами производится через удобрение. Оптимальный уровень содержания питательных веществ в растворе субстрата зависит от видовых и возрастных особенностей развития сеянцев. Соотношение элементов питания в питательной смеси также имеет большое значение, даже большее, чем абсолютные значения каждого элемента [26] (рис. 1).

Регулирование минерального питания растений осуществляется внесением удобрений. Мониторинг минерального питания проводится в несколько этапов, начиная с определения качества воды, используемой для полива, и заканчивая сточными водами. Методы мониторинга зависят от способа удобрения. При использовании жидких подкормок мониторинг возможен на всех этапах, при использовании удобрений в твердом виде – лишь на трех. При мониторинге обычно определяется несколько показателей. К ним относятся электрическая проводимость и кислотность, а также традиционные химические анализы.

При проведении подкормок должны выполняться следующие условия: наиболее важным в развитии растения элементом является азот (нехватка этого элемента негативно сказывается на росте и развитии растения); продолжительные подкормки N нарушают процесс закалки; подкормки лучше проводить чаще (1–2 раза в неделю), но менее концентрированным рабочим раствором; подкормки необходимо контролировать по электрической проводимости субстрата (показания снимаются в пролитом субстрате). В Финляндии данный показатель выдерживается в диапазоне 0,8–2,1 мС/см (этот диапазон для их условий является оптимальным); после внесения удобрений необходимо проводить, полив чистой водой, чтобы питательные вещества опустились к корням; по окончании вегетации растений и наступления первых морозов необходимо проводить дозакровку субстрата питательными веществами (N20P7 K19) [26].

Специалисты центра проводят ряд мероприятий, направленных на борьбу с заболеваниями сеянцев. Так, например, для борьбы с серой плесенью применяется один из новых методов – обработка сеянцев ультрофиолетовыми лучами (ежедневно рампа, проходя над сеянцами, обрабатывает их УФ-лучами). Во избежание повреждения сеянцев, в весенне-осенний период кассеты необходимо поднимать на высоту 15–20 см от земли, а на зиму, наоборот, опускать на землю, чтобы не было промерзания. В обязательном порядке производится мойка кассет после их использования: на 10 секунд кассеты опускают в горячую воду (80 °C), что позволяет провести дезинфекцию [26].

С октября по май стандартный посадочный материал, прошедший сортировку, закладывают на хранение в холодильные камеры при температуре минус 2–3 °C и влажности 85–90 %. Ель упаковывают в картонные коробки, березу – в полиэтиленовые мешки. Оставшийся на полях доращивания посадочный материал снимается с подставок и устанавливается на грунт. При хранении на полях доращивания сортировку производят весной. В партии допускается 5 % некондиционных сеянцев. Дополнительно для защиты посадочный материал обрабатывается системным фунгицидом защитного действия «Альетт». Препарат быстро проникает внутрь культуры и перемещается в ней. Влияет на прорастание грибковых спор и блокирует дальнейшее распространение болезни [26].



Приспособление для переноски кассет



Мульчирование каменной крошкой



Поле доращивания

Рис. 1. Этапы выращивания сеянцев с ЗКС в питомниках Финляндии

ОПЫТ ЛАТВИИ

Акционерное общество «Латвийские государственные леса» начало развитие нового питомника Мезвиди в центрально-восточной части Латвии. Питомник будет производить контейнерные саженцы шотландской сосны и норвежской ели. Первый посев в пяти недавно построенных теплицах был произведен в апреле – мае 2021 года. Питомник «Мезвиди» планирует производить до 15 миллионов саженцев к 2024 году. Это четвертый крупный питомник в Латвии основанный на высокоэффективных и конкурентоспособных технологиях выращивания. В настоящее время общая мощность питомников «Латвийские государственные леса», составляет 55 миллионов растений в год для создания лесов. С окончательным введением питомника в Мезвиди общая мощность увеличится до 68–70 миллионов растений в год [BCC, 2021].

ОПЫТ РОССИИ

Республика Татарстан. Лесной селекционно-семеноводческий центр, создан в 2012 г. Основными производственными объектами лесного селекционно-семеноводческого центра являются: 4 теплицы на 1 млн. сеянцев каждая, здание-холодильник емкостью 8 млн. сеянцев, 2 склада, 13 полей доращивания (закаливания) 8 из которых имеют автоматическую систему затенения, для защиты светочувствительных пород от негативного воздействия солнечных лучей. Производственная мощность питомника составляет 12 млн. сеянцев в год, достигается за счёт внедрения системы ротаций. За сезон высевается три ротации, по 4 млн. сеянцев в каждой [27]. Высев первой ротации начинается 10–12 марта и продолжается 12–14 дней. За это время заполняются все четыре теплицы, включается автоматическая система климатического контроля теплиц и только потом запускается полив [27].

Для обеспечения оптимального роста и ровного развития сеянцев важно, чтобы каждое растение получало правильный объем воды в течение всего срока выращивания, так как площадь поверхности каждой ячейки кассеты относительно мала, качество полива становится еще важнее. Кроме того, ограниченный запас влаги в небольших ячейках означает, что критический стресс по поводу нехватки влаги может развиваться довольно быстро. Для этого в теплицах и на полях доращивания предусмотрены интегрированные поливальные ramпы с набором тройных форсунок, которые при необходимости можно поменять простым поворотом тройного штуцера.

Первый полив длится до тех пор, пока весь торфяной ком в каждой ячейке полностью не пропитается водой, это занимает 12–14 часов. Последующие поливы длятся 3–4 часа, с периодичностью раз в 2–4 дня, в зависимости от степени высыхания торфяного кома [27]. Через 1–2 недели после всхода семян начинается подкормка сеянцев водорастворимым азотным удобрением с микро и макроэлементами. С этой целью, в насосной станции питомника, предусмотрена автоматическая система внесения и дозирования удобрений в поливаемую воду [27].

Для защиты и лечения сеянцев от фитопатогенных заболеваний имеется возможность добавлять фунги-

циды в поливаемую воду. Это осуществляется при помощи мобильного разбрызгивателя, представляющего собой тележку с дозатором и емкостью на 35 литров для концентрированного раствора, который при необходимости подключается непосредственно к системе водоснабжения поливальной ramпы. Для разбрызгивания фунгицидов на ramпах предусмотрены специальные форсунки. Подача вещества высчитывается с точностью до миллилитра и регулируется на самом дозаторе. Прямой впрыск химикатов в поливочную линию обеспечивает ровное распределение фунгицидов и инсектицидов [27].

Сеянцы первой ротации растут в теплицах до 10–15 мая. Для дальнейшего роста и закаливания, сеянцы перемещаются на поля доращивания. Светочувствительные породы помещаются на поля доращивания с автоматической системой затенения, которая разворачивает и сворачивает специальную сетку над сеянцами по заданному графику или по преодолению порога дневной суммарной солнечной радиации. Эта система защищает сеянцы от солнечного ожога. В период с 10 по 25 мая перемещения сеянцев первой ротации на поля доращивания параллельно, в освободившиеся теплицы, высевается вторая ротация. Полив и поддержание нужной температуры осуществляется аналогично первой ротации. Сеянцы второй ротации растут в теплицах месяц. В период с 25 июня по 9 июля их перемещают на поля доращивания. В этот же период высевается третья ротация. Сеянцы третьей ротации растут и развиваются в теплицах до середины октября. И только перед выпадением снега они перемещаются на открытые поля доращивания (без затенения), где они остаются на зиму и могут находиться там до конца лета следующего года (зависит от реализации) [27]. При необходимости сеянцы первой и второй ротаций текущего года и сеянцы третьей ротации прошлого года можно упаковывать в различную тару непосредственно с полей доращивания. Один из видов тары – это картонные коробки. Для этого, рядом с линией посева, предусмотрена полуавтоматическая линия упаковки сеянцев картонные коробки. В одну коробку упаковывается 100 сеянцев. Специальная машина расставляет коробки с посадочным материалом на деревянные поддоны по 50 шт. Затем поддон с коробками оборачивается в стрейч плёнку и отправляется в корпус охлаждения и хранения, где они при температуре –2–4 °C могут храниться до 6 месяцев, без ущерба для их жизнеспособности (рис. 2).

Город Красноярск. Муниципальное предприятие «Управление зеленого строительства». «Управление зеленого строительства» специализируется на благоустройстве и озеленении парков, скверов, городских улиц, зеленых зон города. На территории предприятия находится комплекс теплиц для выращивания посадочного материала. В связи с большим спросом на сеянцы сосны обыкновенной, выращенные с закрытой корневой системой (ЗКС), предприятие начало осваивать данную технологию выращивания сеянцев. Пилотной площадкой стали теплицы МП «УЗС». Курирует данную программу Министерство лесного хозяйства Красноярского края, министр лесного хозяйства – Панов А.И., руководителя-

ми проекта от МП «УЗС» являются Е.В. Потылицын – генеральный директор, Д.В. Иванов, Кирюшин Е.В. – заместители генерального директора, руководитель технологических практик от СибГУ им. М.Ф. Решетнева – доктор сельскохозяйственных наук Е.В. Авдеева. Студенты Института лесных технологий (СибГУ) принимали активное участие на всех стадиях выращивания сеянцев хвойных пород с закрытой корневой системой для реализации современных технологий лесовосстановления (рис. 3). Основными этапами технологии производства посадочного материала с закрытой корневой системой являются: предпосевная подготовка семян, технологические операции по заполнению кассет субстратом, высев семян и мульчирование посевов, установка кассет на поддоны в теплице, поддержание оптимального микроклимата в теплице, поливы, подкормки, перемещение сеянцев на поле доращивания, закалывание, сортировка, упаковка сеянцев, мойка и дезинфекция кассет.

Первый опыт выращивания сеянцев с закрытой корневой системой получен в 2021 году, посев проведен в период с 17 мая по 27 мая в теплице общей площадью – 8000 м², которая оборудована дождевальной системой для полива и охлаждения, подкормок, обработки от вредителей и заболеваний, системой затенения и проветривания с электроприводами. Посев осуществлялся с использованием автоматической линии «ATS VISSER» (Нидерланды) в одну ротацию. Всего высеяно около 1 млн. семян в кассеты. Засеянные кассеты разместили в теплице, установили на технологические рамки на высоте 20 сантиметров

от поверхности земли. Первый полив произвели 27 мая после полного посева семян водой из централизованной системы водоснабжения. Кратность полива определялась визуально, по мере отхождения субстрата от стенок кассеты. Температура воздуха в теплице в период проращивания составляла 22–25 °С, что является оптимальной для данного этапа. Полная всхожесть сеянцев – 3 июня 2021 г.

С 18 по 21 июня сеянцы достигли высоты около 3 сантиметров и скинули чешуйку. Первая обработка сеянцев от заболеваний и вредителей проведена 21 июня. В этот же день проведено измерение электропроводности почвы и 26 июня проведена первая подкормка сеянцев, вторая – 13 июля. 15 июля – повторная обработка от вредителей и заболеваний, сеянцы достигли 7±0,5 см, 23 июля – третья. 27 июля – начало перемещения кассет с сеянцами на закалку на поле доращивания (рис. 4).

К моменту реализации сеянцы достигли следующих размеров: высота сеянца составляла от 10 до 13 см, диаметр стволика у корневой шейки – 2,3±0,25 мм, у большинства растений наблюдается боковое ветвление (рис. 5).

Таким образом, сеянцы выращивали в теплице в течение двух месяцев, далее для прохождения стадии закалки, дозревания были перенесены на площадку доращивания. Процесс закалывания посадочного материала с ЗКС заключается в постепенной адаптации сеянцев, выращиваемых в теплицах к естественным климатическим условиям.



Лесной селекционно-семеноводческий центр



Всходы



Поле доращивания

Рис. 2. Этапы выращивания сеянцев с ЗКС в «Лесном селекционно-семеноводческом центре», Республика Татарстан



Рис. 3. Реализация пилотного проекта по выращиванию сеянцев с закрытой корневой системой в Красноярском крае, 2021 г.

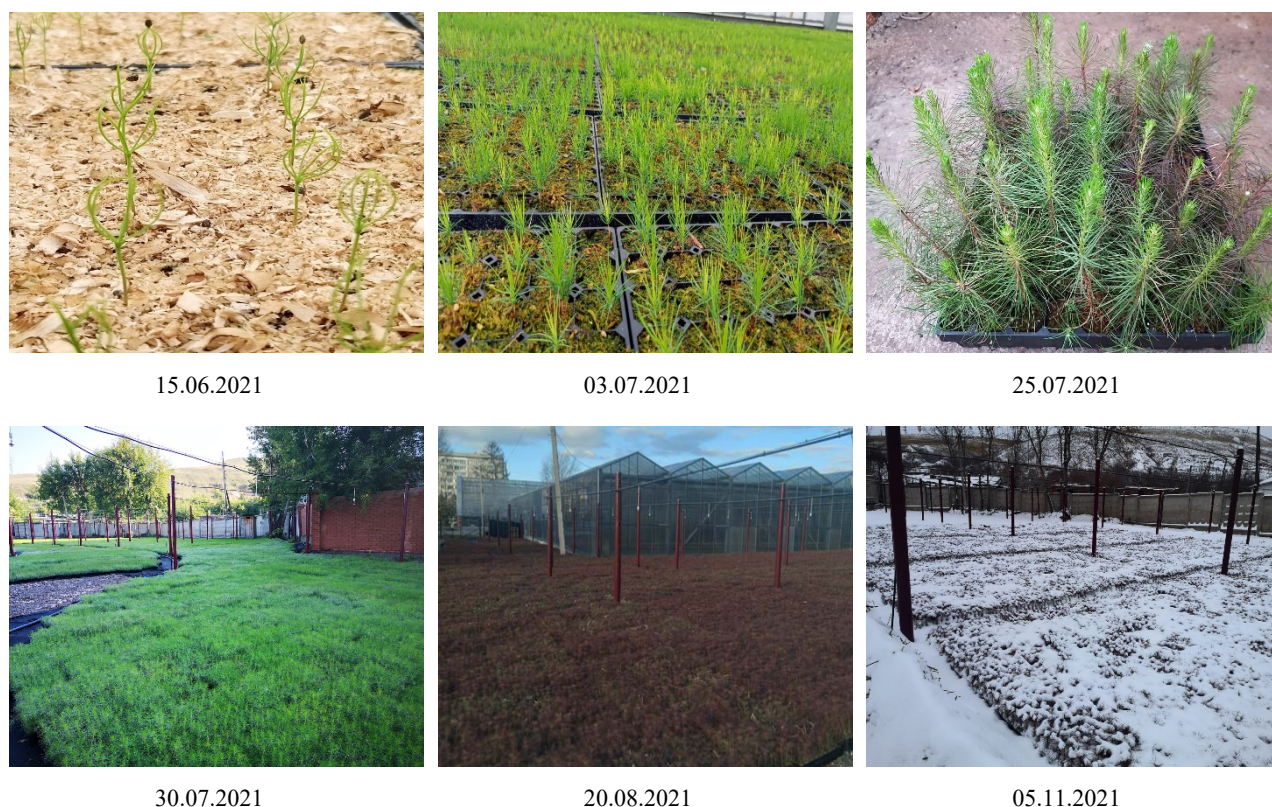


Рис. 4. Этапы выращивания сеянцев с ЗКС в теплице и на площадке доращивания МП «УЗС» г. Красноярск



Рис. 5. Этапы формирования сеянцев в теплице МП «УЗС» г. Красноярск

Площадки закаливания оборудованы поливочными системами для полива и подкормки, система затенения защищает сеянцы от солнечного ожога. 29 июля и 11 сентября произвели очередные обработки от болезней и вредителей, 2 и 20 августа – подкормки, последние подкормки проведены 10 и 24 сентября, с 27 сентября сеянцы реализуются на посадку. Во время закаливания сеянцы обрели багровый оттенок, основная часть продукции была реализована заказчиком, часть оставлена на площадке доращивания на зимнее время.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование посадочного материала с закрытой корневой системой имеет ряд других существенных

преимуществ перед обычными сеянцами и саженцами. В частности, сеянцы с закрытой корневой системой лучше приживаются в неблагоприятных лесорастительных условиях, хорошо переносят транспортировку на большие расстояния, а главное позволяют значительно продлить лесокультурный сезон. Кроме того, к преимуществам посадочного материала с закрытой корневой системой можно отнести: более короткий период выращивания крупномерного посадочного материала и лучшую приживаемость некоторых пород, в частности, сосны обыкновенной и псевдотсуги. Последнее позволяет обеспечить успешное создание лесных культур даже в трудных лесорастительных условиях, включая щебнистые отвалы, карь-

еры и другие нарушенные земли. Высокая приживаемость лесных культур позволяет сократить количество посадочных мест на единицу лесокультурной площади и тем самым более эффективно использовать селекционные семена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Правила лесовосстановления. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554151577>. Текст: электронный.
2. Залесов С.В., Луганский Н.А. Повышение продуктивности сосновых лесов Урала. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. 331 с. Текст: непосредственный.
3. Залесов С.В., Лобанов А.Н., Луганский Н.А. Рост и производительность сосняков искусственного и естественного происхождения. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. 112 с.
4. Искусственное лесоразведение вокруг г. Астаны / С.В. Залесов, Б.О. Азбаев, А.В. Данчева, А.Н. Рахимжанов, М.Р. Ражанов, Ж.О. Суяндиков // Современные проблемы науки и образования. 2014а. № 4. URL: www.science-education.ru/118-13438.
5. Производительность искусственных берёзовых насаждений в зелёной зоне города Астаны / С.В. Залесов, Л.А. Белов, А.В. Данчева, Б.М. Муканов, А.С. Оплетаев, Ж.О. Суяндиков // Вестник сельскохозяйственных наук Казахстана. № 9. С. 53–60.
6. Рост лиственных древостоев на бывших пашнях / С.В. Залесов, Е.В. Юровских, Л.А. Белов, А.Г. Магасумова, А.С. Оплетаев // Аграрный вестник Урала. 2015а. № 5 (135). С. 50–54.
7. Производительность искусственных насаждений в северолесостепом лесорастительном округе Свердловской области / С.В. Залесов, А.С. Оплетаев, Е.С. Залесова, Н.П. Бунькова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. № 11 (133). С. 65–70.
8. Осипенко, А.Е. Запас искусственных сосновых древостоев в аридных условиях / А.Е. Осипенко, С.В. Залесов // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. URL: www.science-education.ru/121-18520.
9. Гоф А.А. Эффективность создания лесных культур сосны обыкновенной сеянцами с закрытой корневой системой в ленточных борах Алтая. Екатеринбург, 2020. 169 с. <https://www.dissercat.com/content/effektivnost-sozdaniya-lesnykh-kultur-sosny-obyknovennoi-seyantsami-s-zakrytoi-kornevoi-sist>.
10. Мелехов И.С. Проблемы современного лесоводства. М., 1969. 46 с.
11. Побединский А.В. Повышение продуктивности лесов лесоводственными мероприятиями // Повышение продуктивности лесов лесоводственными приёмами. М., 1977. С. 3–24.
12. Побединский А.В. Повышение продуктивности лесов лесоводственными приёмами // Проблемы повышения продуктивности лесов и перехода на непрерывное рациональное лесопользование. Архангельск, 1983. С. 14–15.
13. Луганский Н.А., Залесов С.В., Щавровский В.А. Повышение продуктивности лесов. Екатеринбург : Урал. лесотехн. ин-т, 1995. 297 с.

14. Залесов С.В. Научное обоснование системы лесоводственных мероприятий по повышению продуктивности сосновых лесов Урала: дис. ... д-ра с.-х. наук (06.03.03 – Лесоведение и лесоводство; лесные пожары и борьба с ними). Екатеринбург, 2000. 435 с.

15. Родин С.А. Вопросы лесовосстановления и лесоразведения // Проблемы воспроизводства лесов в Российской Федерации. Пушкино : ВНИИЛМ, 2015. С. 200–206.

16. Бабич Н.А., Прохоров В.П., Феклисов П.А. Изменчивость и взаимосвязи прироста по диаметру и высоте в культурах сосны // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение. Л., 1982. Вып. 11. С. 81–85.

17. Огиевский В.В., Медведева А.А. Лесные культуры. Искусственное лесовосстановление на вырубках. Брянск, 1989. 72 с.

18. Мерзленко М.Д. Типы и густота лесных культур / М.Д. Мерзленко. М., 1992. 60 с.

19. Рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению на Урале / В.Н. Данилик, Р.П. Исаева, Г.Г. Терехов, И.А. Фрейберг, С.В. Залесов, В.Н. Луганский, Н.А. Луганский. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. акад., 2001. 117 с.

20. Ртищев С.Я., Маленко А.А. Лесоводственная оценка способов лесовосстановления на гарях // Современное состояние лесного хозяйства и озеленения в Республике Казахстан: проблемы, пути их решения и перспективы. Алматы: НППЦЛХ, 2007. С. 346–349.

21. Маленко А.А. Рост и продуктивность искусственных насаждений в ленточных борах Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Екатеринбург, 2012. 40 с.

22. Габеев В.Н. Экология и продуктивность сосновых лесов. Новосибирск, 1990. 228 с.

23. Применение синтетических пенек в лесном хозяйстве / под ред. А.Д. Букштынова. М. : Лесная промышленность, 1979. 176 с.

24. Лугинина Л.И., Бессчётнов В.П. Особенности выращивания сеянцев лиственницы сибирской в закрытом грунте // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. трудов. Брянск: БГИТУ, 2017. Вып. 49. С. 111–117.

25. Опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в Алтайском крае / Е.М. Ананьев, С.В. Залесов, Н.А. Луганский, Д.А. Шубин, А.Е. Осипенко // Аграрный вестник Урала. 2017. № 8 (162). С. 4–9.

26. <https://www.mlh.by/lioh/2015-6/4.pdf>. Текст: электронный. BCC. Plant the planet. URL: <https://www.bccab.com/ru/2021/06/15/latvias-state-forests-started-their-new-nursery-in-mezvidi/> Текст: электронный.

27. Лесной селекционно-семеноводческий центр Республики Татарстан. URL: <https://lssc-rt.ru/poleznaya-informaciya/tehnologiya-vyraschivaniya-seyancev-s-zks>. Текст: электронный.

REFERENCES

1. Rules for reforestation. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554151577>. Text: electronic.
2. Zalesov S.V. Increasing the productivity of pine forests in the Urals / S.V. Zalesov, N.A. Lugansk. – Yekaterinburg: Ural. state forest engineering un-t, 2002. 331 p. Text: immediate.

3. Zalesov S.V. Growth and productivity of pine forests of artificial and natural origin / S.V. Zalesov, A.N. Lobanov, N.A. Lugansk. Yekaterinburg: Ural. state forest engineering un-t, 2002. 112 p.
4. Zalesov S.V. Artificial afforestation around the city of Astana. / S.V. Zalesov, B.O. Azbaev, A.V. Dancheva, A.N. Rakhimzhanov, M.R. Razhanov, Zh.O. Suyundikov // Modern problems of science and education. 2014a. No. 4. URL: www.science-education.ru/118-13438.
5. Zalesov S.V. The productivity of artificial birch plantations in the green zone of the city of Astana / S.V. Zalesov, L.A. Belov, A.V. Dancheva, B.M. Mukanov, A.S. Opletaev, Zh.O. Suyundikov // Bulletin of Agricultural Sciences of Kazakhstan. No. 9. S. 53–60.
6. Zalesov S.V. Growth of larch stands on former arable land / S.V. Zalesov, E.V. Yurovskikh, L.A. Belov, A.G. Magasumova, A.S. Opletaev // Agrarian Bulletin of the Urals. 2015a. No. 5 (135). S. 50–54.
7. Zalesov S.V. Productivity of artificial plantations in the northern forest-steppe forest-vegetation district of the Sverdlovsk region / S.V. Zalesov, A.S. Opletaev, E.S. Zalesova, N.P. Bunkova // Bulletin of the Altai State Agrarian University. No. 11 (133). S. 65–70.
8. Osipenko, A.E. Stock of artificial pine stands in arid conditions / A.E. Osipenko, S.V. Zalesov // Modern problems of science and education. 2015. No. 1. URL: www.science-education.ru/121-18520.
9. Gof A.A. The effectiveness of the creation of forest plantations of Scots pine seedlings with a closed root system in the belt pine forests of Altai / Ekaterinburg, 2020. 169 p. <https://www.dissercat.com/content/effektivnost-sozdaniya-lesnykh-kultur-sosny-obyknovennoi-seyantsami-s-zakrytoi-kornevoi-sist>
10. Melekhov I.S. Problems of modern forestry / I.S. Melekhov. M., 1969. 46 p.
11. Pobedinsky A.V. Increasing the productivity of forests by forestry measures / A.V. Pobedinsky // Increasing the productivity of forests by silvicultural methods. M., 1977. S. 3–24.
12. Pobedinsky A.V. Increasing the productivity of forests by forestry methods / A.V. Pobedinsky // Problems of increasing the productivity of forests and the transition to continuous rational forest management. Arkhangelsk, 1983. S. 14–15.
13. Lugansky N.A. Increasing the productivity of forests. / N.A. Lugansky, S.V. Zalesov, V.A. Shavrovsky. Yekaterinburg: Ural. forest engineering in-t, 1995. 297 p.
14. Zalesov S.V. Scientific substantiation of the system of forestry measures to increase the productivity of pine forests of the Urals: dis. ... Dr. S.-x. sciences (06.03.03 – Forest science and forestry; forest fires and fighting them). Yekaterinburg, 2000. 435 p.
15. Rodin S.A. Issues of reforestation and afforestation / S.A. Rodin // Problems of forest reproduction in the Russian Federation. Pushkino: VNIILM, 2015. S. 200–206.
16. Babich N.A. Variability and relationship of growth in diameter and height in pine cultures / N.A. Babich, V.P. Prokhorov, P.A. Feklistov // Forestry, forest crops and soil science. L., 1982. Issue. 11. S. 81–85.
17. Ogievsky V.V. Forest cultures. Artificial reforestation in clearings / V.V. Ogievsky, A.A. Medvedev. Bryansk, 1989. 72 p.
18. Merzlenko M.D. Types and density of forest crops / M.D. Merzlenko. M., 1992. 60 p.
19. Danilik V.N. Recommendations for reforestation and afforestation in the Urals / V.N. Danilik, R.P. Isaeva, G.G. Terekhov, I.A. Freiberg, S.V. Zalesov, V.N. Lugansky, N.A. Lugansk. Yekaterinburg: Ural. state forest-technical acad., 2001. 117 p.
20. Rtishchev S.Ya. Silvicultural assessment of methods of reforestation in burnt areas. / S.Ya. Rtishchev, A.A. Malenko // The current state of forestry and landscaping in the Republic of Kazakhstan: problems, ways to solve them and prospects. Almaty: NPTsLH, 2007. S. 346–349.
21. Malenko A.A. Growth and productivity of artificial plantations in the ribbon forests of Western Siberia: Abstract of the thesis. dis. ... Dr. S.-x. Sciences. Yekaterinburg, 2012. 40 p.
22. Gabeev V.N. Ecology and productivity of pine forests / V.N. Gabeev. Novosibirsk, 1990. 228 p.
23. The use of synthetic foams in forestry / Ed. HELL. Bukshtynov. M.: Timber industry, 1979. 176 p.
24. Luginina L.I. Peculiarities of growing seedlings of Siberian larch (*Larix laricina* L.) in closed ground. / L.I. Luginina, V.P. Besschetnov // Actual problems of the forest complex: Sat. scientific works. – Bryansk: BGITU, 2017. Issue. 49. S. 111–117.
25. Ananiev E.M. Experience in growing planting material with a closed root system in the Altai Territory / E.M. Ananiev, S.V. Zalesov, N.A. Lugansky, D.A. Shubin, A.E. Osipenko // Agrarian Bulletin of the Urals. 2017. No. 8 (162). S. 4–9.
26. <https://www.mlh.by/lioh/2015-6/4.pdf>. Text: electronic. BCC. Plant the planet. URL: <https://www.bccab.com/>.
27. Forest selection and seed-growing center of the Republic of Tatarstan. URL: <https://lssc-rt.ru/poleznaya-informaciya/tehnologiya-vyrashchivaniya-seyancev-s-zks> Text: electronic.

© Авдеева Е. В., Ровных Н. Л., Иванов Д. В.,
Сухенко Н. В., Кухар И. В., Калинин М. Д., 2022

ИЗМЕНЧИВОСТЬ И КОРРЕЛЯЦИЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЛОНОВ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ЛЕСОСЕМЕННОЙ ПЛАНТАЦИИ ВО ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. Н. Бессчетнова¹, В. П. Бессчетнов¹, А. В. Михалюк¹, А. Н. Горелов¹, А. Н. Орнатский²

¹Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия
Российская Федерация, 603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 97
E-mail: lesfak@bk.ru

²Департамент лесного хозяйства по Приволжскому федеральному округу
Российская Федерация, 603089, г. Нижний Новгород, ул. Полтавская, 22

Изучали таксационные показатели клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной на лесосеменной плантации в Ковровском районном лесничестве Владимирской области. Она заложена в 2020 г. двухлетними привитыми саженцами с закрытой корневой системой по схеме размещения 7×8 м с первоначальным числом посадочных мест 3352 шт., имеет общую площадь 22,3 га с плотностью 178,6 шт./га. Проектное количество плюсовых деревьев в ассортименте 50 единиц. Рельеф участка равнинный, тип лесорастительных условий соответствует категории А₂ с бедными слабогумусированными песчаными почвами. Он отнесен к району хвойно-широколиственных лесов (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации и входит в зону хвойно-широколиственных лесов. Лесорастительные условия региона вполне благоприятны для произрастания и семеношения сосны обыкновенной. Цель исследования – оценить изменчивость и корреляцию таксационных показателей клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной в составе лесосеменной плантации на территории Ковровского лесничества Владимирской области. Методологической основой исследований служили принципы единственного логического различия, типичности, пригодности, надежности и целесообразности опыта. Сбор лесоводственной информации осуществлен полевым стационарным методом при сплошном перечеке деревьев на ЛСП. Зафиксирована изменчивость таксационных показателей у вегетативного потомства плюсовых деревьев как на уровне различий между группами одноименных клонов, так и в пределах каждой из них. Отношение лимитов по высоте составило 3,53 с образованием диапазона в 43 см; по диаметру ствола у шейки корня – 4,00 с превышением на 12 мм; по объему видового цилиндра – 36,80 с разностью в 89,98 см³. Весьма высокая положительная связь зафиксирована между диаметром ствола у корневой шейки и площадью поперечного сечения ствола ($r \pm t_r = 0,988 \pm 0,007$; $t_r = 132,40$), а также между средним диаметром кроны и площадью её проекции ($r \pm t_r = 0,983 \pm 0,009$; $t_r = 111,22$). Регрессионный анализ дал сопоставимый результат.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, плюсовые деревья, клоны, лесосеменная плантация, изменчивость, корреляция, регрессия.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 4, P. 259–268

VARIABILITY AND CORRELATION OF TAXATION INDICATORS OF PLUS TREES OF SCOTS PINE ON A FOREST-SEED PLANTATION IN THE VLADIMIR REGION

N. N. Besschetnova¹, V. P. Besschetnov¹, A. V. Mikhalyuk¹, A. N. Gorelov¹, A. N. Ornatskiy²

Nizhny Novgorod state agricultural Academy
97, Gagarina Av., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation
E-mail: lesfak@bk.ru

²The Department of Forestry in the Volga Federal District
22, Poltavskaya str., Nizhny Novgorod, 603089, Russian Federation

We studied the taxation indicators of clones of plus trees of Scots pine on a forest-seed plantation in the Kovrovsky district forestry of the Vladimir region. It was laid in 2020 by two-year-old grafted seedlings with a closed root system according to the 7×8 m placement scheme with an initial number of 3352 seats, has a total area of 22.3 hectares with a density of 178.6 pcs./ha. The design number of plus trees in the assortment is 50 units. The terrain of the site is flat, the type of forest growing conditions corresponds to category A₂ with poor slightly humusized sandy soils. It belongs to the area of coniferous-broadleaf (mixed) forests of the European part of the Russian Federation and is included in the zone of coniferous-broadleaf forests. The forest growing conditions of the region are quite favorable for the growth and seed-bearing of scots pine. The purpose of the study is to evaluate the variability and correlation of the taxation indicators of the clones of plus-sized pine trees as part of a forest seed plantation on the territory of the Kovrov district forestry of the Vladimir region. The methodological basis of the research was the principles of the only logical

difference, typicality, suitability, reliability and expediency of experience. The collection of forestry information was carried out by a stationary field method with a continuous enumeration of trees on the LSP. The variability of taxation indicators in vegetative offspring of plus trees was recorded both at the level of differences between groups of clones of the same name, and within each of them. The ratio of the height limits was 3.53 with the formation of a range of 43 cm; the diameter of the trunk at the root neck was 4.00 with an excess of 12 mm; the volume of the view cylinder is 36.80 with a difference of 89.98 cm³. A very high positive relationship was recorded between the trunk diameter at the root neck and the trunk cross-sectional area ($r \pm m_r = 0.988 \pm 0.007$; $t_r = 132.40$), as well as between the average crown diameter and its projection area ($r \pm m_r = 0.983 \pm 0.009$; $t_r = 111.22$). Regression analysis gave a comparable result.

Keywords: Scots pine, plus trees, forest seed plantation, variability, correlation, regression.

ВВЕДЕНИЕ

Активизация искусственного лесоразведения в самом широком смысле этого слова, которая наблюдается у нас в стране в последние годы, в полной мере соответствует стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года. Она определила приоритеты не только в сфере хозяйственной деятельности, но и в плане научных исследований и предполагает мобилизацию имеющихся ресурсов отечественной лесосеменной базы и питомнического хозяйства. В этом документе заметное место отведено задачам селекционного совершенствования лесов, что в первую очередь относится к основным лесообразующим породам. В их числе важнейшую роль играет сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) [3–5; 22; 23]. Она широко распространена в Европе и Азии, где имеет разнообразные формы практического использования, перспективна в плантационном лесовыращивании и неизменно выступает объектом всестороннего изучения как у нас в стране [8; 11; 27], так и за её пределами [31; 32; 34; 36; 38; 43; 46; 47; 51]. Занимая обширный ареал на территории России, она имеет достаточно сложную внутривидовую структуру, в составе которой выделено 5 подвидов и ряд экотипов, имеющих четкую географическую приуроченность [22; 23]. При этом повсеместно признана актуальность многоплановой оценки и совершенствования селекционного потенциала её плюсовых деревьев [1–5; 6; 10; 40; 42; 44; 45; 48], которая может проводиться по широкому комплексу критериев и признаков, имеющих хозяйственное, адаптационное и идентификационное значение [14–16; 18; 24; 28; 32; 38; 46; 47]. В этой связи отчетливо обозначилась потребность в системном и последовательном расширении и модернизации постоянной лесосеменной базы, ядром которой традиционно выступают лесосеменные плантации (ЛСП) первого порядка. В последнее время они возникли в ряде субъектов Российской Федерации, в том числе во Владимирской области. Эффективность и надежность их функционирования во многом определяется широтой накопленного ассортимента плюсовых деревьев, генетическими ресурсами их вегетативного потомства [1–5; 7; 10; 25; 40; 42; 44; 45; 49]. В то же время территориально приуроченных сведений об особенностях их роста и перспективах достижения репродуктивной фазы своего онтогенетического развития в регионе пока еще не получено, не освещены взаимозависимости между важнейшими таксационными показателями.

Цель исследования – оценить изменчивость и корреляцию таксационных показателей клонов плюсовых

деревьев сосны обыкновенной в составе лесосеменной плантации на территории Ковровского лесничества Владимирской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования явились клоны плюсовых деревьев сосны обыкновенной, представленные в составе лесосеменной плантации, созданной в Красно-маяковском участковом лесничестве Ковровского лесничества Владимирской области в квартале № 10, в границах лесных выделов № 5, 6, 10, 11. Её общая площадь составляет 22,3 га, а продуцирующая площадь 18,9 га. Посадка двухлетних привитых саженцев с закрытой корневой системой проведена в 2020 г. по проектной схеме размещения 7×8 м с первоначальным числом посадочных мест 3352 шт., что дало плотность 178,6 шт./га. При этом обеспечивалась территориальная полнота и равномерность их распределения по поверхности. Проектное количество плюсовых деревьев (ортетов), введенных в ассортимент, составило 50 единиц. Каждое из них было представлено своими клонами (раметами), количество которых также определено проектно-плановой документацией. Рельеф участка, отведенного под ЛСП, равнинный, тип лесорастительных условий соответствует категории А₂ с бедными слабогумусированными песчаными почвами. Согласно официальному районированию, он отнесен к району хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации, который вошел в зону хвойно-широколиственных лесов. По лесосеменному районированию его территория включена во второй лесосеменной район сосны обыкновенной. Здесь сложился умеренно-континентальный климат с умеренно теплым и влажным летом и умеренно суровой снежной зимой. В целом лесорастительные условия региона вполне благоприятны для произрастания и семеношения аборигенных видов хвойных, к числу которых принадлежит и сосна обыкновенная.

Методологической основой исследований служили принципы единственного логического различия, типичности, пригодности, надежности и целесообразности опыта. Организационным моментом явилось выдвижение гипотез: 1) клоновые репродукции плюсовых деревьев сосны обыкновенной существенно различаются по таксационным показателям; 2) различия между плюсовыми деревьями обусловлены генотипически; 3) морфометрические параметры надземной части весьма чувствительны к влиянию факторов среды. Сбор первичной лесоводственной информации для их доказательства осуществлен полевым стацио-

нарным методом при сплошном перече́те деревьев на ЛСП. Их высота, а также диаметр кроны в двух направлениях измерялись мерной рейкой с точностью до 1 см; диаметр у шейки корня – электронным штангенциркулем (Electronic Digital Caliper-G06064731) с точностью до 0,1 мм. Наряду с параметрами непосредственного учета в проводимом анализе были задействованы производные признаки (индексы, коэффициенты, удельные и относительные величины), которые часто используют в биологических и лесоводственных исследованиях для получения значений параметров, недоступных для непосредственного биометрирования, например, индекс напряженности роста дерева как отношение его высоты к площади поперечного сечения ствола [7; 29; 33; 39]. С их по-

мощью удается адекватно описать пропорции и форму, дать оценку разнообразных качественных показателей в количественном выражении [29; 30; 33; 39], в том числе у сосны обыкновенной [2–5]. Предмет исследований – генотипически обусловленное несходство, корреляция и регрессия плюсовых деревьев сосны обыкновенной по комплексу признаков, имеющих хозяйственное значение. Статистическая обработка опытных данных осуществлялась согласно общепринятым методическим схемам [9; 13; 17; 19–21; 49; 50]. Для установления уровня изменчивости признаков применяли шкалу С.А. Мамаева [14]. Тесноту связи выражали в качественных оценках по шкале Р. Е. Чеддока [12; 37], которая успешно применяется и в лесном хозяйстве [35].

Таблица 1
Изменчивость морфометрических показателей плюсовых деревьев сосны^{1,2}

Признаки	Статистики					
	M± m	СКО	max.	min.	Δ_{lim}	Cv, %
Признак 1	36,80±0,48	10,02	60,00	17,00	43,00	27,23
Признак 2	9,55±0,11	2,33	16,00	4,00	12,00	24,44
Признак 3	75,95±1,69	35,09	201,06	12,57	188,50	46,20
Признак 4	0,28±0,01	0,11	0,67	0,09	0,57	37,80
Признак 5	0,63±0,02	0,43	3,18	0,14	3,05	68,64
Признак 6	4,09±0,07	1,54	10,60	1,50	9,10	37,75
Признак 7	28,36±0,77	16,06	92,49	2,51	89,98	56,65
Признак 8	9,45±0,26	5,35	30,83	0,84	29,99	56,65
Признак 9	21,11±0,30	6,18	36,00	10,00	26,00	29,29
Признак 10	19,61±0,32	6,58	40,00	6,00	34,00	33,54
Признак 11	20,36±0,026	5,38	35,50	8,50	27,00	26,43
Признак 12	1,17±0,02	0,45	2,86	0,43	2,43	38,74
Признак 13	348,19±8,42	174,67	989,80	56,75	933,05	50,17

¹Обозначения: М – среднее; ± m – абсолютная ошибка; СКО – стандартное отклонение; max. – максимальное значение; min. – минимальное значение; Δ_{lim} – размах изменчивости; Cv – коэффициент вариации.

²Признаки: 1 – высота дерева, см; 2 – диаметр ствола у шейки корня, мм; 3 – площадь поперечного сечения ствола у шейки корня, мм²; 4 – сбе́г ствола, мм/см; 5 – индекс напряженности роста дерева, см/мм²; 6 – отношение высоты к диаметру, см/мм; 7 – объем видового цилиндра, см³; 8 – объем конуса, построенного на плоскости поперечного сечения ствола у шейки корня, см³; 9 – диаметр кроны в направлении С-Ю, см; 10 – диаметр кроны в направлении В-З, см; 11 – средний диаметр кроны, см; 12 – коэффициент асимметрии кроны; 13 – площадь проекции кроны, см².

Таблица 2
Корреляция морфометрических показателей плюсовых деревьев сосны обыкновенной^{1,2}

Критерий	Признаки								
	Пр-1	Пр-2	Пр-3	Пр-4	Пр-5	Пр-6	Пр-7	Пр-8	Пр-9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Признак 1 – высота дерева (Пр-1)									
<i>r</i>	1,000	0,126	0,117	–0,690	0,292	0,556	0,077	–0,051	0,069
$\pm mr$	0,000	0,048	0,048	0,035	0,046	0,040	0,048	0,048	0,048
<i>tr</i>	999(9)	2,62	2,43	19,73	6,31	13,85	1,60	1,05	1,43
Признак 2 – диаметр ствола у корневой шейки (Пр-2)									
<i>r</i>	0,126	1,000	0,988	0,561	–0,776	0,846	0,176	–0,027	0,151
$\pm mr$	0,048	0,000	0,007	0,040	0,031	0,026	0,048	0,048	0,048
<i>tr</i>	2,6	9999,00	132,40	14,02	25,42	32,85	3,71	0,55	3,17
Признак 3 – площадь поперечного сечения ствола у корневой шейки (Пр-3)									
<i>r</i>	0,117	0,988	1,000	0,556	–0,714	0,860	0,168	–0,029	0,147
$\pm mr$	0,048	0,007	0,000	0,040	0,034	0,025	0,048	0,048	0,048
<i>tr</i>	2,4	132,40	9999,00	13,83	21,08	34,81	3,54	0,61	3,07
Признак 4 – сбе́га ствола (Пр-4)									
<i>r</i>	–0,690	0,561	0,556	1,000	–0,704	0,083	0,065	0,030	0,041
$\pm mr$	0,035	0,040	0,040	0,000	0,034	0,048	0,048	0,048	0,048
<i>tr</i>	19,7	14,02	13,83	9999,00	20,50	1,71	1,34	0,62	0,85

Окончание таблицы 2

Критерий	Признаки								
	Пр-1	Пр-2	Пр-3	Пр-4	Пр-5	Пр-6	Пр-7	Пр-8	Пр-9
Признак 5 – индекс напряженности роста дерева (Пр-5)									
<i>r</i>	0,292	-0,776	-0,714	-0,704	1,000	-0,465	-0,114	0,009	-0,101
$\pm mr$	0,046	0,031	0,034	0,034	0,000	0,043	0,048	0,048	0,048
<i>tr</i>	6,3	25,42	21,08	20,50	9999,00	10,88	2,37	0,18	2,10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Признак 6 – видовой цилиндр (Пр-6)									
<i>r</i>	0,556	0,846	0,860	0,083	-0,465	1,000	0,168	-0,074	0,158
$\pm mr$	0,040	0,026	0,025	0,048	0,043	0,000	0,048	0,048	0,048
<i>tr</i>	13,8	32,85	34,81	1,71	10,88	9999,00	3,53	1,54	3,31
Признак 7 – средний диаметр кроны (Пр-7)									
<i>r</i>	0,077	0,176	0,168	0,065	-0,114	0,168	1,000	-0,176	0,983
$\pm mr$	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,000	0,048	0,009
<i>tr</i>	1,6	3,71	3,54	1,34	2,37	3,53	9999,00	3,70	111,22
Признак 8 – коэффициент асимметрии кроны (Пр-8)									
<i>r</i>	-0,051	-0,027	-0,029	0,030	0,009	-0,074	-0,176	1,000	-0,173
$\pm mr$	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,000	0,048
<i>tr</i>	1,0	0,55	0,61	0,62	0,18	1,54	3,70	9999,00	3,63
Признак 9 – площадь проекции кроны (Пр-9)									
<i>r</i>	0,069	0,151	0,147	0,041	-0,101	0,158	0,983	-0,173	1,000
$\pm mr$	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,009	0,048	0,000
<i>tr</i>	1,4	3,17	3,07	0,85	2,10	3,31	111,22	3,63	9999,00

¹Обозначения показателей: *r* – парный коэффициент корреляции Пирсона; $\pm mr$ – ошибка коэффициента корреляции; *tr* – критерий достоверности коэффициента корреляции.

²Признаки: 1 – высота дерева; 2 – диаметр ствола у шейки корня; 3 – площадь поперечного сечения ствола у шейки корня; 4 – сбеж ствола; 5 – индекс напряженности роста дерева; 6 – объем видовой цилиндра; 7 – средний диаметр кроны; 8 – коэффициент асимметрии кроны; 9 – площадь проекции кроны.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменчивость таксационных и морфометрических показателей, имеющих важное хозяйственное значение, вызывает повышенный интерес у исследователей. Вегетативные потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной, сосредоточенные на рассматриваемой лесосеменной плантации, в ювенильной фазе онтогенеза весьма неоднородны по своим морфометрическим характеристикам, что наблюдалось как на уровне различий между группами одноименных клонов, так и в пределах каждой из них (табл. 1).

При этом, как правило, изменчивость, выраженная в абсолютных величинах и размерности, принятой для того или иного признака, достаточно велика. Соотношение лимитов достигало величин: по высоте дерева (признак 1) 3,53 раза с образованием диапазона значений в 43 см; по диаметру ствола у шейки корня (признак 2) в 4,00 раза или на 12 мм; по объему видовой цилиндра (признак 7) в 36,80 раза или на 89,98 см³. Сопоставление диапазона лимитов с величиной среднего арифметического в большинстве случаев показало значительное превышение первого над вторым: по высоте дерева (признак 1) на 6,20 см или в 1,17 раза; по диаметру ствола у шейки корня (признак 2) на 2,45 мм или в 1,26 раза; по объему видовой цилиндра (признак 7) на 61,62 см³ или в 3,17 раза. В оценках по коэффициенту вариации (*Cv*, %) изменчивость столь же неодинакова. Наиболее стабильным показателем оказался диаметр ствола у шейки корня (признак 2), чьи оценки (*Cv* = 24,44 %) соответствовали среднему уровню по шкале Мамаева. Ряд признаков, такие как высота дерева (признак 1), диаметр

кроны в направлении С-Ю (признак 9), диаметр кроны в направлении В-З (признак 10), средний диаметр кроны (признак 11), варьировали на повышенном уровне, показав оценки коэффициента вариации, равные 27,23%, 29,29 %, 33,54 %, 26,43 % соответственно. Другие – имели значения, соответствующие высокому уровню: площадь поперечного сечения ствола у шейки корня (признак 3); сбеж ствола (признак 4); отношение высоты к диаметру (признак 6); коэффициент асимметрии кроны (признак 12). Их коэффициенты вариации принимали значения 46,20 %, 37,80 %, 37,75 %, 38,74 % соответственно. Остальные таксационные характеристики (признаки 5, 7, 8, 13) обладали очень высоким уровнем изменчивости по шкале Мамаева. Поскольку зафиксированные фенотипические различия между плюсовыми деревьями проявились в границах одного участка на выровненном экологическом фоне при одинаковых лесорастительных условиях и общих схемах проводимых агротехнических и лесоводственных уходов, то возникают основания признать наследственный характер установленной изменчивости.

Выявлен неодинаковый характер взаимозависимости между морфометрическими показателями. Оценки тесноты связи между наиболее информативными признаками ствола плюсовых деревьев представлены в табл. 2.

Анализ корреляций обозначил неоднородную картину связей между рассматриваемыми морфометрическими показателями (см. табл. 2). Весьма высокая в оценках по шкале Чеддока положительная по знаку и достоверная связь зафиксирована между диаметром

ствола у корневой шейки (признак 2) и площадью поперечного сечения ствола у корневой шейки (признак 3): $r \pm m_r = 0,988 \pm 0,007$ при $t_r = 132,40$, а также между средним диаметром кроны (признак 7) и площадью проекции кроны (признак 9): $r \pm m_r = 0,983 \pm 0,009$ при $t_r = 111,22$. Высокая по силе и отрицательная по знаку связь зафиксирована между диаметром ствола у корневой шейки (признак 2) и индексом напряженности роста дерева (признак 5): $r \pm m_r = -0,776 \pm 0,031$ при $t_r = 25,42$. В то же время, корреляция между диаметром ствола у корневой шейки (признак 2) и видовым цилиндром (признак 6), проявившись на том же уровне шкалы Чеддока, имела положительное значение: $r \pm m_r = 0,846 \pm 0,026$ при $t_r = 32,85$. Той же направленности и аналогичной величины связи с вышеуказанными признаками (признаки 5 и 6) имела площадь поперечного сечения ствола у корневой шейки (признак 3): $r \pm m_r = -0,714 \pm 0,034$ при $t_r = 21,08$ и $r \pm m_r = 0,860 \pm 0,025$ при $t_r = 34,81$ соответственно. Кроме того, индекс напряженности роста дерева (признак 5) столь же тесно связан еще и со сбегом ствола (признак 4): $r \pm m_r = -0,704 \pm 0,034$ при $t_r = 20,50$. Ряд признаков демонстрировал корреляции, соответствовавшие по величине заметной силе связи по шкале Чеддока, например: высота дерева (признак 1) со сбегом ствола (признак 4): $r \pm m_r = -0,690 \pm 0,035$ при $t_r = 19,73$ и с видовым цилиндром (признак 6): $r \pm m_r = 0,556 \pm 0,040$ при $t_r = 13,85$.

Проявилась хорошо заметная индифферентность коэффициента асимметрии кроны (признак 8) в отношении других таксационных показателей. Достоверные оценки, которые по направленности были отрицательными, а по силе связи – слабыми, получены только во взаимодействии с видовым цилиндром (признак 6) и с площадью проекции кроны (признак 9): $r \pm m_r = -0,176 \pm 0,048$ при $t_r = 3,70$ и $r \pm m_r = -0,173 \pm 0,048$ при $t_r = 3,63$, соответственно. В остальных случаях значения меньше и недостоверны. Чаще коэффициенты корреляции были достоверны, что обусловлено достаточным числом наблюдений и учетов при существующем уровне дисперсии представленных таксационных показателей. Это подтверждено соответствующими величинами ошибок коэффициента корреляции ($\pm m_r$) и критериев достоверности Стьюдента (t_r), представленными в табл. 2. Минимально допустимое значение последних для принятого в опыте числа степеней свободы 98 на 5-процентном уровне значимости составляет 1,98. В вариантах, в которых теснота связи невелика, коэффициенты корреляции имеют минимальные значения и утрачивают статистическую достоверность.

Линейные уравнения вида $y = ax + b$, полученные в процессе регрессионного анализа, в целом, адекватно описывают зависимость изменений того или иного морфометрического показателя от проявления варьирования других (табл. 3).

Таблица 3

Регрессионная зависимость морфометрических показателей плюсовых деревьев¹

Признаки	Уравнения	R ²	t-статистика коэффициентов		Критерий Фишера	
			a	b	F _{оп}	F ₀₅
Признак 1 – высота дерева						
Признак-2	y = 0,539x + 31,644	0,0158	15,636	2,620	6,864	0,00911
Признак-3	y = 0,033x + 34,264	0,0136	2,432	29,883	5,913	0,01544
Признак-4	y = -65,462x + 55,088	0,4762	-19,728	55,580	389,182	4,4E-62
Признак-5	y = 6,802x + 32,539	0,0850	6,306	39,763	389,182	7,1E-10
Признак-6	y = 1,150x + 19,839	0,4082	17,183	18,812	295,272	1E-50
Признак-7	y = 0,347x + 26,958	0,3094	13,847	33,026	191,737	2,7E-36
Признак-8	y = 1,041x + 26,958	0,3094	13,847	33,026	191,737	2,7E-36
Признак-9	y = 0,054x + 35,651	0,0011	0,693	20,708	0,480	0,48885
Признак-10	y = 0,144x + 33,962	0,0090	1,971	22,406	3,885	0,04936
Признак-11	y = 0,144x + 33,868	0,0060	1,602	17,922	2,567	0,10985
Признак-12	y = -1,121x + 38,105	0,0026	-1,049	28,462	1,101	0,2947
Признак-13	y = 0,004x + 35,421	0,0011	1,427	32,880	2,036	0,15434
Признак 2 – диаметр ствола у шейки корня						
Признак-1	y = 0,029x + 8,476	0,0158	19,894	2,620	6,864	0,00911
Признак-3	y = 0,065x + 5,561	0,9762	132,399	109,815	17529,528	0
Признак-4	y = 12,398x + 6,089	0,3146	14,017	23,047	196,465	5,3E-37
Признак-5	y = -4,216x + 12,192	0,6016	-25,421	96,893	196,465	1,5E-87
Признак-6	y = -0,942x + 13,403	0,3875	-16,454	53,607	270,727	1,7E-47
Признак-7	y = 0,123x + 6,066	0,7161	32,854	49,741	1079,380	4E-119
Признак-8	y = 0,369x + 6,066	0,7161	32,854	49,741	1079,380	4E-119
Признак-9	y = 0,058x + 8,333	0,0235	3,207	21,008	10,282	0,00144
Признак-10	y = 0,051x + 8,547	0,0209	3,024	24,345	9,147	0,00264
Признак-11	y = 0,077x + 7,995	0,0311	3,709	18,390	13,754	0,00024
Признак-12	y = -0,137x + 9,713	0,0007	-0,549	31,107	0,301	0,58344
Признак-13	y = 0,002x + 8,849	0,0235	3,166	35,580	10,022	0,00166

¹В табл. 3 использованы сокращения и обозначения признаков, как в табл. 1.

Так, зависимость высоты растений от особенностей формирования их других характеристик наиболее надежно описывалась в случае сопоставления со сбегом ствола (признак 4): $y = -65,462x + 55,088$ ($R^2 = 0,4762$) и с отношением высоты к диаметру (признак 4): $y = 1,150x + 19,839$ ($R^2 = 0,4082$). Более надежными в статистическом плане оказались варианты сопоставления диаметра у корневой шейки (признак 2) с площадью поперечного сечения на том же уровне (признак 3) $y = 0,065x + 5,561$ ($R^2 = 0,9762$), а также с индексом напряженности роста дерева (признак 5) $y = -4,216x + 12,192$ ($R^2 = 0,6016$), объемом видového цилиндра (признак 7) $y = 0,123x + 6,066$ ($R^2 = 0,7161$) и с объемом конуса, построенного на плоскости поперечного сечения ствола у шейки корня (признак 8) $y = 0,369x + 6,066$ ($R^2 = 0,7161$). Связь в большинстве случаев (за исключением признака 5) положительная, что обусловлено возрастанием значений производных признаков по мере увеличения участвующих в их формировании диаметра (см. табл. 3). При высоком показателе достоверности аппроксимации ($R^2 = 0,9262$) во взаимозависимости диаметра и площади поперечного сечения ствола статистически надежными оказались и коэффициенты уравнения: соответствующие им t -статистики ($t_a = 132,399$; $t_b = 109,815$) в разы превысили табличное значение критерия Стьюдента как на 5-процентном ($t_{05} = 1,97$), так и на 1-процентном ($t_{01} = 2,59$) уровне значимости при заданном числе степеней свободы. Фактический критерий Фишера ($F_{\text{оп}} = 17529,528$), оценивший отношение дисперсий, задействованных в данном регрессионном анализе, также был принципиально больше минимально допустимых пределов. То же можно сказать в отношении других вышеуказанных признаков. По величине и направленности регрессионная зависимость соответствует установленной корреляции между теми же характеристиками (см. табл. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Плюсовые деревья сосны обыкновенной на лесосеменной плантации в Ковровском лесничестве Владимирской области, представленные вегетативными потомствами в ювенильной фазе онтогенеза, заметно различались между собой по основным таксационным показателям: высоте ствола, диаметру у шейки корня, сбегу, а также по отношению высоты ствола к площади его поперечного сечения, которое выступает показателем напряженности роста деревьев. Зафиксированные фенотипические различия между плюсовыми деревьями проявились в границах одного участка на выровненном экологическом фоне при одинаковых лесорастительных условиях и общих схемах проводимых агротехнических и лесоводственных уходов, что указывает на наследственный характер установленной изменчивости. Таксационные показатели вегетативного потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной характеризуются корреляционной взаимозависимостью, проявившейся на разном уровне и получившей подтверждение адекватными результатами регрессионного анализа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Белоус В.И. О необходимости оценки наследственных свойств семян с лесосеменных плантаций // Лесное хозяйство. 1990. № 3. С. 44–46.
2. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Селекционная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной методами многомерного анализа // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2012. № 2/326. С. 58–64.
3. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Морфометрия и физиология хвои плюсовых деревьев. Нижний Новгород : Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. 368 с.
4. Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Репродуктивный потенциал плюсовых деревьев. Нижний Новгород : Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. 586 с.
5. Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Эффективность отбора плюсовых деревьев. Нижний Новгород : Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. 382 с.
6. Видякин А.И. Эффективность плюсовой селекции древесных растений // Хвойные бореальной зоны. 2010. Вып. XXVII, № 1-2. С. 18–24.
7. Высоцкий К.К. Закономерности строения смешанных древостоев. М. : Гослесбумиздат, 1962. 178 с.
8. Данчева А.В., Панкратов В.К. Оценка эффективности рубок ухода в сухих сосняках Казахского мелкосопочника // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. № 2. С. 45–55. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-45-55.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (С основами статистической обработки результатов исследований). Издание пятое, дополненное и переработанное. Москва : Колос, 1985. 416 с.
10. Ефимов Ю.П. Семенные плантации в селекции и семеноводстве сосны обыкновенной. Воронеж : Истоки, 2010. 253 с.
11. Зарубина Л.В., Р.С. Хамитов Сезонный рост сосны обыкновенной на заболоченных почвах Севера // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. № 3. С. 86–100. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-86-100.
12. Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Зубенкова Э.С., Калинина М.В., Бирюков А.П., Ласточкина Е.М., Молодцова Д.В., Вайнсон А.А. Сила связи. Сообщение 2. Градации величины корреляции // Медицинская радиология и радиационная безопасность: Радиационная биология. 2019. Том 64. № 6. С. 12–24. DOI: 10.12737/1024-6177-2019-64-6-12-24.
13. Лакин Г.Ф. Биометрия: Учебное пособие для биологических специальностей вузов. 3-е издание, переработанное и дополненное. Москва : Высшая школа, 1980. 293 с.
14. Мамаев С.А. О проблемах и методах внутривидовой систематики древесных растений. II. Амплитуда изменчивости // Закономерности формообразования и дифференциации вида у древесных растений: Труды Института экологии растений и животных. Свердловск, 1969. С. 3–38.

15. Наквасина Е.Н. Изменения в генеративной сфере сосны обыкновенной при имитации потепления климата // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2014. Вып. 209. С. 114–125.
16. Неронова Я.А. Микроструктура древесины культур сосны различной исходной густоты на осушенной торфяной почве после применения удобрений и гербицидов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 4. С. 68–76. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-68-76.
17. Никитин К.Е., Швиденко А.З. Методы и техника обработки лесоводственной информации. Москва : Лесная промышленность, 1978. 272 с.
18. Новосёлов А.С. Смолопродуктивность сосны на объекте гидротехнической мелиорации после несплошной заготовки древесины // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 2. С. 67–77. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.67.
19. Плохинский Н.А. Биометрия. Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1961. 364 с.
20. Плохинский Н. А. Наследуемость. Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1964. 195 с.
21. Плохинский Н.А. Алгоритмы биометрии. Москва : Издательство Московского университета, 1967. 82 с.
22. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. Москва : Наука, 1964. 190 с.
23. Правдин Л.Ф. Направление и содержание работ по изучению природного разнообразия древесных пород и их значение для лесной селекции // Лесоведение. 1967. № 3. С. 3–16.
24. Раевский Б.В. Особенности вегетативного роста клонов сосны обыкновенной в Карелии // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2013. № 4. С. 7–15.
25. Смирнов С.Д. Опыт создания постоянной лесосеменной базы М. : Лесная пром-сть, 1977. 80 с.
26. Снедекор Дж. У. Статистические методы в применении исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. Перевод с английского. Москва : Издательство сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов, 1961. 503 с.
27. Сунгурова Н.Р., А.А. Дрочкова Биометрические характеристики посадочного материала как тест-показатель успешности культур *Pinus sylvestris* L. // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. № 4. С. 107–116. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-107-116.
28. Тюкавина О.Н. Плотность древесины сосны в осушаемых сосняках кустарничково-сфагновых // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 2. С. 73–80. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-2-73-80.
29. Улитин М.М., В.П. Бессчетнов Сравнительная оценка таксационных показателей лесных культур лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) при интродукции в Нижегородской области // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 6. С. 33–41. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-33-41.
30. Al Afas N. Marrona N., Ceulemans R. Variability in *Populus* leaf anatomy and morphology in relation to canopy position, biomass production, and varietal taxon. *Annals of Forest Science*. 2007, vol. 64, no. 4, pp. 521–532. DOI: 10.1051/forest:2007029.
31. Andersone U., Vinsh G. Changes of morphogenic competence in mature *Pinus sylvestris* L. Buds *in vitro*. *Annals of Botany*. 2002, vol. 90, is. 2, pp. 293–298. DOI: 10.1093/aob/mcf176.
32. Androsiuk P., Zielinski R., Polok K. B-SAP markers derived from the bacterial KatG gene differentiate populations of *Pinus sylvestris* and provide new insights into their postglacial history. *Silva Fennica*. 2011, vol. 45, no. 1, pp. 3–18. DOI: 10.14214/sf.29.
33. Benomar L., Lamhamedi M.S., Villeneuve I., Rainville A., Beaulieu J., Bousquet J., Margolis H.A. Fine-scale geographic variation in photosynthetic-related traits of *Picea glauca* seedlings indicates local adaptation to climate. *Tree Physiology*. 2015, vol. 35, issue 8, pp. 864–878. DOI: 10.1093/treephys/tpv054.
34. Bohne, G., Woehlecke H., Ehwald R. Water relations of the pine exine. *Annals of Botany*. 2005, vol. 96, is. 2, pp. 201–208. DOI: 10.1093/aob/mci169.
35. Bruce D., Reineke L.H. Correlation alignment charts in forest research. A method of solving problems in curvilinear multiple correlation. USA Department of Agriculture, Washington. Technical Bulletin № 210. February 1931. 88 p. [URL: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT86200204/PDF>].
36. Castro J. Short delay in timing of emergence determines establishment success in *Pinus sylvestris* across microhabitats // *Annals of Botany*. 2006. Vol. 98, Is. 6. Pp. 1233–1240. DOI: 10.1093/aob/mcl208.
37. Chaddock R.E. Principles and methods of statistics. Boston, New York: Houghton Mifflin Company. 1925. 471 p. [URL: https://openlibrary.org/works/OL7141582W/Principles_and_methods_of_statistics].
38. Fries A., Ericsson T. Genetic parameters for earlywood and latewood densities and development with increasing age in Scots pine. *Annals of Forest Science*. 2009, vol. 66, no. 4, article no. 404, 8 p. DOI: 10.1051/forest/2009019.
39. Gornall J.L., Guy R.D. Geographic variation in ecophysiological traits of black cottonwood (*Populus trichocarpa*). *Canadian Journal of Botany*. 2007, vol. 85, no. 12, pp. 1202–1213. DOI: 10.1139/B07-079.
40. Hallingbäck H.R., Jansson G., Hannrup B., Fries A. Which annual rings to assess grain angles in breeding of Scots pine for improved shape stability of sawn timber? *Silva Fennica*. 2010, vol. 44, no. 2, pp. 275–288. DOI: 10.14214/sf.154.
41. Krakau U-K., Liesebach M., Aronen T., Lelu-Walter M.A., V. Schneck Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Forest Tree Breeding in Europe: Current State-of-the-Art and Perspectives*. Managing Forest Ecosystems. Vol. 25, chapter 4. Dordrecht, Heidelberg, New-York, London: Springer Science+Business Media, 2013, pp. 267–323. DOI 10.1007/978-94-007-6146-9_6.
42. Kroon J., Wennström U., Prescher F., Lindgren D., Mullin T.J. Estimation of clonal variation in seed cone production over time in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seed orchard. *Silvae Genetica*. 2009, vol. 58, is. 1–2, pp. 53–62. DOI: 10.1515/sg-2009-0007.

43. Leinonen I., Repo T., Hänninen H. Changing environmental effects on frost hardiness of Scots pine during dehardening. *Annals of Botany*. 1997, vol. 79, is. 2, pp. 133–137. DOI: 10.1006/anbo.1996.0321.

44. Lindgren D., Prescher F. Optimal clone number for seed orchards with tested clones. *Silvae Genetica*. 2005, vol. 54, is. 2, pp. 80–92. DOI: 10.1515/sg-2005-0013.

45. Marčiulynas A., Sirgedaitė-Šežienė V., Žemaitis P., Jansons Ā., Baliuckas V. Resistance of Scots pine half-sib families to *Heterobasidion annosum* in progeny field trials. *Silva Fennica*. 2020, vol. 54, no. 4, Article ID 10276, 17 p. DOI: 10.14214/sf.10276.

46. Peltola H., Gort J., Pulkkinen P., Gerendia A.Z., Karpinen J., Ikonen V.-P. Differences in growth and wood density traits in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) genetic entries grown at different spacing and sites. *Silva Fennica*. 2009, vol. 43, no. 3, pp. 339–354. DOI: 10.14214/sf.193.

47. Salminen H., Jalkanen R., Lindholm M. Summer temperature affects the ratio of radial and height growth of Scots pine in northern Finland. *Annals of Forest Science*. 2009, vol. 66, no. 8, Article Number 810, 9 p. DOI: 10.1051/forest/2009074.

48. Vanek O., Procházková Z., Matějka K. Analysis of the genetic structure of a model Scots pine (*Pinus sylvestris*) seed orchard for development of management strategies / O. Vanek, // *Journal of forest sciences*. – 2013. Vol. 59, No. 10. Pp. 377–387. DOI: 10.17221/39/2013-JFS.

49. Srinagesh K. The Principles of Experimental Research. Waltham, Massachusetts (United States): Butterworth-Heinemann, 2005. 432 p.

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

51. Zerbe S., Wirth P. Non-indigenous plant species and their ecological range in Central European pine (*Pinus sylvestris* L.) forests. *Annals of Forest Science*. 2006, vol. 63, no. 2, pp. 189–203. DOI: 10.1051/forest:2005111.

REFERENCES

1. Belous V.I. O neobходимosti ocenki nasledstvennykh svoystv semjan s lesosennymi plantacij. *Lesnoe hozjajstvo*. 1990, no. 3, pp. 44–46. (In Russ.).

2. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. Seleksionnaya otsenka plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy metodami mnogomernogo analiza. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2012, no. 2/326, pp. 58–64. (In Russ.).

3. Besschetnova N.N. Besschetnov V.P. Sosna obyknovennaya (*Pinus sylvestris* L.). Morfometriya i fiziologiya khvoi plyusovykh derev'ev. Nizhniy Novgorod, 2014, 368 p. (In Russ.).

4. Besschetnova N.N. Sosna obyknovennaya (*Pinus sylvestris* L.). Reprodukivnyy potentsial plyusovykh derev'ev. Nizhniy Novgorod, 2015, 586 p. (In Russ.).

5. Besschetnova N.N. Sosna obyknovennaya (*Pinus sylvestris* L.). Effektivnost' otbora plyusovykh derev'ev. Nizhniy Novgorod, 2016, 382 p. (In Russ.).

6. Vidjakin, A.I. Effektivnost' pljusovoy selekcii drevesnykh rasteniy // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2010, Vyp. XXVII, no. 1–2, pp. 18–24. (In Russ.).

7. Vysotsky, K.K. Regularities of the structure of mixed stands. Moskva: Goslesbumizdat, 1962. 178 p. (In Russ.).

8. Dancheva A.V., Pankratov V.K. Ocenka jeffektivnosti rubok uhoda v suhih sosnjakh Kazahskogo melkosopochnika // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2021, no. 2, pp. 45–55. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-45-55 (In Russ.).

9. Dosphehov B.A. Metodika polevogo opyta (S osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy). Izdanie pjatoe, dopolnennoe i pererabotannoe. Moskva, 1985, 416 p. (In Russ.).

10. Efimov Ju.P. Semennye plantacii v selekcii i semenovodstve sosny obyknovnoy. Voronezh, 2010, 253 p. (In Russ.).

11. Zarubina L.V., Hamitov R.S. Sezonnyj rost sosny obyknovnoy na zabolochennykh pochvah Severa / L.V. Zarubina, // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2021, no. 3, pp. 86–100. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-86-100 (In Russ.).

12. Koterov A.N., Ushenkova L.N., Zubenkova E.S., Kalinina M.V., Biryukov A.P., Lastochkina E.M., Molodtsova D.V., Vainson A.A. The power of communication. Message 2. Gradations of the correlation value // *Medical Radiology and radiation Safety: Radiation Biology*. 2019. Volume 64. No. 6. pp. 12–24. DOI: 10.12737/1024-6177-2019-64-6-12-24 (In Russ.).

13. Lakin G.F. Biometrija. Uchebnoe posobie dlja biologicheskikh special'nostej vuzov. 3-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe. Moskva, 1980, 293 p. (In Russ.).

14. Mamaev S.A. On problems and methods of intraspecific systematics of woody plants. II. Amplitude of variability // Regularities of species formation and differentiation in woody plants: Proceedings of the Institute of Plant and Animal Ecology. Sverdlovsk, 1969. pp. 3–38. (In Russ.).

15. Nakvasina E.N. Izmenenija v generativnoj sfere sosny obyknovnoy pri imitacii poteplenija klimata // *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2014, Vyp. 209, pp. 114–125. (In Russ.).

16. Neronova Ja.A. Mikrostruktura drevesiny kul'tur sosny razlichnoj ishodnoj gustoty na osushennoj torfjanoy pochve posle primeneniya udobrenij i gerbicidov // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2020, no. 4, pp. 68–76. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-68-76 (In Russ.).

17. Nikitin K.E., Shvidenko. A.Z. Metody i tehnika obrabotki lesovodstvennoj informacii. Moskva, 1978, 272 p. (In Russ.).

18. Novosjolov A.S. Smoloproduktivnost' sosny na ob#ekte gidrotehnicheskoy melioracii posle nesploshnoj zagotovki drevesiny // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2019, no. 2, pp. 67–77. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.67.

19. Plohinskij N.A. Biometrija. Novosibirsk, 1961, 364 p. (In Russ.).

20. Plohinskij N.A. Nasleduemost'. Novosibirsk, 1964, 195 p. (In Russ.).

21. Plohinskij N.A. Algoritmy biometrii. Moskva, 1967, 82 p. (In Russ.).
22. Pravdin L.F. Sosna obyknovennaja. Izmenchivost', vnutrividovaja sistematika i selekcija. Moskva, 1964, 190 p. (In Russ.).
23. Pravdin L.F. Napravlenie i sodержanie rabot po izucheniju prirodnogo raznoobrazija drevesnyh porod i ih znachenie dlja lesnoj selekcii // *Lesovedenie*. 1967, no. 3, pp. 3–16. (In Russ.).
24. Raevskij B.V. Osobennosti vegetativnogo rosta klonov sosny obyknovЕННОj v Karelii // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2013, no. 4, pp. 7–15. (In Russ.).
25. Smirnov S.D. The experience of creating a permanent forest seed base. M. : Forest industry, 1977. 80 p. (In Russ.).
26. Snedekor Dzh. U. Statisticheskie metody v primenении issledovanijam v sel'skom hozjajstve i biologii. Perevod s anglijskogo. Moskva, 1961. 503 p. (In Russ.).
27. Sungurova N.R., Drochkova A.A. Biometricheskie harakteristiki posadochnogo materiala kak test-pokazatel' uspešnosti kul'tur *Pinus sylvestris* L. // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2021, no. 4, pp. 107–116. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-107-116. (In Russ.).
28. Tjukavina O.N. Plotnost' drevesiny sosny v osushaemyh sosnjakah kustarnichkovo-sfagnovyh // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2020, no. 2, pp. 73–80. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-2-73-80 (In Russ.).
29. Ulitin M.M., Besschetnov V.P. Sravnitel'naya otsenka taksatsionnykh pokazateley lesnykh kul'tur listvennitsy sibirskoy (*Larix sibirica*) pri introdukcii v Nizhegorodskoy oblasti. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2020, no. 6, pp. 33–41. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-33-41. (In Russ.).
30. Al Afas N., Marrona N., Ceulemans R. Variability in *Populus* leaf anatomy and morphology in relation to canopy position, biomass production, and varietal taxon. *Annals of Forest Science*. 2007, vol. 64, no. 4, pp. 521–532. DOI: 10.1051/forest:2007029.
31. Andersone U., Vinsh G. Changes of morphogenic competence in mature *Pinus sylvestris* L. Buds *in vitro*. *Annals of Botany*. 2002, vol. 90, is. 2, pp. 293–298. DOI: 10.1093/aob/mcf176.
32. Androsiuk P., Zielinski R., Polok K. B-SAP markers derived from the bacterial KatG gene differentiate populations of *Pinus sylvestris* and provide new insights into their postglacial history. *Silva Fennica*. 2011, vol. 45, no. 1, pp. 3–18. DOI: 10.14214/sf.29.
33. Benomar L., Lamhamedi M.S., Villeneuve I., Rainville A., Beaulieu J., Bousquet J., Margolis H.A. Fine-scale geographic variation in photosynthetic-related traits of *Picea glauca* seedlings indicates local adaptation to climate. *Tree Physiology*. 2015, vol. 35, issue 8, pp. 864–878. DOI: 10.1093/treephys/tpv054.
34. Bohne, G., Woehlecke H., Ehwald R. Water relations of the pine exine. *Annals of Botany*. 2005, vol. 96, is. 2, pp. 201–208. DOI:10.1093/aob/mci169.
35. Bruce D., Reineke L.H. Correlation alignment charts in forest research. A method of solving problems in curvilinear multiple correlation. USA Department of Agriculture, Washington. Technical Bulletin № 210. February 1931. 88 p. [URL: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT86200204/PDF>].
36. Castro J. Short delay in timing of emergence determines establishment success in *Pinus sylvestris* across microhabitats. *Annals of Botany*. 2006, vol. 98, is. 6, pp. 1233–1240. DOI: 10.1093/aob/mcl208.
37. Chaddock R.E. Principles and methods of statistics. Boston, New York: Houghton Mifflin Company. 1925. 471 p. [URL: https://openlibrary.org/works/OL7141582W/Principles_and_methods_of_statistics].
38. Fries A., Ericsson T. Genetic parameters for earlywood and latewood densities and development with increasing age in Scots pine. *Annals of Forest Science*. 2009, vol. 66, no. 4, article no. 404, 8 p. DOI: 10.1051/forest/2009019.
39. Gornall J.L., Guy R.D. Geographic variation in ecophysiological traits of black cottonwood (*Populus trichocarpa*). *Canadian Journal of Botany*. 2007, vol. 85, no. 12, pp. 1202–1213. DOI: 10.1139/B07-079.
40. Hallingbäck H.R., Jansson G., Hannrup B., Fries A. Which annual rings to assess grain angles in breeding of Scots pine for improved shape stability of sawn timber? *Silva Fennica*. 2010, vol. 44, no. 2, pp. 275–288. DOI: 10.14214/sf.154.
41. Krakau U-K., Liesebach M., Aronen T., Lelu-Walter M.A., V. Schneck Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Forest Tree Breeding in Europe: Current State-of-the-Art and Perspectives. Managing Forest Ecosystems. Vol. 25, chapter 4. Dordrecht, Heidelberg, New-York, London: Springer Science+Business Media, 2013, pp. 267–323. DOI 10.1007/978-94-007-6146-9_6.
42. Kroon J., Wennström U., Prescher F., Lindgren D., Mullin T.J. Estimation of clonal variation in seed cone production over time in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seed orchard. *Silvae Genetica*. 2009, vol. 58, is. 1–2, pp. 53–62. DOI: 10.1515/sg-2009-0007.
43. Leinonen I., Repo T., Hänninen H. Changing environmental effects on frost hardiness of Scots pine during dehardening. *Annals of Botany*. 1997, vol. 79, is. 2, pp. 133–137. DOI: 10.1006/anbo.1996.0321
44. Lindgren D., Prescher F. Optimal clone number for seed orchards with tested clones. *Silvae Genetica*. 2005, vol. 54, is. 2, pp. 80–92. DOI: 10.1515/sg-2005-0013.
45. Marčiulynas A., Sirgedaitė-Šežienė V., Žemaitis P., Jansons Ā., Baliuckas V. Resistance of Scots pine half-sib families to *Heterobasidion annosum* in progeny field trials. *Silva Fennica*. 2020, vol. 54, no. 4, Article ID 10276, 17 p. DOI: 10.14214/sf.10276.
46. Peltola H., Gort J., Pulkkinen P., Gerendiaín A.Z., Karppinen J., Ikonen V.-P. Differences in growth and wood density traits in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) genetic entries grown at different spacing and sites. *Silva Fennica*. 2009, vol. 43, no. 3, pp. 339–354. DOI: 10.14214/sf.193.
47. Salminen H., Jalkanen R., Lindholm M. Summer temperature affects the ratio of radial and height growth of Scots pine in northern Finland. *Annals of Forest Science*. 2009, vol. 66, no. 8, Article Number 810, 9 p. DOI: 10.1051/forest/2009074.

48. Srinagesh K. The Principles of Experimental Research. Waltham, Massachusetts (United States): Butterworth-Heinemann, 2005. 432 p.

49. Vanek O., Procházková Z., Matějka K. Analysis of the genetic structure of a model Scots pine (*Pinus sylvestris*) seed orchard for development of management strategies. Journal of forest sciences. 2013, vol. 59, no. 10, pp. 377–387. DOI: 10.17221/39/2013-JFS.

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

51. Zerbe S., Wirth P. Non-indigenous plant species and their ecological range in Central European pine (*Pinus sylvestris* L.) forests. Annals of Forest Science. 2006, vol. 63, no. 2, pp. 189–203. DOI: 10.1051/forest:2005111.

© Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Михалюк А. В., Горелов А. Н., Орнатский А. Н.. 2022

Поступила в редакцию 25.05.2022
Принята к печати 01.08.2022

ОСОБЕННОСТИ РОСТА ЛИПЫ АМУРСКОЙ В КЕДРОВЫХ ЛЕСАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Н. В. Выводцев^{1,2}, Н. В. Бессонова¹, Е. В. Сомов¹

¹Тихоокеанский государственный университет
Российская Федерация, 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136

²Дальневосточный НИИ лесного хозяйства
Российская Федерация, 680020, г. Хабаровск, ул. Волочаевская, 71
E-mail: 004193@pnu.edu.ru

Кедрово-широколиственные леса на Дальнем Востоке занимают площадь чуть более 3 млн га. Липа амурская (Phellodendron amurense) – постоянный участник лесообразовательного процесса в кедрово-широколиственных лесах. В прошлом столетии для этой породы были разработаны объемные, сортиментные и товарные таблицы. Таблиц хода роста по этой породе нет. В настоящей статье по материалам государственной инвентаризации лесов были построены таблицы хода роста для липы амурской. Экспериментальным материалом послужили 254 модельных деревьев липы амурской с постоянных пробных площадей, заложенных в насаждениях разных типов леса и классов бонитета. При изучении закономерностей роста липы амурской использовали два подхода. В первом случае при выравнивании таксационных показателей в качестве независимой переменной принят диаметр деревьев, во втором – их возраст. По конструкции первый вариант таблицы хода роста соответствует разрядной шкале объемов, во втором случае – общепринятой форме. В обоих вариантах рассчитана общая древесная продуктивность, а также объем коры. Число стволов рассчитано через постоянную изреживания. В насаждениях липа амурская встречается как одиночными экземплярами, так и группами от 10 до 30 деревьев. В анализируемой выборке максимальный возраст деревьев липы 190 лет, высота 30 м, диаметр 100 и более см. Разработанные таблицы хода роста отражают закономерности роста липы амурской, произрастающей в Приамурско-Приморском хвойно-широколиственном районе. Составленные таблицы продуктивности можно использовать для расчета запасов древесины, медопродуктивности, объемов коры, размера ущерба при повреждении насаждений пожарами, других целей. Высокий темп роста деревьев липы амурской в молодом возрасте указывает на перспективность этой породы при лесоразведении.

Ключевые слова: липа амурская, изреживание, продуктивность, таблица хода роста, разрядная шкала, объем ствола.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 4, P. 269–275

FEATURES OF THE GROWTH OF AMUR LINDEN IN THE CEDAR FORESTS OF THE FAR EAST

N. V. Vyvodytsev^{1,2}, N. V. Bessonova¹, E. V. Somov¹

¹Pacific State University
136, Pacific Str., Khabarovsk, 680035, Russian Federation

²Far Eastern Research Institute of Forestry
71, Volochaevskaya str., Khabarovsk, 680020, Russian Federation
E-mail: 004193@pnu.edu.ru

Cedar-broadleaved forests in the Far East occupy an area of just over 3 million hectares. The Amur linden (Phellodendron amurense) is a permanent participant of the forest formation process in cedar-broadleaved forests. Volumetric, assortment and commodity tables were developed for this species in the last century. There are no growth progress tables for this species. In the present article, the growth rate tables for Amur linden were constructed based on the materials of the state forest inventory. Experimental material was 254 model trees of Amur linden from permanent plots laid in plantations of different forest types and bonitet classes. Two approaches were used to study the growth patterns of Amur linden. In the first case, tree diameter was taken as an independent variable in the alignment of taxation indices, while in the second case, tree age was taken as an independent variable. By design, the first variant of the growth rate table corresponds to a discharge scale of volumes, in the second case, to the generally accepted form. In both variants, the total tree productivity as well as bark volume were calculated. The number of trunks was calculated through the thinning constant. In plantations, Amur linden occurs both as single specimens and in groups of 10 to 30 trees. In the analyzed sample, the maximum age of linden trees is 190 years, height 30 m, diameter 100 cm or more. The developed tables of the course of growth reflect the growth patterns of the Amur linden growing in the Amur-Primorsky coniferous-broadleaf region. The compiled productivity tables can be used to calculate timber reserves,

honey production, bark volumes, the amount of damage when plantations are damaged by fires, and for other purposes. The high growth rate of Amur linden trees at a young age indicates that this species is promising for afforestation.

Keywords: Amur linden, thinning, productivity, growth rate table, trunk volume discharge scale.

ВВЕДЕНИЕ

Семейство липовые (*Tiliaceae* Juss), род *Luna* (*Tilia* L) – это крупные листопадные деревья высотой до 30 м, диаметром до 1 м и более. На Дальнем Востоке распространены липа Максимовича, маньчжурская, Таке, амурская [10]. Из четырех названных видов наиболее представлена в регионе липа амурская (рис. 1).

Ареал липы амурской (*Tilia amurensis*) достаточно ограниченный (Приморский и Хабаровский края, Амурская область) [10]. Встречается как отдельными экземплярами, так и небольшими группами. Чистых насаждений не образует. Предпочитает расти на свежих, богатых гумусом почвах. Корневая система мощная, на юге ареала на богатых, хорошо дренированных наносных почвах достигает 25 м по высоте и 100 см по диаметру. Растут липы до 210 лет. Крона шаровидная, компактная, густо облиственная [10]. Цветки обоеполые, желтоватые, душистые, в щитковидных соцветиях. Плод – орешек [10]. Возобновляются семенами, порослью и отводками. Древесина безъядерная, легкая, мягкая, легко обрабатывается. Древесину применяют для производства фанеры, кухонного инвентаря, карандашей, музыкальных инструментов и прочее. Кора гладкая, темно-серая, на старых стволах трещиноватая. Из коры молодых деревьев изготавливают лыко; луб липы – сырьё для производства бумаги и грубых тканей (рогожи). В стволах старых деревьев на зимовку ложатся медведи, поселяются дикие пчёлы. Максимальный средний прирост древесины в чистых липовых насаждениях наблюдается в 35–45 лет [7]. Липы – ценные медоносы летнего периода [8]. Использование лесов должно базироваться на определенной теории, знании закономерностей роста, оценке продукционных возможностей древесных пород [13]. Цель настоящей работы – изучить региональные закономерности роста липы амурской и разработать таблицу хода роста.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предмет исследования – региональные закономерности роста липы амурской, произрастающей в Приамурско-Приморском хвойно-широколиственном районе [4]. Объект исследования – отдельные деревья липы амурской, растущие в разных стратах хвойно-широколиственных лесов. Экспериментальный материал – постоянные пробные площади, заложенные при проведении государственной инвентаризации лесов в Приамурско-Приморском хвойно-широколиственном районе. Всего с постоянных пробных площадей (75 шт), на которых проведены инструментальные измерения количественных и качественных параметров древостоев, было отобрано 254 дерева липы амурской (табл. 1).

Возрастной интервал выборки – 20–170 лет. Деревья липы амурской на площадках ГИЛ присутствовали в разном количестве – от 1 до 10 деревьев. Варьирование возраста в пределах одной ступени толщины достигает 70 лет. Выборка деревьев подчеркивает, что липа амурская – типичный представитель смешанных лесов, постоянно адаптирующийся к меняющимся условиям произрастания за счет выборочных рубок.

Для расчета объемов стволов липы амурской в коре и без коры использовали уравнения регрессии, помещенные в справочнике для таксации лесов Дальнего Востока [6]:

$$V_{в.к} = 12,8 \times 10^{-5} dh + 353 \times 10^{-7} d^2 h, \quad (1)$$

$$V_{б.к} = 6,3 \times 10^{-5} dh + 316 \times 10^{-7} d^2 h, \quad (2)$$

где $V_{в.к}$ – объем ствола липы амурской в коре м³; $V_{б.к}$ – объем ствола липы амурской без коры м³; d – диаметр дерева, см; h – высота ступени, м.

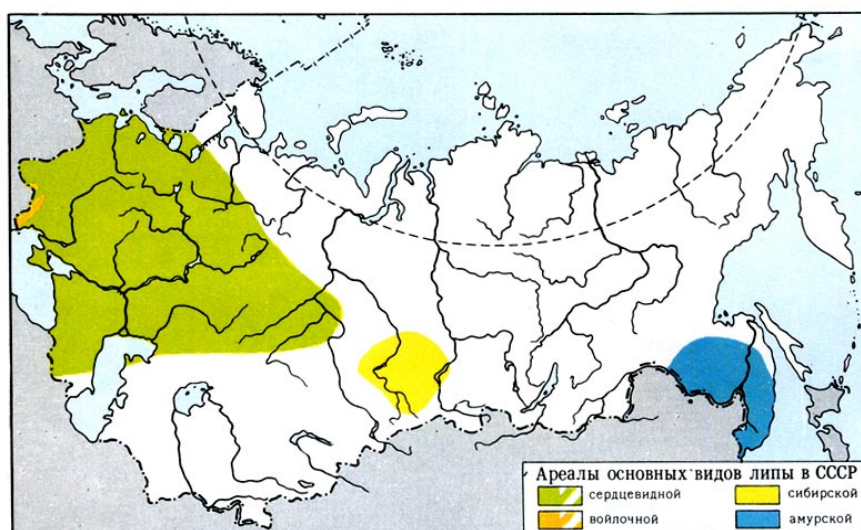


Рис. 1. Ареал основных видов липы

Таблица 1

Распределение деревьев липы амурской по возрасту и ступеням толщины

Сту- пени тол- щины	Возраст, лет																Итого
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	
10	4	2	1	2	1												10
12		4		2		3											9
16		2	5	1	1	6	2										17
20				6	5	8	7	4	2	1							33
24					6	11	10	16	2	3							48
28				1	1	3	8	8	7	1	1						30
32							1	5	9	10	4	2	1				32
36									1	10	14	1	1				27
40									1	1	2	4	3	2	1		14
44								1		2	7	3	3	1			17
48									1		1	1	1				4
52										1	2	2		2	2		9
56									1		1	1				1	4
Итого	4	8	6	12	14	31	28	34	24	29	32	14	9	5	3	1	254

Внутриценотические взаимоотношения древесных пород в насаждениях определяются количеством стволов: в чистых насаждениях – деревьями одной породы, в смешанных – несколькими. Средний диаметр главной породы, как и сопутствующих пород тоже, формируется под влиянием многих факторов, но определяющим является густота стояния деревьев. Чаще всего количество стволов рассчитывают по известной в таксации формуле [1]:

$$N = \frac{4G}{\pi d^2}, \quad (3)$$

где N – число стволов в насаждении, шт.; G – сумма площадей поперечных сечений, м^2 ; d – средний диаметр насаждения, см.

В формуле (3) количество стволов на определенной площади связано только со средним диаметром насаждения.

Известно, что в насаждении первоначальное количество стволов с возрастом убывает. Это естественное убывание (изреживание) описывается следующим уравнением параболы:

$$C = N(d)^x, \quad (4)$$

где C – постоянная изреживания, $(\text{см})^x$.

По таблицам хода роста в формуле (4) была определена степень x . Она оказалась равной $3/2$ [5; 11]. В этом случае выражение $(d)^x$ можно представить в виде формулы

$$(d)^x = (d)^{3/2} = d\sqrt{d}.$$

В таком случае формулу (4) можно представить в двух видах:

$$C = Nd\sqrt{d}, \quad (5)$$

или

$$N = \frac{C}{d\sqrt{d}}. \quad (6)$$

В нормальных насаждениях хвойных и лиственных пород постоянная изреживания обусловлена числом стволов лесобразующей породы и средним диаметром насаждения, и варьирует, в зависимости от древесной породы, в пределах 60 до 110 тыс. [2; 5; 9]. Эти цифры говорят о том, что на 1 дерево, в зависимости от древесной породы, образующей насаждение, приходится от 6 до 11 м^2 .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Равенство левой и правой части уравнения (5) достигается за счет изреживания стволов (естественная реакция насаждения) и увеличения прироста по диаметру на оставшихся деревьях. В этой связи через постоянную изреживания (C) передается следующая закономерность: площадь поперечных сечений отпавших деревьев в насаждениях компенсируется приростом по диаметру на оставшихся, удерживая темп прироста не позволяя изменить размер площади, приходящейся на 1 дерево и, как следствие, статус насаждения. Процесс отпада дискретный и обусловлен природно-климатическими условиями. Размерные характеристики постоянной изреживания обусловлены биологическими особенностями породы и мало зависят от возраста и условий местопрорастания [5; 9].

Формула (4) и ее модификации (формулы (5) и (6)) положены в основу таблиц хода роста липы амурской. Учитывая, что липа амурская является представителем кедрово-широколиственных лесов, постоянная (C) рассчитана по данным таблиц хода роста С.Н. Моисеенко [3; 12], решая уравнение (5) относительно точек кривой только стволов сосны корейской. Среднее значение C в интервале 110–320 лет оказалось равным 61 тыс. [2]. Липа амурская в составе кедрово-широколиственных насаждений встречается до 20 % по объему, поэтому в формулу (6) ввели попра-

вочный коэффициент 0,2. В этом случае количество деревьев липы амурской в насаждении в ступени 12 см, рассчитанное по формуле (6), следующее:

$$N = \frac{0,2C}{d\sqrt{d}} = \frac{6100}{41,57} = 294 \text{ шт/га.}$$

Объемы стволов в коре и без коры рассчитывались по уравнениям регрессии (1) и (2). Средняя высота в ступенях толщины определена аналитическим способом, анализируя выборку деревьев липы амурской по высоте и диаметру.

Регрессионная связь возраста и диаметра на высоте 1,3 м, показана на рис. 2. До 100 лет варьирование диаметров в пределах класса возраста незначительное, что указывает на относительную однородность полого средневозрастных и приспевающих насаждений. После 100 лет диапазон варьирования диаметров резко увеличился. Это связано в первую очередь с проведением выборочных рубок в древостоях с участием липы амурской.

Регрессионная связь диаметра на высоте 1,3 м и возраста передается параболой второго порядка:

$$y = 0,013x^2 + 0,995x + 85,6, \quad (7)$$

где y – диаметр дерева на высоте 1,3 м, мм; x – возраст дерева, лет.

Коэффициент детерминации ($R^2 = 0,75$) показывает, что рост дерева по диаметру на 75 % обусловлен возрастом дерева. Незначительный диапазон варьирования высот в границах классов возраста до 140 лет указывает на относительную однородность возрастной структуры смешанных древостоев с участием липы амурской. Как правило, это кедрово-широколиственные насаждения.

Изучена связь возраста и высоты деревьев липы амурской (рис. 3). Она передается параболой второго порядка:

$$y = -0,0004x^2 + 0,159x + 6,8, \quad (8)$$

где y – высота модельных деревьев, м; x – возраст, лет.

Коэффициент детерминации анализируемой связи не высокий ($R^2 = 0,43$). Высота деревьев липы амурской на 43 % обусловлена возрастом. Остальные 57 % объясняются условиями произрастания, участием в составе верхнего полога, видовой принадлежности главной породы, выборочными рубками, проведенными ранее.

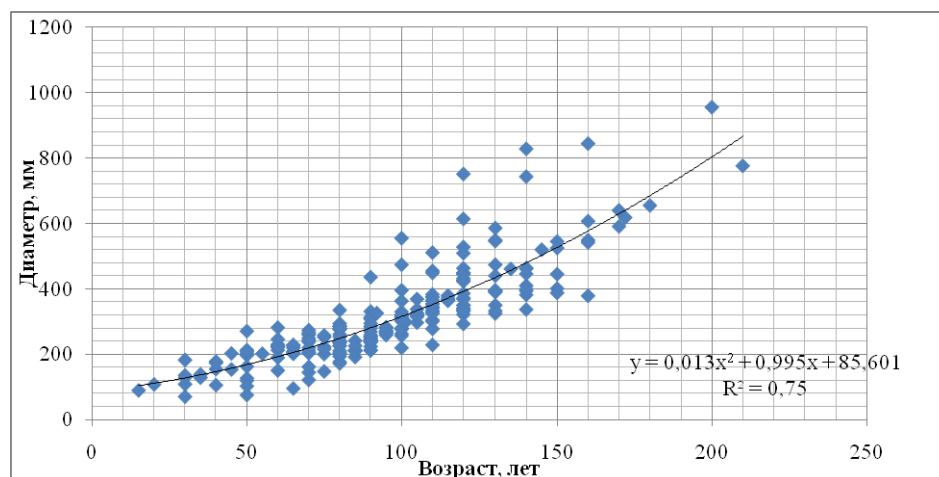


Рис. 2. Регрессионная связь диаметров на высоте 1,3 м с возрастом модельных деревьев липы амурской

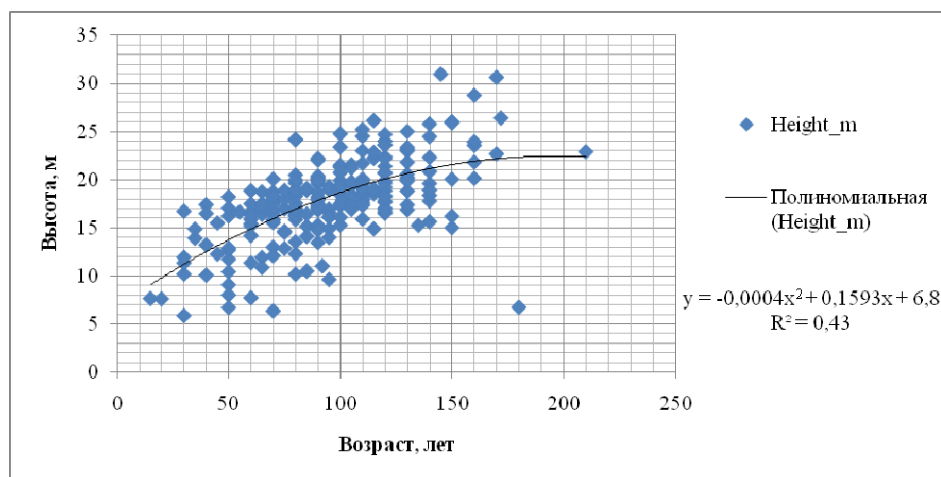


Рис. 3. Регрессионная связь высот с возрастом модельных деревьев липы амурской

Характер связи возраста и высоты основания живой кроны модельных деревьев липы амурской представлен на рис. 4. Четкой связи между этими показателями нет. Высота основания живой кроны деревьев липы амурской в 11 % случаев обусловлена возрастом. Остальные 89 % объясняются другими факторами: расстоянием между соседними деревьями, их видовой принадлежностью, плотностью стояния деревьев, особенностями смешения древесных пород в древостое, интенсивностью выборочных рубок, повреждением энто и фито вредителями, возрастной изменчивостью липы.

Аналогичный характер связи и у протяженности кроны с возрастом (рис. 5). Связь характеризуется также низким коэффициентом детерминации ($R^2 = 0,14$).

В данном случае можно говорить лишь о тенденции в изменении анализируемого признака от возраста. Большой разброс зависимой переменной можно объяснить теми же причинами, что и высоту основания кроны, что привело к значительному варьированию этого показателя.

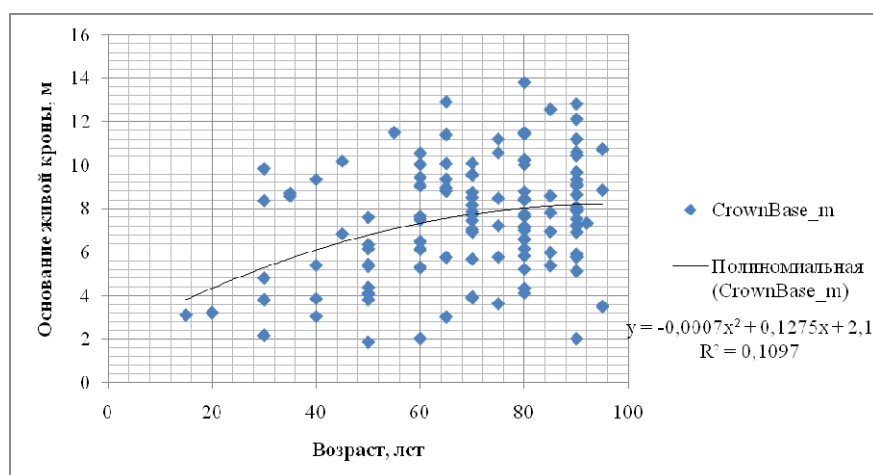


Рис. 4. Связь возраста с высотой основания живой кроны липы амурской

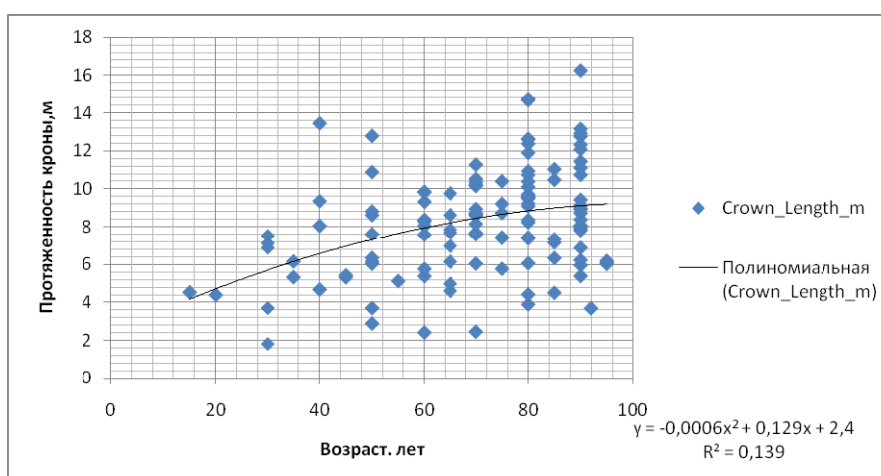


Рис. 5. Связь возраста и протяженности кроны модельных деревьев липы амурской

Таблица 2

Продуктивность липы амурской, растущей в смешанных широколиственно-кедровых насаждениях как сопутствующая порода (до 20 %)

Показатели	Ступени толщины									
	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48
$d\sqrt{d}$	41,6	64,0	89,4	117,6	148,2	181,0	216,0	253,0	291,8	332,5
A	72	77	83	90	98	107	115	123	132	143
H	7,0	12,5	15,2	17,5	18,2	18,8	19,4	20,0	20,4	20,6
$V_{в.к}$	0,05	0,14	0,25	0,41	0,57	0,76	0,98	1,23	1,51	1,80
N	294	191	136	104	82	67	56	48	42	37

Окончание таблицы 2

Показатели	Ступени толщины									
	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48
$N_{\text{отп}}$		103	55	32	22	15	11	7	6	5
$W_{\text{отп}}$		14,4	13,8	13,1	12,5	11,4	10,7	8,6	9,1	9,0
W	13,6	24,5	34,5	42,6	46,7	50,7	54,7	59,1	63,4	66,7
$\Delta_{\text{ср}}$	1,13	1,65	1,72	1,77	1,67	1,58	1,52	1,48	1,44	1,39
$\Delta_{\text{ср}}^*$	0,19	0,32	0,42	0,47	0,47	0,47	0,47	0,48	0,48	0,47

Примечания: A – возраст ступени толщины, лет; H – высота, м; $V_{\text{в к}}$ – объем одного ствола в коре, м³; N – количество стволов, шт; $N_{\text{отп}}$ – количество отпавших стволов, шт.; W – запас липы амурской, м³; $W_{\text{отп}}$ – запас отпада, м³; $\Delta_{\text{ср}}$ – среднее изменение запаса в ступени толщины, м³; $\Delta_{\text{ср}}^*$ – среднее изменение запаса, установленное через возраст определенной ступени, м³.

Характер регрессионной связи диаметров на высоте 1,3 м и высот липы амурской можно передать параболой второго порядка ($R^2 = 0,43$):

$$y = 0,690x^2 - 4,11x + 150, \quad (9)$$

где y – диаметр на высоте 1,3 м, мм; x – высота, м.

Подобранные уравнения регрессии (7)–(9) позволили рассчитать таблицу изменений таксационных показателей липы амурской в зависимости от ступени толщины (табл. 2).

Липа амурская – ценная лесообразующая порода кедрово-широколиственных лесов Дальнего Востока, постоянный спутник сосны корейской. Чистые липняки естественным путем не образует в отличие от своего аналога, растущего в европейской части страны [7]. Хотя искусственным путем эта задача вполне разрешима. В составе смешанного насаждения может продуцировать до 70 м³/га. За 143 года в категорию отпад перешли 256 деревьев липы амурской, или 103 м³. В год элиминация составляла 0,7 м³/га. С учетом отпада общая продуктивность липы амурской составила 170 м³/га. Выполненные расчеты позволяют сделать определенные выводы. Рост липы амурской обусловлен изменениями в составе основного лесообразователя и подчиняется общим закономерностям, присущим росту смешанных насаждений с участием лиственных пород. Выборка модельных деревьев по высоте соответствует 3 разряду высот. Объемы стволов, рассчитанные по уравнению (1) и объемы из справочника таксатора различаются в пределах 7–29 %. Примечательно следующее – разрядная шкала по липе амурской, состоящая из пяти разрядов, на новом экспериментальном материале практически совпала с третьим разрядом высот. Максимальные отклонения наблюдаются в ступени 12 см. Это указывает на то, что разрядную шкалу объемов по липе можно не корректировать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На примере липы амурской апробирован новый методический подход при изучении роста насаждений и построении таблиц хода роста для древесных пород, растущих в смешанных насаждениях в ограниченном количестве.

2. Метод базируется на общей закономерности, присущей росту нормальных, одновозрастных насаждений – произведение числа стволов и среднего диаметра – величина постоянная, обусловленная биологическими свойствами древесной породы и условиями произрастания.

3. Построенная таблица хода роста позволяет проводить расчет продуктивности древесной породы по принципу разрядной шкалы.

4. Максимальный средний прирост (количественная спелость) липы амурской по наблюдениям в ступени 24 см.

5. Разработанные таблица позволяют повысить точность таксации с участием липы амурской, произрастающей в хвойно-широколиственных лесах

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
2. Выводцев, Н.В. Общие закономерности роста насаждений сосны корейской // Лесохозяйственная информация. 2020. № 3. С. 81–88. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>.
3. Моисеенко С. Н. Таблицы хода роста кедрово-широколиственных лесов Дальнего Востока. Хабаровск : ДальНИИЛХ, 1966. 91 с.
4. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 18 авг. 2014 г. № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации» (с изменениями на 21 марта 2016 г.): зарегистрировано в Мин-ве юстиции РФ 29 сент. 2014 г., № 34186.
5. Савинов Е. П. К вопросу о густоте леса // Лесное хозяйство. 1978. № 5. С. 35–37.
6. Справочник для таксации лесов Дальнего Востока. Хабаровск. ДальНИИЛХ. 1990. 526 с.
7. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород северной Евразии (нормативно-справочные материалы). М., 2008. 886 с.
8. Тагильцев Ю. Г., Выводцев Н. В. Колесникова Р. Д. Недревесные лесные ресурсы: пищевые, лекарственные плодово-ягодные, технические / Хабаровск : ТОГУ, 2014. 127 с.

9. Удод В. Е. Определение оптимальной интенсивности рубок ухода в дубовых насаждениях // Лесн. хоз-во. 1972. № 7. С. 15–17.

10. Усенко Н. В. Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока : справочная книга / Авт. вступ. ст. С. Д. Шлотгауэр. 3-е изд., перераб. и доп. Хабаровск : Изд-во «Приамурские ведомости», 2009. 272 с.

11. Richards F. A flexible growth function for empirical use / J. Emp. Bot. 1959. Vol. 10. № 29. P. 290–300.

12. Vyvodtsev N. V. Forest Resource Potential of Cedar in the Far East. IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. Vol. 670, Issue 1. 2021.

13. Vyvodtsev N. Analysis of basis forest management in Russia // International Conference 15-20 August, Khabarovsk, 1999. P. 22–23.

REFERENCES

1. Anuchin N. P. Forest Inventory. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 552 p.

2. Vyvodtsev N. V. General patterns of growth of Korean pine plantations // Forestry information : 2020. No. 3. pp. 81–88. <http://lhi.vniilm.ru/>.

3. Moiseenko S. N. Tables of the course of growth of cedar-deciduous forests of the Far East. Khabarovsk : DNIILH Publ., 1966. 91 p.

4. Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation on August 18, 2014, No. 367 “On Approval of the List of Forest Plant Zones of the Russian Federation and the List of Forest Regions of the Russian Federation” (as Amended on March 21, 2016): Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on September 29, 2014, No. 34186.

5. Savinov E. P. On the question of forest density // Forestry. 1978. No. 5. pp. 35–37.

6. Handbook for forest taxation of the Far East. Khabarovsk. DNIILH. 1990. 526 p.

7. Tables and models of growth and productivity of plantations of the main forest-forming species of Northern Eurasia (normative and reference materials) Moscow: 2008. 886 p.

8. Tagiltsev Yu. G. Vyvodtsev N. V. Kolesnikova R. D. Non-wood forest resources: food, medicinal fruit and berry, technical. Khabarovsk: TOGU, 2014. 127 p.

9. Udod V. E. Determination of the optimal intensity of felling care in oak plantations // Forestry. 1972. No. 7. P. 15–17.

10. Usenko N. V. Trees, shrubs and lianas of the Far East : a reference book / Author. introduction by S. D. Schlotgauer. 3rd ed., reprint. and additional – Khabarovsk : Publishing house “Amur Vedomosti”, 2009. 272 p.

11. Richards F. A flexible growth function for empirical use / J. Emp. Bot. 1959. Vol. 10. № 29. P. 290–300.

12. Vyvodtsev N. V. Forest Resource Potential of Cedar in the Far East To cite this article: 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 670 012015.

13. Vyvodtsev N. Analysis of basis forest management in Russia // International Conference 15–20 August, Khabarovsk, 1999. P. 22–23.

© Выводцев Н. В., Бессонова Н. В.,
Сомов Е. В., 2022

Поступила в редакцию 03.03.2022
Принята к печати 01.08.2022

ВЛИЯНИЕ ГУСТОТЫ ПОСАДКИ НА РЕПРОДУКТИВНОЕ РАЗВИТИЕ И РОСТ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ

М. В. Гришлова, Н. П. Братилова, Н. А. Шенмайер, В. Н. Калагин, А. В. Мантулина

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

Проведен сравнительный анализ показателей репродуктивного развития 53–55-летних деревьев сосны кедровой сибирской, произрастающих в пригородной зоне Красноярска при разной густоте посадки (400 и 5000 шт./га).

Выявлено преобладание экземпляров, вступивших в репродуктивную стадию развития, в разреженных условиях выращивания в 2,75 раза в сравнении с загущенными посадками. Отмечено влияние густоты посадки на урожайность сосны кедровой сибирской. На деревьях с лучшими условиями роста при меньшей густоте посадки сформировано достоверно большее число шишек.

Деревья, растущие на плантациях, имеют больший диаметр ствола, более толстые ветви в нижней части кроны, но в 2,5 раза меньшую протяженность бессучковой зоны, чем у деревьев, произрастающих при большей густоте.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, густота, репродуктивное развитие, шишки, микростробилы, рост.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 4, P. 276–279

THE EFFECT OF PLANTING DENSITY ON REPRODUCTIVE DEVELOPMENT AND THE GROWTH OF SIBERIAN CEDAR PINE

M. V. Grishlova, N. P. Bratilova, N. A. Shenmaier, V. N. Kalagin, A. V. Mantulina

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

A comparative analysis of indicators of reproductive development of 53–55-year-old Siberian cedar pine trees growing in the suburban area of Krasnoyarsk with different planting density (400 and 5000 pcs/ha) was carried out.

The prevalence of specimens that entered the reproductive stage of development in sparse growing conditions was revealed by 2.75 times in comparison with thickened plantings. The influence of planting density on the yield of Siberian cedar pine is noted. On trees with better growth conditions with a lower planting density, a significantly larger number of cones were formed.

Trees growing on plantations have a larger trunk diameter, thicker branches in the lower part of the crown, but 2.5 times the length of the beetle-free zone than trees growing at a higher density.

Keywords: *Pinus sibirica*, density, reproductive development, cones, microstrobos, growth.

ВВЕДЕНИЕ

Густота посадки оказывает существенное воздействие на темпы роста растений в высоту и по диаметру, строение и размеры кроны, биологическую продуктивность и репродуктивное развитие деревьев. Кедровые плантации с разреженной посадкой деревьев отличаются хорошей урожайностью. Плотная густота посадки приводит к внутривидовой борьбе растений.

Исследуемые кедровые культуры в пригородной зоне Красноярска были созданы под руководством сотрудников Сибирского технологического института (в настоящее время СибГУ им. М. Ф. Решетнева) [5]. Исследования влияния густоты посадки на репродуктивное развитие, рост и биологическую продуктивность кедровых плантаций в первом классе возраста были

проведены Р. Н. Матвеевой, Н. П. Братиловой, А. В. Калининым, А. М. Пастуховой и др. [2, 3, 6; 10].

Однако в настоящее время остаются нераскрытыми вопросы особенностей роста и репродуктивного развития кедровых сосен во втором классе возраста в зависимости от условий произрастания.

М. Д. Мерзленко и др. [7] отмечают важное значение густоты посадки, зависящей от вида культивируемой древесной породы и зонально-типологических условий. М. М. Андроновой и др. [1] отмечается, что отмирание нижних частей кроны кедровых деревьев I класса возраста при густом стоянии приводит к нарушению их репродуктивной способности. По мнению М. Н. Казанцевой, М. М. Спасибовой [4], деревья, выращиваемые по принципу кедросада, отличаются лучшими показателями по продуктивности и

более ранним вступлением в репродуктивную стадию развития, чем при высокой густоте посадки. Г. Г. Терехов и др. отмечали, что высокая густота посадки кедровых саженцев в чистых культурах способствует ранней сомкнутости крон деревьев и вытянутости стволиков вверх, что в свою очередь, повышает риск растений к снеговалу и снеголому [12].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обследованные объекты сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) были созданы в пригородной зоне Красноярска на территории Учебно-опытного лесхоза Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева на склонах южной экспозиции. Почвы характеризуются как серые лесные, среднесуглинистые, слабоподзоленные. На плантации «Метеостанция» применялась схема посадки 5×5 м, в дендрарии СибГУ им. М.Ф. Решетнева – схема 2×1 м. Густота посадки составила 400 и 5000 шт./га соответственно.

Полевые исследования были проведены по общепринятым для лесокультурных исследований методикам [9; 11]. При определении количества побегов со стробилами, числа мужских соцветий, макростробилов и шишек сначала проводили рекогносцировочное обследование, глазомерно оценивая относительную величину урожая и цветения. При обильном урожае (рис. 1) ограничивались подсчётом с помощью бинокля с хорошо просматриваемой стороны кроны на одной половине кроны, полученный результат удваивали по методике Т. П. Некрасовой [8].



Рис. 1. Формирование шишек на сосне кедровой сибирской на плантации

Был применен комплексный подход для решения поставленных задач путем систематизации, анализа и обобщения полученных результатов с использованием методов математической статистики в программах Microsoft Excel. Сопоставлены показатели по интенсивности роста и репродуктивному развитию.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведено сравнение показателей репродуктивного развития сосны кедровой сибирской при разной густоте посадки в биологическом возрасте 53–55 лет. Выявлено, что при схеме посадки 5×5 м в фазу репродуктивного развития вступило 82,5 % деревьев, а при схеме посадки 2×1 м – не более 30 % деревьев (произрастающих преимущественно в крайних рядах). Превышение составляет 2,75 раза (рис. 2).

В 53–55-летнем биологическом возрасте у деревьев, произрастающих в крайних рядах групповых посадок, преобладало мужское цветение, варьируя по годам в среднем от 142 до 530 шт. микростробилов на дереве. Шишки у деревьев местного происхождения, растущих в крайних рядах групповых посадок, образовались у 27,6 % экземпляров, микростробилов – у 20 %, все виды генеративных органов были отмечены у 13,3 % особей.

В 2015 г. на деревьях крайних рядов загущенных посадок было сформировано в среднем 3,7 шт. шишек. В этом же году на плантации среднее число шишек на деревьях сосны кедровой сибирской бирюсинского (местного) происхождения равнялось 18 шт., что в 4,3 раза превышает аналогичный показатель при загущенной посадке деревьев. В 2019 г. при достижении деревьями, растущими на плантации, 55-летнего возраста, данный показатель был еще выше – 22,6 шт./дерево. Количество семеносящих побегов на дереве на плантации в среднем равнялось $14,3 \pm 0,92$ шт. Максимальное количество шишек в пучке отмечалось 4 шт., в среднем составляя $2,7 \pm 0,09$ шт. при высоком уровне изменчивости ($V = 23,3 \%$).

В 2018 г. диаметр ствола деревьев, растущих в крайних рядах загущенных посадок, варьировал от 13,2 до 19,6 см, при разреженной посадке – от 24 до 32 см. Средний диаметр ствола составил $16,4 \pm 0,90$ см и $29,2 \pm 0,95$ см соответственно. Различия достоверны при 95%-ном уровне вероятности (t_{ϕ} больше t_{05}).

У деревьев, произрастающих в разнотравных условиях, сформировалось в среднем по 5,7–7,0 шт. ветвей в мутовках. Достоверно большее количество ветвей в нижней мутовке отмечено в варианте с меньшей густотой посадки (t_{ϕ} равен 3,09, что больше t_{05}). Большой диаметр ветвей у основания в нижней части кроны отмечен в разреженных посадках ($2,8 \pm 0,20$ см против $1,7 \pm 0,12$ см) (см. таблицу).

Отмечается средний уровень изменчивости показателя числа ветвей в мутовках, от среднего до высокого – по диаметру ветви у основания. Угол прикрепления нижних ветвей к стволу колебался от 65 до 90 градусов в загущенных посадках (при среднем значении $83,3 \pm 3,43$ град.) и от 74 до 98 градусов – в разреженных (средний угол прикрепления составляет $87,1 \pm 2,59$ град.) без достоверных различий между вариантами.

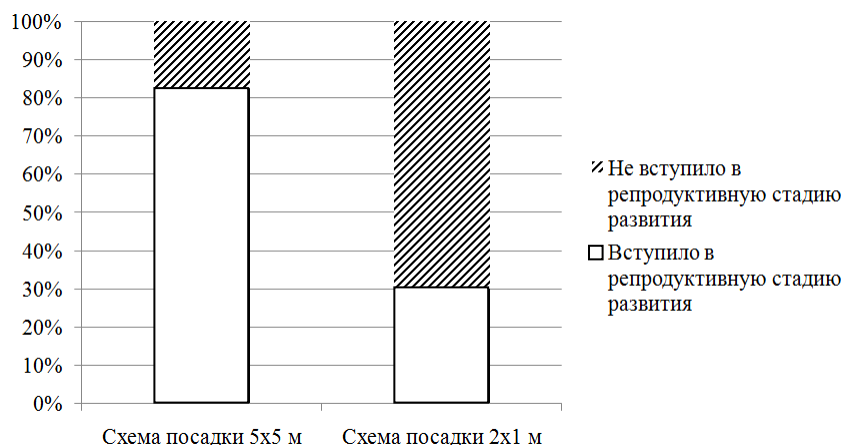


Рис. 2. Репродуктивное развитие деревьев сосны кедровой сибирской в зависимости от схемы посадки

Характеристика ветвей сосны кедровой сибирской при разной схеме посадки

Схема посадки, м	X_{cp}	$\pm m$	$\pm \sigma$	$V, \%$	$P, \%$	t_{ϕ} при $t_{05} = 2,10$
Число ветвей в нижней мутовке, шт.						
5x5	7,0	0,30	0,94	13,5	4,3	3,09
2x1	5,7	0,29	0,76	13,2	5,0	
Диаметр ветви у основания, см						
5x5	2,8	0,20	0,63	22,5	7,1	4,59
2x1	1,7	0,12	0,31	17,9	6,8	
Высота живой кроны, м						
5x5	0,98	0,07	0,20	20,3	7,1	7,66
2x1	2,46	0,18	0,47	19,0	7,3	
Угол прикрепления ветвей, град.						
5x5	87,1	2,59	8,18	9,4	3,0	0,88
2x1	83,3	3,43	9,09	10,9	4,1	

Большая протяженность бессучковой зоны деревьев отмечается в загущенных посадках ($2,46 \pm 0,18$ м против $0,98 \pm 0,07$ м).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований выявлено влияние густоты посадки на процент деревьев сосны кедровой сибирской, вступивших в стадию репродуктивного развития к 53–55-летнему биологическому возрасту. При разреженной посадке в пору семеношения вступает подавляющее большинство деревьев, при загущенной посадке – не более трети экземпляров.

Установлена зависимость урожайности от густоты посадки. При редкой посадке деревья образовали достоверно большее количество шишек на дереве, чем при густой.

Лучшим ростом по диаметру ствола, формированию ветвей характеризуются деревья сосны кедровой сибирской при посадке 5×5 м в сравнении с деревья-

ми при посадке 2×1 м. При разреженной посадке отмечается меньшая в 2,5 раза протяженность бессучковой зоны в сравнении с загущенными насаждениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Андропова М. М., Корчагов С. А. Рост и развитие сосны кедровой сибирской в Вологодской области // Вестник МГУ Леса – Лесной вестник. 2015. Т. XIX. № 6. С. 45–49.
2. Братилова Н. П., Пастухова А. М. Особенности роста и формирования фитомассы крон сосны кедровой сибирской в зависимости от интенсивности урожая в начальный период онтогенеза // Хвойные бореальной зоны, 2004. Т. XXII. № 1-2. С. 77–81.
3. Братилова Н. П., Калинин А. В. Оценка биопродуктивности плантационных культур кедровых сосен в зеленой зоне Красноярск. Красноярск : СибГТУ, 2012. 132 с.
4. Казанцева М. Н., Спасибова М. М. Рост и продуктивность кедров сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour)

в посадках дендрария Сибирской лесной опытной станции // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. Тюмень : ТГУ, 2018. Т. IX. № 3. С. 94–107.

5. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. Коллекция кедровых сосен разного географического происхождения на опытных участках СибГТУ : справочно-учебное пособие. Красноярск : СибГТУ, 2007. 68 с.

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

7. Мерзленко М. Д., Глазунов Ю. Б. Рост и состояние культур сосны разной густоты в Серебряноборском опытном лесничестве // ИВУЗ. «Лесной журнал». Архангельск : САФУ, 2014. № 6. С. 32–40.

8. Некрасова Т. П. Методы оценки и прогноза урожая семян кедра сибирского / под ред. д-ра биол. наук Г. В. Крылова ; Акад. наук СССР. Сиб. отд-ние. Биол. ин-т. Новоси�. правл. НТО леспром. Новосибирск : Изд-во Сиб. отд-ния АН СССР, 1960. 36 с.

9. Огиевский В. В., Хиров А. А. Обследование и исследование лесных культур : метод. пособие для лесоводов. Москва : Лесная пром-сть, 1964. 50 с.

10. Пастухова А. М., Армани А. Н. Индивидуальная изменчивость 30-летнего кедра сибирского по показателям шишек и качеству семян // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений, 2009. Т. XII. С. 83–86.

11. Родин А. Р., Мерзленко М. Д. Методические рекомендации по изучению лесных культур старших возрастов. М. : ВАСХНИЛ, 1983. 36 с.

12. Терехов Г. Г. Особенности формирования чистых и смешанных культур кедра сибирского с сосной обыкновенной и елью сибирской на Среднем Урале // Лесотехнический журнал. Воронеж : ВГЛУ, 2018. № 3. С. 95–104.

REFERENCE

1. Andronova M. M., Korchagov S. A. Rost i razvitie sosny` kedrovoj sibirskoj v Vologodskoj oblasti // Vestnik MGU Lesa – Lesnoj vestnik : 2015. Т. XIX. № 6. С. 45–49.

2. Bratilova N. P., Pastukhova A. M. Osobennosti rosta i formirovaniya fitomassy` kron sosny` kedrovoj sibirskoj v zavisimosti ot intensivnosti urozhaya v nachal'nyj period ontogeneza // Xvojny`e boreal'noj zony`, 2004. Т. XXII. № 1-2. С. 77–81.

3. Bratilova N. P., Kalinin A. V. Ocenka bioproduktivnosti plantacionny`x kul'tur kedrov`x sosen v zelenoj zone Krasnojarska. Krasnojarsk : SibGTU, 2012. 132 s.

4. Kazanceva M. N., Spasibova M. M. Rost i produktivnost` kedra sibirskogo (Pinus sibirica Du Tour) v posadkax dendrariya Sibirskoj lesnoj opy`tnoj stancii // Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. E`kologiya i prirodo-pol'zovanie. Tyumen` : TGU, 2018. Т. IX. № 3. С. 94–107.

5. Matveeva R. N., Butorova O. F. Kollekcija kedrov`x sosen raznogo geograficheskogo proisxozhdeniya na opy`tny`x uchastkax SibGTU : spravочно-uchebnoe posobie. Krasnojarsk : SibGTU, 2007. 68 s.

6. Matveeva R. N., Kolosovskaya Yu. E., Sokolova E. Yu. Izmenchivost` reproduktivnogo razvitiya kedrov`x sosen raznogo geograficheskogo proisxozhdeniya na plantacii yuga Srednej Sibiri // Xvojny`e boreal'noj zony`, 2013. Т. 31. № 3-4. С. 63–66.

7. Merzlenko M. D., Glazunov Yu. B. Rost i sostoyanie kul'tur sosny` raznoj gustoty` v Serebryanoborskom opy`tnom lesnichestve // IVUZ. «Lesnoj zhurnal». Arxangel'sk : SAFU. 2014. № 6. С. 32–40.

8. Nekrasova T. P. Metody` ocenki i prognoza urozhayev semyan kedra sibirskogo / Pod. red. d-ra biol. nauk G. V. Krylova ; Akad. nauk SSSR. Sib. otd-nie. Biol. in-t. Novosib. pravl. NTO lesprom. Novosibirsk : Izd-vo Sib. otd-niya AN SSSR, 1960. 36 s.

9. Ogievskij V. V., Xirov A. A. Obsledovanie i issledovanie lesny`x kul'tur : Metod. posobie dlya lesovodov. Moskva : Lesnaya prom-st', 1964. 50 s.

10. Pastukhova A. M., Armani A. N. Individual'naya izmenchivost` 30-letnego kedra sibirskogo po pokazatelyam shishek i kachestvu semyan // Plodovodstvo, semenovodstvo, introdukcija drevesny`x rastenij, 2009. Т. XII. С. 83–86.

11. Rodin A. R., Merzlenko M. D. Metodicheskie rekomendacii po izucheniyu lesny`x kul'tur starshix vozrastov. M. : VASXNIL, 1983. 36 s.

12. Terexov G. G. Osobennosti formirovaniya chisty`x i smeshanny`x kul'tur kedra sibirskogo s sosnoj oby`knovennoj i el'yu sibirskoj na Srednem Urale // Lesotexnicheskij zhurnal. Voronezh : VGLTU. 2018. № 3. С. 95–104.

© Гришлова М. В., Братилова Н. П., Шенмайер Н. А., Калагин В. Н., Мантулина А. В., 2022

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА И ОСВОЕНИЕ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

С. Н. Долматов¹, Р. Н. Ковалев²

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

²Уральский государственный лесотехнический университет.
Российская Федерация, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37
E-mail: kir9624@yandex.ru

В исследовании проведен анализ факторов, оказывающих существенное влияние на эффективность лесного сектора России. Рассмотрены методы государственной поддержки лесного сектора в России и за рубежом. Для стран, являющихся активными лесопользователями, определены действующие административные и экономические инструменты стимулирования при освоении лесных массивов и внедрении передовых технологий. Экономические инструменты стимулирования представлены льготным налогообложением, государственным субсидированием, приоритетными инвестиционными проектами. Выявлено, что непосредственный перенос зарубежного опыта стимулирования эффективности лесного комплекса, без учета специфики местных административно-правовых и природно-климатических, социально-демографических условий, не возможен.

На примере Красноярского края, проанализированы результаты, реализуемого в России механизма государственного стимулирования лесного сектора путем поддержки приоритетных инвестиционных проектов в области лесопользования.

Ключевые слова: лесосырьевые ресурсы; инвестиции; методы стимулирования, инвестиционный проект, лесной сектор.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 4, P. 280–288

THE EFFICIENCY OF THE FOREST COMPLEX AND THE DEVELOPMENT OF FOREST RESOURCES IN THE KRASNOYARSK TERRITORY

S. N. Dolmatov¹, R. N. Kovalev²

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

²Ural State Forest Engineering University
37, Siberian tract, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation
E-mail: kir9624@yandex.ru

The study analyzes the factors that have a significant impact on the efficiency of the Russian forest sector. The methods of state support of the forestry sector in Russia and abroad are considered. For countries that are active forest users, the existing administrative and economic incentive instruments for the development of forest areas and the introduction of advanced technologies have been determined. Economic incentive instruments are represented by preferential taxation, state subsidies, and priority investment projects. It was revealed that the direct transfer of foreign experience in stimulating the efficiency of the forest complex, without taking into account the specifics of local administrative-legal and natural-climatic, socio-demographic conditions, is not possible. On the example of the Krasnoyarsk Territory, the results of the mechanism of state stimulation of the forest sector implemented in Russia by supporting priority investment projects in the field of forest management are analyzed.

Keywords: timber resources; investments; incentive methods, investment project, forest sector.

ВВЕДЕНИЕ

Величина и динамика показателей лесного сектора изначально определяется наличием лесосырьевых ресурсов. В настоящее время Российская Федерация обладает максимальными объемами лесных площадей среди десятка стран – лидеров лесного сектора. Пока-

затели по объемам лесозаготовки и площадям лесных земель показаны на рис. 1 [1; 2] Несмотря на несомненное мировое лидерство России по площади лесных земель, максимальный объем леса заготавливается в США, т. е. лесной фонд США эксплуатируется более интенсивно. Каждый гектар лесной площади РФ при-

носит $0,45 \text{ м}^3$ древесины. Для США, этот показатель равен $1,04 \text{ м}^3$, для Финляндии – $2,72 \text{ м}^3$, для Германии – необычно высокие 5 м^3 , что более чем в 10 раз больше, чем в РФ. Сверхвысокие объемы лесозаготовки и степень эксплуатации лесных массивов Индии во многом объясняются особенностью учета и правовым статусом лесоматериалов, заготовленных при этом. Значительные объемы древесины Индии заготавливаются за пределами зарегистрированных площади лесов (ТОФ) [3].

Развитие лесопромышленного комплекса России и Красноярского края в частности, строится на принципах,

характерных для предприятий перерабатывающей промышленности, однако с особенностями, делающими такие предприятия частично «добывающими», как например предприятия нефтяного и газового профиля. И если последние (добывающие отрасли) демонстрируют устойчивый рост вклада в общий объем валовой добавленной стоимости (с 9,5 до 12,6 % по РФ в целом), то сельское и лесное хозяйство имеет вклад всего в 3,8 % ВВП РФ без наличия тенденций увеличения (рис. 2) [4].

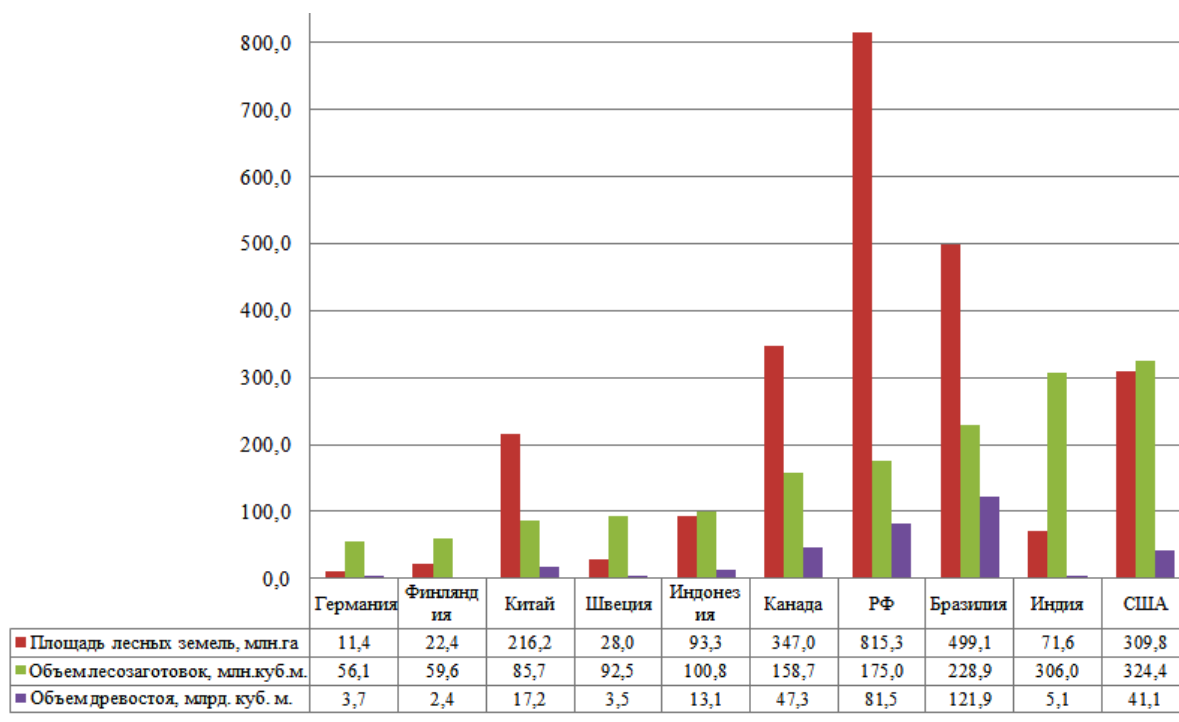


Рис. 1. Площадь лесных земель и объемы лесозаготовки

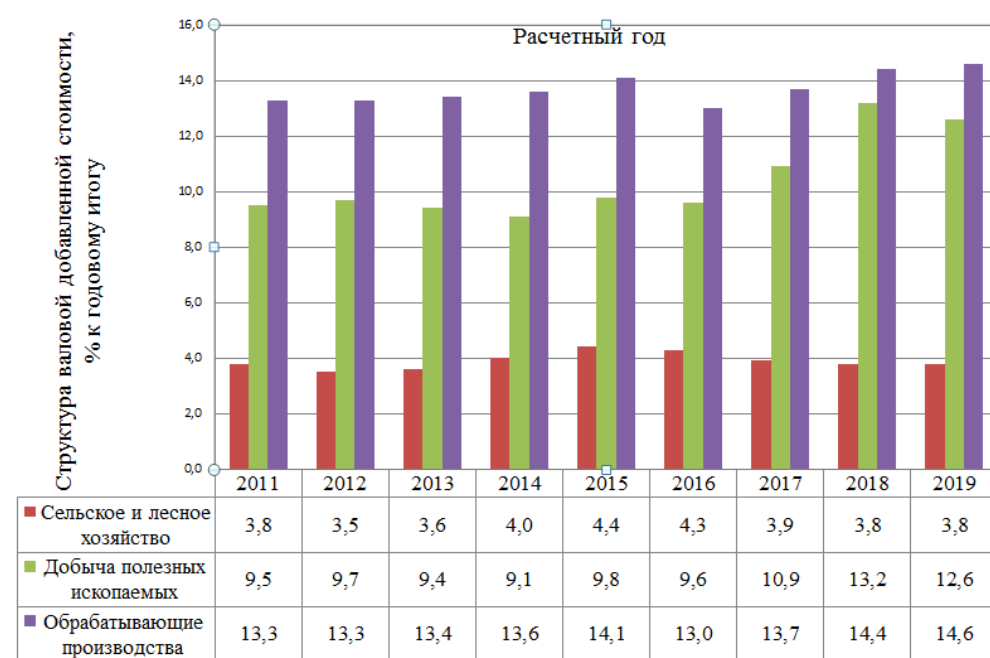


Рис. 2. Структура валовой добавленной стоимости, %

Сельское хозяйство обладает достаточно высокими показателями, как в натуральном, так и в денежном выражении. А вот лесная промышленность, по существу, перестала быть принципиально весомой и значимой отраслью природопользования России. С начала 2000 г. вклад лесной промышленности в валовой внутренний продукт страны постепенно снижался: если в 2003 г. он составлял 2,3 %, то на начало 2013 г. только 1,6 %, т.е. в 1,4 раза [5].

Сам характер лесопользования в России, который в значительной степени носит экстенсивный характер, приводит к истощению лесосырьевых баз, имеющих устойчивое транспортно-логистическое обеспечение. При этом, кардинальные улучшения в области строительства лесных дорог и объектов транспортной инфраструктуры отсутствуют, следовательно предприятия лесопереработки не имеют возможности обеспечить себя качественным сырьем. Недостаточное развитие дорожной сети приводит к снижению эффективности не только лесопользования, но и мероприятий по лесовосстановлению [6]. Показатели лесовосстановительных мероприятий имеют устойчивую тенденцию к снижению темпов и объемов [7].

Для создания предпосылок кардинального улучшения показателей работы лесопромышленного комплекса России как внутри страны, так и на мировом рынке, необходим коренной пересмотр политики в области стимулирования развития современных технологий лесозаготовки и глубокой переработки заготовленных лесоматериалов с целью получения продукции с высокой добавленной стоимостью. Для реализации этих мер потребуются значительные инвестиции, как в производственные мощности, так и в строительство транспортной инфраструктуры, в том числе и новых лесных дорог на удаленных и малоосвоенных территориях концентрированного расположения лесных массивов, в частности в Красноярском крае.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования – анализ эффективности решений по реализации приоритетных проектов в области лесопользования в Красноярском крае при вовлечении в промышленное освоение лесных массивов удаленных и малообжитых районов региона.

Задачи исследования:

1. Рассмотреть методы стимулирования и поддержки лесного сектора в России и за рубежом.
2. Определить эффективность текущих мероприятий по интенсификации освоения лесных ресурсов действующих на территории Красноярского края в рамках реализации приоритетных проектов в области лесопользования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования служили данные о запасах леса, лесопокрываемых площадях, объемах лесозаготовки отдельных субъектов и государств, данные федеральных и муниципальных систем контроля и мониторинга оборота лесной продукции. Использовались источники, расположенные в свободном доступе. В качестве методов исследования использовались анализ данных, метод обобщения, систематизации и построения гипотез.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для изучения перспективных методов и средств поддержки и стимулирования лесного комплекса необходимо изучить опыт промышленно развитых стран. Изучение опыта зарубежных стран по формированию комплекса мер, по стимулированию предприятий лесного комплекса позволит установить перечень инструментов, оказывающих положительное влияние на экономическую активность представителей бизнеса в лесном секторе экономики. Эти инструменты необходимы для освоения новых областей бизнеса и секторов рынка, использования передовых достижений научно-технического прогресса.

В Европе для стимулирования развития лесного комплекса чаще всего используются финансовые инструменты в виде государственных субсидий, снижения налогов, создания фондов поддержки субъектов бизнеса в области лесопользования. Эти мероприятия проводятся в рамках действующих стратегий и законодательных актов, декларирующих главные принципы, на основании которых развивается лесной сектор Евросоюза. К таким принципам относятся: устойчивое и многоцелевое управление лесами, сбалансированное пользование разными ресурсами и услугами леса, обеспечение охраны лесов; ресурсная эффективность оптимизации вклада лесов и лесного сектора в развитие сельских территорий, экономический рост и создание рабочих мест; глобальная ответственность за леса, стимулирование устойчивого (ответственного) производства и потребления лесной продукции [8].

Институциональные меры, принятые для достижения целей устойчивого лесопользования в Евросоюзе, включают поддержку исследований, образования и обучения, улучшенный доступ к лесам и расширение рекреационных возможностей лесных областей, кампании по безопасности и охране здоровья. Инструменты правового регулирования, созданные для достижения этих целей, включают законодательные инструменты, государственную финансовую поддержку, налоговые льготы. Как и в лесном секторе России, в Евросоюзе к основным проблемам относят сокращение численности населения в сельской и лесной местности, снижения уровня занятости населения и числа рабочих мест, истощение лесных ресурсов, нестабильные рынки древесины и трудность прогнозирования эффективного использования древесной биомассы. Шесть Европейских стран сообщили о необходимости постоянно адаптировать систему лесного образования, необходимость решать возникающие проблемы при обеспечении достаточного количества высококвалифицированных специалистов отрасли. Имеется необходимость в повышении квалификации и обмене информацией в области охраны труда, здоровья и труда, консалтинга и трансфера ноу-хау [9].

Чаще всего в Евросоюзе для поддержки лесного сектора выделяются субсидии и гранты (см. таблицу) [10; 11; 12] Субсидии являются целевыми и направляются на обеспечение финансирования конкретного вида деятельности. Для условий России такой инструмент малоприменим, поскольку объектом субсидирования в Европе являются частные объекты лесопользования, т. е. лесные земли, находящиеся в част-

ной собственности. Снижение налогового бремени – достаточно распространенный инструмент, предполагающий снижение или освобождение от налогов на лес, землю, основные фонды, прибыль и т.п. Основ-

ное преимущество такого механизма – высокая гибкость. Меры снижения налоговой нагрузки могут с успехом применяться как для частного бизнеса, так и для государственных предприятий.

Механизмы стимулирования развития в странах Евросоюза

Страны	Реализуемые инструменты поддержки	Область применения
Бельгия, Венгрия, Дания, Хорватия, Чехия, Финляндия, Румыния, Исландия, Ирландия, Великобритания, Франция, Норвегия, Черногория, Норвегия, Словацкая Республика, Швейцария, Австрия, Швеция, Италия	Гранты и субсидии	Планы управления лесами, национальные парки, программы защиты от лесных пожаров и насекомых-вредителей, Поддержка защитных лесов.
		Планирование лесного хозяйства, природоохранные мероприятия, расширение лесов
		Использование лесной биомассы для производства энергии
		«Натура 2000» – сеть охранных участков, выступающих центральным элементом в охране биоразнообразия на территории стран – членов Европейского Союза
		Устойчивое развитие частных лесов Инвестиции в инфраструктуру лесозаготовок
		Облесение и управление лесными массивами в интересах социального обеспечения
Чешская Республика, Франция, Исландия, Латвия, Норвегия, Польша, Румыния, Дания, Ирландия, Испания	Снижение налогов	Снижение или освобождение от налогов
Австрия, Черногория, Румыния	Национальные государственные фонды	Восстановление и поддержка защитных функций лесов
		Лесохозяйственные услуги для частных владельцев лесных земель
		Облесение и создание ветрозащитных лесополос на частных землях
Финляндия, Франция, Швейцария	Льготное кредитование	Развитие частной собственности на лесные земли
		Инвестиции в модернизацию оборудования
		Совершенствование структуры лесных предприятий и используемых методов производства
Болгария, Чехия, Латвия, Черногория, Великобритания, Испания, Румыния	Прочие инструменты	Техническая и управленческая поддержка
		Компенсация за ограничения по лесному управлению
		Соглашения с банками о поддержке социально значимых проектов
		Техническая поддержка, обеспечения бесплатным посадочным материалом собственников лесных земель
		Соглашения по улучшению биоразнообразия лесов и экономической эффективности лесного сектора

Практика создания национальных государственных фондов в качестве инструмента для стимулирования лесопользователей, распространена в Австрии, Румынии, Черногории и направлена, в основном, на поддержку мероприятий лесовосстановления. Меры по поддержке приоритетных направлений лесопользования, например проектов, имеющих цель производство продукции с высокой добавленной стоимостью, распространены в Швеции в виде программ совместного государственного софинансирования. Инструментом поддержки лесопользователей является льготное кредитование. Также широко распространены меры поддержки в виде бесплатных консультационных услуг по вопросам управления и модернизации лесного бизнеса. Эффективность подобные мероприятия в России находится под большим вопросом. Поскольку в настоящее время научно-исследовательские учреждения, которые потенциально могут оказывать подобные консалтинговые услуги, практически утратили связь с реальным сектором экономики в области лесопользования и воспроизводства лесов.

Характерной особенностью России в области формы собственности на лесные массивы является 100 % государственная собственность на леса. Подобная форма собственности, характерна для Канады. В Канаде практически весь лесной фонд состоит в государственной собственности: 94 % всех лесов находится в провинциальной или федеральной собственности [13].

Кроме того, Канада весьма схожа с Россией по природно-климатическим условиям. Меры по поддержке лесопользователей Канады осуществляются в виде программ поддержки на уровне федерации и муниципалитетов. Программы федерального финансирования, поддерживаемые Канадской лесной службой, направлены на диверсификацию лесной продукции, рынков и процессов для поддержки конкурентоспособности лесного сектора Канады. Принято пять основных направлений для поддержки лесного сектора [14].

1. Программа Forest Innovation Program поддерживает исследования, разработки и деятельность по передаче технологий в лесном секторе Канады.

2. Программа «Зеленое строительство через древесину» (GCWood) поощряет более широкое использование древесины в нетрадиционном строительстве в Канаде, стимулируя строительство высотных деревянных зданий, деревянных мостов и малоэтажных деревянных коммерческих зданий.

3. Программа «2 миллиарда деревьев» поддерживает проекты по посадке деревьев в рамках обязательства правительства Канады посадить два миллиарда деревьев к 2030 г. (в рамках программы достижения нулевого уровня выбросов оксида углерода к 2050 г.).

4. Инициатива коренных народов по лесному хозяйству помогает увеличить участие коренных народов в экономике Канады.

5. Программа «Инвестиции в преобразование лесной промышленности» направлена на то, чтобы помочь лесному сектору Канады стать более конкурентоспособным и экологически устойчивым за счет целевых инвестиций в передовые технологии.

Федеральные программы Канады оказывают финансовую поддержку проектам, способствующим внедрению инновационных материалов, технологий и процессов в лесном секторе. С 2007 г. правительство Канады поддерживает инициативы, которые способствуют инновациям и создают новые рыночные возможности для лесного сектора Канады. Осуществлена поддержка более 40 проектов в области выпуска продукции лесопереработки. Реализация проектов обеспечила создание более 5 000 новых рабочих мест. В 2017 г. программа была пролонгирована с обеспечением дополнительного финансирования в размере 63 млн долларов США.

Принимая во внимание обширную зарубежную практику стимулирования инвестиций в лесной сектор, можно сделать вывод о сочетании государственных, законодательных и рыночных механизмов стимулирования. При этом имеется определенная специфика, формируемая как природно-климатическими факторами, расстояниями и логистикой, так и институциональными факторами, формами собственности и особенностями государственного регулирования и управления лесным сектором. Самые широко применяемые меры поддержки – это формирование государственных фондов поддержки, снижение налогов, государственное субсидирование и частичное совместное финансирование.

В Российской Федерации с 2007 года принята и реализуется программа государственной поддержки крупных инвестиционных проектов в области освоения лесов, направленных на создание продукции с высокой добавленной стоимостью. Согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 30.06.2007 № 419 «О приоритетных инвестиционных проектах в области освоения лесов», были предусмотрены меры по стимулированию инвестиционной активности в лесном секторе. Участие в приоритетном инвестиционном проекте дает инвестору право на получение лесосечного фонда без аукциона и 50 % льготы на арендную плату за пользование участком леса.

Относительно успешности проведения мер государственной поддержки инвестиционных проектов с целью стимулирования инвестиций в лесной сектор России мнения существенным образом разнятся. С одной сто-

роны, приводятся факты того, что анализ данных о реализации инвестиционных проектов, получивших государственную поддержку, позволяет установить, правильность выбранной государственной стратегии эффективности этого механизма в целом [15]. С другой стороны, опыт реальной реализации инвестиционных проектов в лесном секторе может быть неудовлетворительным, и даже резко отрицательным [16].

По состоянию на 01.10.2021 на территории Красноярского края реализуется 8 проектов, включенных в перечень приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов. Общая сумма освоенных инвестиций по действующим Проектам по итогам квартала 2021 года составляет 31,93 млрд руб., в том числе в 3 квартале 2021 года – 0,56 млрд руб. [17].

Целый ряд инвестиционных проектов в лесном секторе Красноярского края закончились практически полным провалом. Заявленные объемы производства или не были достигнуты или даже само производство не было запущено. Например, ООО УК «Мекран» закончило свое существование банкротством [18].

ООО «Енисейский фанерный комбинат» прекратил свое существование, договор аренды лесных площадей был расторгнут, объемы производства не составили даже десятой части от запланированного, заявленное производство ориентированно-стружечной плиты (OSB) так и не было запущено [19].

ООО «Приангарский ЛПК», как и многие другие инвестиционные проекты, было создано далеко не с нуля, а на базе законсервированного лесопильного производства в г. Козьмодемьянск. Несмотря на громкие заявления в СМИ о выходе на расчетные показатели производства и в целом успешности проекта выручка ООО «Приангарский ЛПК» в 2020 г. составила 5,2 млрд руб., а чистая прибыль – 59,2 млн руб. Доля чистой прибыли от выручки составляет всего 1,1%. [20] Вместе с тем в своей производственной деятельности ООО «Приангарский ЛПК» может себе позволить нарушения в области экологического законодательства и выплату многомиллионных штрафов [21].

В результате анализа ключевых финансовых показателей, установлено, что финансовое состояние ООО «Приангарский ЛПК» значительно хуже финансового состояния половины всех крупных предприятий, занимающихся лесозаготовками. Финансовое положение ООО «Приангарский ЛПК» значительно хуже, чем у большинства сопоставимых по масштабу деятельности организаций Российской Федерации, отчетность которых содержится в информационной базе ФНС [22].

На январь 2022 года АО Краслеиснвест освоил всего 26 % от объема плановых на отчетный период инвестиций. В рамках ООО Козьмодемьянский ЛПК было создано всего 36 новых рабочих мест (менее чем 16 % от запланированного!) [17]. Разве это те высокие результаты, на которые был расчет при запуске приоритетных инвестиционных проектов, которые должны были стать драйверами развития лесных территорий Красноярского края?

По информации счетной палаты Красноярского края [23] всего в регионе осуществлялась реализация 21 инвестиционного проекта, из которых 5 были исключены из данного перечня в связи с неисполнением

обязательств, еще 5 признаны успешно завершёнными, при этом только 2 из них в настоящее время продолжают успешно работать, остальные 11 находятся на разных стадиях реализации. При этом: производство продукции в полном объеме не осуществляется ни на одном из проектов; не создано 1 860 рабочих мест (при плане на 01.10.2018 – 4 406 работников, привлечено 2 546 чел.); не обеспечено поступление налоговых платежей в консолидированный бюджет Красноярского края в размере 7,0 млрд руб. Инвестиционные проекты не оказали существенного влияния на динамику индексов производства, на поступление доходов в краевой бюджет, численность работников лесного комплекса с 2010 г. по 2019 г. сократилась почти вдвое (с 31 896 человек, до 17 971 чел.), более чем в 3 раза увеличился убыток лесозаготовительных, лесоперерабатывающих организаций до налогообложения (в 2009 г. – 1,27 млрд руб., в 2019 г. – 4,15 млрд руб.).

Интенсивная лесозаготовка в рамках действия инвестиционных проектов, сопровождается повсеместным нарушением экологических норм и правил, в полном объеме не выполнено ни одно противопожарное и лесовосстановительное мероприятие [23].

Анализируя объемы лесозаготовок (рис. 3), опираясь на данные по Российской Федерации [4], можно констатировать резкое (более чем в 2 раза) снижение объемов заготовки в период начала 1990-х годов и выход на практически стабильное плато объемов в диапазоне 91...137 млн м³. Однако, если оценить показатели площадей лесных пожаров (рис. 4), будет прослеживаться катастрофическая положительная их динамика. Прирост площади лесных пожаров для данных 2020 года по сравнению с 1992 составляет +8508,5 тыс. га или в 13 раз. При этом в 1992 году было заготовлено 238 млн м³, а в 2020 – 137 млн м³ древесины.

По данным Greenpeace 2021 год назван самым катастрофическим годом для лесов России, пожарами пройдено 18,1 млн га [24].

Только 9 % территории Красноярского края отнесено к зоне наземного мониторинга лесных пожаров, на площади 17 % осуществляется авиационный мониторинг, и на 73 % территории организован спутниковый мониторинг лесных пожаров [25]. Такое крайне неравномерное распределение обусловлено лесопожарной характеристикой земель лесного фонда, наличием и состоянием дорожной сети и социальной значимостью лесов.

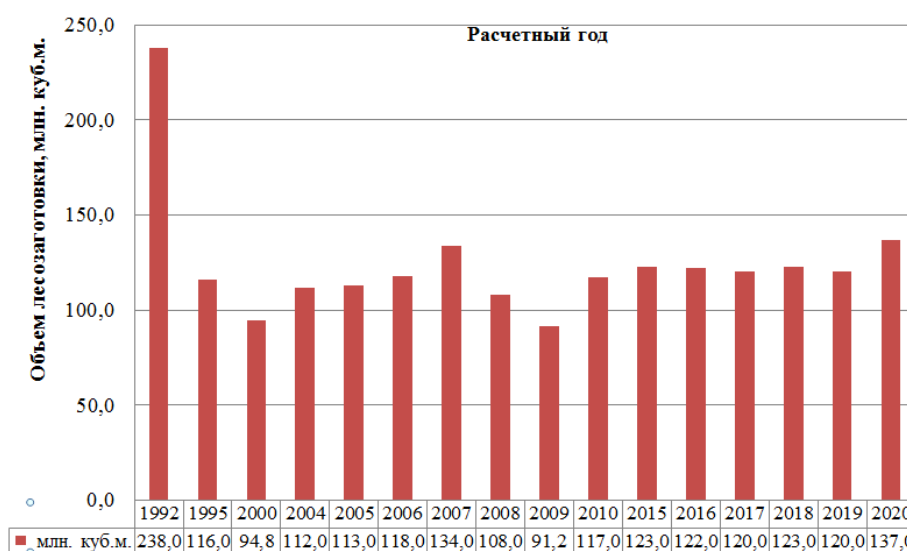


Рис. 3. Объем лесозаготовки в России, млн м³

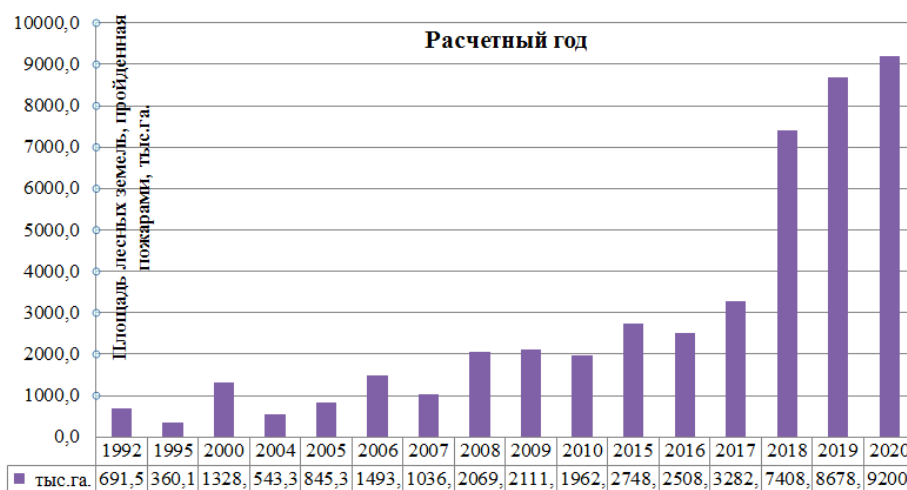


Рис. 4. Площадь лесных пожаров в России, тыс. га

По информации Министерства промышленности и торговли РФ, на конец 2020 года в области лесопользования действуют 153 инвестиционных проекта, с заявленным объемом финансирования 630 млрд руб. За время действия механизма поддержки лесного комплекса в виде инвестиционных проектов, были задействованы 234 проекта, но 81 проект (или 35 % от общего числа) были исключены за различные нарушения [26].

Реализация инвестиционных проектов повсеместно осуществляется с многочисленными нарушениями, не создаются запланированные новые рабочие места, нарушаются сроки, не выполняются заявленные объемы ввода в эксплуатацию производственных мощностей и объектов глубокой переработки лесосырьевых ресурсов. В связи с этим, с 2018 г. [27] в России приняты более жесткие требования к реализации приоритетных инвестиционных проектов в области лесопромышленного комплекса. С 2018 года срок действия пониженной платы за лесопользование зависит от объема инвестиций и начинается только с введением лесоперерабатывающих мощностей в эксплуатацию, а до этого момента арендная плата начисляется в полном объеме. Изменился порядок включения инвестиционных проектов в перечень приоритетных: объем инвестиций должен составлять не менее 500 млн руб. на модернизацию предприятий лесопромышленной инфраструктуры и не менее 750 млн руб. на создание новых объектов (причем объем инвестиций на создание объектов лесной инфраструктуры не должен превышать 20 % общей суммы). При этом инвестор должен документально подтвердить наличие у него собственных или заемных средств в объеме не менее чем 50 % от необходимых на весь проект, или 25 % необходимых на первые два года, если срок реализации проекта превышает три года.

Особенно острой остается проблема вовлечения в промышленную переработку низкосортной, низкотоварной древесины, спрос и переработка которой возможен только при условии создания предприятия-утилизатора такого сырья. Для производства пеллет, плит МДФ такое сырье подходит лишь частично, поскольку здесь требуются лесоматериалы достаточно высокого качества (в основном отходы лесопиления), тем более что продукция ориентирована на весьма требовательный внешний рынок [28].

Вариантом технологии освоения таких ресурсов может быть технология древесно-минеральных композитов. Технология позволяет получить местный качественный строительный материал, превосходящий по тепловой эффективности, паропроницаемости, пониженной пожарной опасности традиционные строительные материалы. Строительство объектов на основе этой технологии имеет такие преимущества, как уменьшение в несколько раз объемов завозимых материалов, возможность изготовления строительных материалов на местах, преимущественно из местного сырья [29]. Однако ни один из инвестиционных проектов Красноярского края не предусматривает производство подобной продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для обеспечения устойчивого функционирования лесного сектора экономики за рубежом и в Российской Федерации применяются различные инструменты стимулирования. В зависимости от права собственности

на лесные ресурсы, региональные особенности, формы поддержки лесного сектора достаточно разнообразны и представлены мерами государственного стимулирования инвестиционной активности. Анализ методов государственной поддержки лесного бизнеса, применяемых за рубежом, позволяет сделать вывод о практической невозможности или нецелесообразности применения их в условиях Российской Федерации.

Технология приоритетных инвестиционных проектов в области лесного сектора получила широкое распространение в России в качестве меры по поддержке инвестиционной активности лесного бизнеса и развития ранее малоосвоенных лесных массивов и территорий. Анализ данных об успешности реализации приоритетных инвестиционных проектов лесного сектора Красноярского края установил недостаточную эффективность механизма приоритетного инвестирования.

Среди причин недостаточной эффективности инвестиционных проектов в области лесного сектора можно выделить отсутствие реальной мотивации участников инвестиционных проектов в части гарантированного обеспечения заявленных показателей в части ввода в эксплуатацию объектов глубокой промышленной переработке древесины, создании новых рабочих мест, вовлечении в производство высоких достижений научно-технического прогресса, производства современных материалов с высокой добавленной стоимостью. В основном, интерес участников таких проектов ограничивается на моменте льготного получения лесосырьевых баз и возможности заготовки круглых лесоматериалов. Нередко инвестиционные проекты прекращают свою деятельность по причинам невыполнения обязательств, банкротства предприятий, недостатка или отсутствия инвестиций или расторжении договоров аренды лесных площадей из-за несвоевременной оплаты платежей, нарушений правил лесопользования. Кроме того, круглые лесоматериалы, недостаточного уровня переделов, имеют невысокую рентабельность, а строительство центров по производству высоколиквидной продукции (плиты, мебель, деревянные конструкции, целлюлоза, строительные материалы) требует колоссальных инвестиций с длительным сроком окупаемости.

Можно сделать вывод о том, что тренд опережающего развития лесных регионов Сибири посредством реализации приоритетных проектов в области лесопользования так и не был реализован. Не произошла коренная перестройка лесного комплекса на основе глубокой переработки лесных ресурсов с целью получения продукции с высокой добавленной стоимостью. Запланированные социально-демографические эффекты, рост привлекательности и числа рабочих мест в лесном секторе также не были достигнуты. Вместе с тем, в рамках инвестиционных проектов, идет интенсивная эксплуатация уже истощенных лесосырьевых баз. При этом не осуществляется строительство лесных дорог и объектов инфраструктуры для глубокого проникновения в ранее не освоенные, малонаселенные части региона, не производятся достаточные объемы работ по лесовосстановлению. Эти явления приводят к еще большей расстроенности лесов, росту числа пожаров, увеличению дефицита доступных лесных ресурсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Глобальная оценка лесных ресурсов: страновые доклады. 2018 / Продовольственная и сельскохозяйственная ООН. URL: <http://www.fao.org/forest-resources-assessment/fra-2020/country-reports/ru/> (дата обращения: 10.01.2022).
2. ФАОСТ-АТ: Производство и торговля лесной продукцией. 2020. URL: <http://www.fao.org/faostat/ru/#data/FO> (дата обращения: 10.01.2022).
3. India. Wood and Wood Products Update 2019. URL: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Wood%20and%20Wood%20Products%20Update%202019_New%20Delhi_India_4-17-2019.pdf (дата обращения: 18.02.2022).
4. Россия в цифрах. 2020: Крат. стат. сб. / Росстат. М., 2020. 550 с.
5. Гордеев Р. В., Пыжев А. И., Зандер Е. В. Лесопромышленный комплекс Красноярского края: тенденции и перспективы развития // Региональная экономика: теория и практика. 2017. № 1 (436). С. 4–18.
6. Ковалев Р. Н., Долматов С. Н., Колесников П. Г. Экономическое обоснование вида транспорта при логистике лесоматериалов // Системы Методы Технологии. 2022 № 1 (53). С. 129–137.
7. Пыжева Ю. И., Зандер Е. В., Пыжев А. И. Лесная рента в экономике России: оценка и эффективное использование : монография. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2015. 200 с.
8. EU forestry. URL: <https://clck.ru/SmqSN> (дата обращения: 02.02.2022).
9. OREST EUROPE, 2020: State of Europe's Forests 2020. URL: https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2016/08/SoEF_2020.pdf (дата обращения: 06.03.2022).
10. Rametsteiner E., Sotirov M. (2015): Overall Policies, Institutions and Instruments for Sustainable Forest Management. In FOREST EUROPE, 2015: State of Europe's Forests 2015.
11. Geitzenauer, M., Blondet, M., de Koning, J., Ferranti, F., Sotirov, M., Weiss, G., Winkel, G. (2017): The Challenge of Financing the Implementation of Natura 2000 – Empirical Evidence from Six European Union Member States. *Forest Policy and Economics* 82 (2017): 3–13.
12. Aggestam F., Konczal A., Sotirov M., Wallin I., Paillet Y., Spinelli R., Lindner M., Derks J., Hanewinkel M., Winkel G. (2020): Can nature conservation and wood production be reconciled in managed forests? A review of driving factors for integrated forest management in Europe. *Journal of Environmental Management* 268 (2020) 110670.
13. Лесное хозяйство Канады: ресурсы, торговля, управление. URL: <https://www.derevo.info/content/detail/678> (дата обращения: 17.03.2022).
14. Forest sector funding programs. URL: <https://www.nrcan.gc.ca/science-and-data/funding-partnerships/funding-opportunities/forest-sector-funding-programs/13123> (дата обращения: 21.03.2022).
15. Иванцова Е. Д. Механизмы стимулирования инвестиций в лесной сектор экономики: анализ мирового опыта в контексте целесообразности его применения в России // Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика». 2020. Том 15. № 4. С. 566–586.
16. Гордеев Р. В., Пыжев А. И., Зандер Е. В. Лесопромышленный комплекс Красноярского края: тенденции и перспективы развития // Региональная экономика: теория и практика. 2017. № 1 (436). С. 4–18.
17. Приоритетные инвестиционные проекты в области освоения лесов, реализуемые на территории Красноярского края. URL: <http://mlx.krskstate.ru/napravdeet/investproekt> (дата обращения: 21.03.2022).
18. «Мекран». Драма или афера? URL: https://www.promebel.com/monitoring/v_zerkale_rynka/a12608.html (дата обращения: 22.03.2022).
19. Енисейский фанерный комбинат. URL: <https://krasnoyarsk.dk.ru/wiki/eniseyskiy-fanernyy-kombinat> (дата обращения: 22.03.2022).
20. Информация о компании «Приангарский ЛПК». URL: <https://alestech.ru/factory/181-priangarskiy-lpk> (дата обращения: 21.03.2022).
21. За огромную свалку отходов лесопиления предприятие в Кежемском районе заплатит больше 2 млн рублей. URL: <https://newslab.ru/news/1007202> (дата обращения: 21.03.2022).
22. Финансовое состояние ООО «Приангарский ЛПК». Сравнительный анализ по данным ФНС. URL: https://www.testfirm.ru/result/2463223960_ooo-priangarskiy-lpk (дата обращения: 21.03.2022).
23. Информация о результатах оценки реализации в крае приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов. URL: <http://www.spkrk.ru/index.php/blog/informatsiya-ob-ekspertno-analiticheskikh-meropriyatiyakh/204-informatsiya-ob-ekspertno-analiticheskikh-meropriyatiyakh-za-2019/2887-informatsiya-o-rezultatakh-otsenki-realizatsii-v-krae-prioritetnykh-investitsionnykh-proektov-v-oblasti-osvoeniya-lesov> (дата обращения: 21.03.2022).
24. Greenpeace подробнее на РБК. URL: <https://www.rbc.ru/society/19/09/2021/61470ed89a79471e522f66d9> (дата обращения: 21.03.2022).
25. Пономарев Е. И., Швецов Е. Г. Спутниковое детектирование лесных пожаров и геоинформационные методы калибровки результатов // Исследование Земли из космоса. 2015. № 1. С. 84–91.
26. Перечень приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов. Минпромторг России, 2020. URL: https://minpromtorg.gov.ru/docs/#!/perechen_prioritetnyh_investitsionnykh_proektov_v_oblasti_osvoeniya_lesov (дата обращения: 06.03.2022).
27. Постановление Правительства РФ от 23 февраля 2018 г. № 190 «О приоритетных инвестиционных проектах в области освоения лесов и об изменении и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации» (с изм. и доп.). URL: <https://base.garant.ru/71888832/> (дата обращения: 23.03.2022).
28. Антонова Н. Е. Лесной комплекс Дальнего Востока: есть ли задел под будущее развитие? // ЭКО. 2019. № 5. С. 27–47.
29. Ковалев Р. Н., Долматов С. Н. Анализ сырьевого потенциала поврежденных лесов Красноярского края в целях промышленного производства древесно-цементных композитов // Хвойные бореальные зоны. 2022. № 6 (39). С. 483–492.

REFERENCES

1. Global'naya ocenka lesnykh resursov: stranovye doklady. 2018 / Prodovol'stvennaya i sel'skohozyajstvennaya OON. URL: <http://www.fao.org/forest-resources>

assessment/fra-2020/country-reports/ru/ (data obrashcheniya: 10.01.2022).

2. FAOST-AT: Proizvodstvo i trgovlya lesnoj produkciej. 2020. URL: <http://www.fao.org/faostat/ru/#data/FO> (data obrashcheniya: 10.01.2022).

3. India. Wood and Wood Products Update 2019. URL: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Wood%20and%20Wood%20Products%20Update%202019_New%20Delhi_India_4-17-2019.pdf (data obrashcheniya: 18.02.2022).

4. Rossiya v cifrah. 2020: Krat. stat. sb./ Rosstat. M., 2020. 550 s.

5. Gordeev R. V., Pyzhev A. I., Zander E. V. Lesopromyshlennyy kompleks Krasnoyarskogo kraja: tendencii i perspektivy razvitiya // Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika. 2017. № 1 (436). S. 4–18.

6. Kovalev R. N., Dolmatov S. N., Kolesnikov P. G. Ekonomicheskoe obosnovanie vida transporta pri logistike lesomaterialov // Sistemy Metody Tekhnologii. 2022 № 1 (53) S. 129–137.

7. Pyzheva Yu. I., Zander E. V., Pyzhev A. I. Lesnaya renta v ekonomike Rossii: ochenka i effektivnoe ispol'zovanie : monografiya / Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2015. 200 s.

8. EU forestry. URL: <https://clck.ru/SmqSN> (data obrashcheniya: 02.02.2022).

9. OREST EUROPE, 2020: State of Europe's Forests 2020. URL: https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2016/08/SoEF_2020.pdf (data obrashcheniya: 06.03.2022).

10. Rametsteiner, E., Sotirov, M. (2015): Overall Policies, Institutions and Instruments for Sustainable Forest Management. In FOREST EUROPE, 2015: State of Europe's Forests. 2015.

11. Geitzenauer, M., Blondet, M., de Koning, J., Ferranti, F., Sotirov, M., Weiss, G., Winkel, G. (2017): The Challenge of Financing the Implementation of Natura 2000 – Empirical Evidence from Six European Union Member States. Forest Policy and Economics 82 (2017): 3–13.

12. Aggestam, F., Konczal, A., Sotirov, M., Wallin, I., Paillet, Y., Spinelli, R., Lindner, M., Derks, J., Hanewinkel, M., Winkel, G. (2020): Can nature conservation and wood production be reconciled in managed forests? A review of driving factors for integrated forest management in Europe. Journal of Environmental Management. 268 (2020). 110670.

13. Lesnoe hozyajstvo Kanady: resursy, trgovlya, upravlenie. URL: <https://www.derevo.info/content/detail/678> (data obrashcheniya: 17.03.2022).

14. Forest sector funding programs. URL: <https://www.nrcan.gc.ca/science-and-data/funding-partnerships/funding-opportunities/forest-sector-funding-programs/13123> (data obrashcheniya: 21.03.2022).

15. Ivancova E. D. Mekhanizmy stimulirovaniya investitsij v lesnoj sektor ekonomiki: analiz mirovogo opyta v kontekste celesoobraznosti ego primeneniya v Rossii // Vestnik Permskogo universiteta. Ser. "Ekonomika". 2020. Tom 15. № 4. S. 566–586.

16. Gordeev R. V., Pyzhev A. I., Zander E. V. Lesopromyshlennyy kompleks Krasnoyarskogo kraja:

tendencii i perspektivy razvitiya // Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika. 2017. № 1 (436). S. 4–18.

17. Prioritetnye investicionnye proekty v oblasti osvoeniya lesov, realizuemye na territorii Krasnoyarskogo kraja URL: <http://mlx.krskstate.ru/napravdeet/invest-proekt> (data obrashcheniya: 21.03.2022).

18. "Mekran". Drama ili afera? URL: https://www.promebel.com/monitoring/v_zerkale_rynka/a12608.html (data obrashcheniya: 22.03.2022).

19. Enisejskij fanernyy kombinat. URL: <https://krasnoyarsk.dk.ru/wiki/eniseyskiy-fanernyy-kombinat> (data obrashcheniya: 22.03.2022).

20. Informaciya o kompanii "Priangarskij LPK". URL: <https://alestech.ru/factory/181-priangarskiy-lpk> (data obrashcheniya: 21.03.2022).

21. Za ogromnyu svalku othodov lesopileniya predpriyatие v Kezhemskom rajone zaplatit bol'she 2 mln. Rublej. URL: <https://newslab.ru/news/1007202> (data obrashcheniya: 21.03.2022).

22. Finansovoe sostoyanie OOO "Priangarskij LPK". Sravnitel'nyj analiz po dannym FNS. URL: https://www.testfirm.ru/result/2463223960_ooo-priangarskiy-lpk (data obrashcheniya: 21.03.2022).

23. Informaciya o rezul'tatah ocenki realizacii v krae prioritnyh investicionnyh proektov v oblasti osvoeniya lesov. URL: <http://www.spkrk.ru/index.php/blog/informatsiya-ob-ekspertno-analiticheskikh-meropriyatiyakh/204-informatsiya-ob-ekspertno-analiticheskikh-meropriyatiyakh-za-2019/2887-informatsiya-o-rezultatakh-otsenki-realizatsii-v-krae-prioritnykh-investitsionnykh-proektov-v-oblasti-osvoeniya-lesov> (data obrashcheniya: 21.03.2022).

24. Greenpeace podrobnее na RBK. URL: <https://www.rbc.ru/society/19/09/2021/61470ed89a79471e522f66d9> (data obrashcheniya: 21.03.2022).

25. Ponomarev E. I., Shvecov E. G. Sputnikovoe detektirovanie lesnyh pozharov i geo-informacionnye metody kalibrovki rezul'tatov // Issledovanie Zemli iz kosmosa, 2015. № 1. S. 84–91.

26. Perechen' prioritnyh investicionnyh proektov v oblasti osvoeniya lesov. Min-promtorg Rossii, 2020. URL: https://minpromtorg.gov.ru/docs/#!/perechen_prioritnyh_investicionnyh_proektov_v_oblasti_osvoeniya_lesov (data obrashcheniya: 06.03.2022).

27. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 23 fevralya 2018 g. № 190 "O prioritnyh investicionnyh proektah v oblasti osvoeniya lesov i ob izmenenii i priznanii utrativshimi silu nekotoryh aktov Pravitel'stva Rossijskoj Federacii" (s izmeneniyami i dopolnениyami). URL: <https://base.garant.ru/71888832/> (data obrashcheniya: 23.03.2022).

28. Antonova N. E. Lesnoj kompleks Dal'nego Vostoka: est' li zadel pod budushchee razvitie? // EKO. 2019. № 5. S. 27–47.

29. Kovalev R. N., Dolmatov S. N. Analiz syr'evogo potenciala povrezhdennyh lesov Krasnoyarskogo kraja v celyah promyshlennogo proizvodstva drevesno-cementnyh kom-pozitov // Hvojnye boreal'nye zony. 2022. № 6 (39). S. 483–492.

© Долматов С. Н., Ковалев Р. Н., 2022

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ЗАЩИТНЫХ И КОРМОВЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ЖИВОТНЫХ ПРИ ЛЕСНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ*

А. В. Ковалевский^{1, 2, 3}, Е. М. Лучникова¹, А. В. Филиппова¹, С. И. Гашков³,
К. С. Зубко¹, Л. А. Воронина³

¹ Кемеровский государственный университет

Российская Федерация, 650000, Кемерово, ул. Красная, 6

² Томский сельскохозяйственный институт – филиал Новосибирского ГАУ
Российская Федерация, 634050, Томск, ул. Карла Маркса, 19

³ Национальный исследовательский Томский государственный университет
Российская Федерация, 634050, Томск, просп. Ленина, 6

E-mail: passer125@yandex.ru, lut@yandex.ru, sasha1977@ngs.ru,
parusmajorl@rambler.ru, pustota78@mail.ru, vl79@mail.ru

На землях, нарушенных в процессе горнодобывающей деятельности, должна проводиться обязательная биологическая рекультивация. Современные представления о сохранении биоразнообразия предполагают формирование сообществ, максимально приближенных к естественным. Цель настоящей работы: обобщение опыта биологической рекультивации и ведения охотничьего хозяйства для разработки базовых подходов к лесной рекультивации нарушенных земель, предполагающей формирование защитных и кормовых условий для успешного обитания растительноядных объектов животного мира. Обследование рекультивированных 30–40 лет назад отвалов показало, что во всех случаях обилие животных значительно уступало таковому на ненарушенных территориях. Применяемый способ монокультур не обеспечивает благоприятных условий для животных, поэтому предпочтительнее создавать многовидовые смешанные насаждения. Доля кустарников должна составлять около 50 % всего древостоя, поскольку именно кустарниковые заросли создают защитные условия для гнездования многих певчих птиц и обеспечивают животных кормом. При лесной рекультивации необходимо предусмотреть формирование протяжённой опушечной линии, в том числе закладывать лесные поляны, которые в летнее время будут выступать в качестве мест жировок для зверей и птиц. Доля бобовых как основного источника растительного белка на полянах, в травосмесях должна составлять не менее 20 %. Для обеспечения благоприятных кормовых условий также важны луга и водопои, поэтому берега затопляемых карьеров должны быть максимально выположены и переходить в мелководье для обеспечения формирования сырых лугов. Часть береговой линии необходимо засаживать ивняком *Salix L.*, который будет создавать защитные условия для околоводных птиц, а прогреваемые мелководья обеспечат их кормом.

Ключевые слова: Кузбасс, уголь, террикон, Кемеровская область, биоразнообразие, тайга, флора, фауна, растения, животные, отвал.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 4, P. 289–295

BIOLOGICAL FOUNDATIONS FOR CREATING PROTECTIVE AND FEEDING CONDITIONS FOR ANIMALS DURING FOREST RECLAMATION OF DISTURBED LANDS OF THE BOREAL ZONE

A. V. Kovalevskiy^{1, 2, 3}, E. M. Luchnikova¹, A. V. Filippova¹, S. I. Gashkov³,
K. S. Zubko¹, L. A. Voronina³

¹ Kemerovo State University

6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russian Federation

² Novosibirsk State Agricultural University

19, Karl Marx Str., Tomsk, 634050, Russian Federation

³ National Research Tomsk State University

6, Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russian Federation

E-mail: passer125@yandex.ru, lut@yandex.ru, sasha1977@ngs.ru,
parusmajorl@rambler.ru, pustota78@mail.ru, vl79@mail.ru

Lands disturbed by the mining activities should be subject to mandatory biological reclamation. Modern ideas about the conservation of biological diversity suggest the formation of nature-like communities within the framework of reclamation. The purpose of our work is to capitalize many years of experience in biological reclamation and hunting

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-44-420008.

management to develop basic approaches to forest reclamation of disturbed lands, from the standpoint of the formation of protective and fodder conditions for the future forest to ensure the successful resettlement of herbivorous wildlife. Study of coal mines dumps reclaimed 30–40 years ago showed that in all cases the abundance of animals was significantly inferior to that in undisturbed territories. The monoculture method used does not provide favorable conditions for animals, therefore it is preferable to create multi-species mixed plantations. The proportion of shrubs should be about 50% of the total forest stand, since it is shrubs that create protective conditions for the nesting of many songbirds and provide animals with food. During forest reclamation, it is necessary to provide for the formation of an extended edge line, including the laying of forest glades, which in the summer will act as places for feeding animals and birds. The share of legumes in glades, as the main source of vegetable protein, in grass mixtures should be at least 20 %. Meadows and watering places are also important to ensure favorable feeding conditions. Therefore, the banks of flooded quarries should be as flattened as possible and go into shallow water to ensure the formation of wet meadows. Part of the shoreline should be planted with willow *Salix* L., which will create protective conditions for near-water birds, and warmed shallow waters will provide them with food.

Keywords: Kuzbass, coal, spoil tip, Kemerovo Region, biodiversity, taiga, flora, fauna, plants, animals, coal mine dump.

ВВЕДЕНИЕ

При рекультивации нарушенных земель сохранение биологического разнообразия предполагает формирование сообществ максимально приближенных к естественным.

Добыча угля, особенно открытым способом, приводит к масштабным трансформациям природных сообществ, при которых идёт полное уничтожение естественных ландшафтов. Добыча 1 млн т угля открытым способом сопровождается нарушением 35–50 га земной поверхности. При этом формируются техногенные ландшафты, представленные глубокими карьерами и каменистыми отвалами вскрышных горных пород, лишённые какого-либо плодородного почвенного слоя.

В Кемеровской области на территории Кузнецкого угольного бассейна (Кузбасса) масштабы добычи угля превышают темпы восстановления нарушенных земель. Площадь нарушенных земель оценивается примерно в 100 тыс. га. К настоящему времени рекультивировано не более 1/5 нарушенных территорий Кузбасса [4].

Используемые в настоящее время технологии лесной рекультивации не направлены на восстановление исходных растительных сообществ и основаны на высадке древесных растений, способных быстро закрепиться на нарушенных участках, без учёта пригодности формирующегося растительного сообщества для обитания коренной фауны. Так, сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L., повсеместно используемая в Сибири при рекультивации нарушенных земель, образует загущенные бедные видами мертвopoкpoвные леса, где даже через 40 лет обилие и разнообразие растений и животных не достигает и половины живой составляющей в исходных биоценозах [4].

Несмотря на появление новых рекомендаций по формированию многовидового растительного покрова при восстановлении нарушенных земель [6; 11], они не учитывают необходимость создания кормовых и защитных условий для обитания животных, что не только противоречит сложившимся представлениям по сохранению биологического разнообразия, но и не соответствует современным требованиям Российского национального стандарта ГОСТ-57446–2017 «Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нару-

шенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия», который определяет приоритет восстановления биологического разнообразия по образцу природных сообществ.

Цель настоящей работы: обобщение опыта биологической рекультивации и ведения охотничьего хозяйства для разработки базовых подходов к лесной рекультивации нарушенных земель, предполагающей формирование защитных и кормовых условий для успешного обитания растительных объектов животного мира.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основании собственных исследований и литературных источников нами был проведён анализ видов деревьев и кустарников, необходимых для рекультивации с позиций формирования благоприятных условий для объектов животного мира. Подбор растений осуществлялся на основе проведённой ранее оценки успешности их использования для рекультивации на отвалах [4].

Ассортимент растений основан на экологических потребностях основных видов промысловой фауны: заяц-беляк *Lepus timidus* (Linnaeus, 1758), сибирская косуля *Capreolus pygargus* (Pallas, 1771), рябчик *Tetrastes bonasia* (Linnaeus, 1758) и тетерев-косач *Lyrurus tetrix* (Linnaeus, 1758). Выбор животных обусловлен тем, что во время проведения зимних маршрутных учётов именно они были обнаружены на отвалах, рекультивированных в 1980-х гг. [4; 8].

Зимние маршрутные учёты проводились в феврале по стандартной методике [5] в окрестностях д. Андреевка Кемеровской области (55°29' с. ш., 86°11' в. д.) в 2020 г. и в окр. г. Новокузнецк (53°53' с. ш., 87°21' в. д.) в 2021 г. Для оценки фаунистического разнообразия также были проведены учёты представителей промысловой фауны. Учёты птиц проводились методом маршрутных учётов на трансектах, мелких млекопитающих – при помощи 50-метровых ловчих канавок ловчими цилиндрами [9] летом 2020 и 2021 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для восстановления фаунистического разнообразия формируемый в рамках рекультивации биотоп

должен выполнять две основополагающие функции – кормовую и защитную. Ниже мы приводим сведения о биологических потребностях основных видов промысловой фауны региона, обитающих на рекультивированных территориях.

Заяц-беляк принадлежит к числу наиболее широко распространённых и массовых по численности видов охотничьей дичи, обнаружен на всех обследованных участках. Кормится он, как правило, в местах с изреженным древостоем, на заболоченных берегах различных водоёмов. Летом поедает травянистые растения и зелёные части деревьев и кустарников. Зимой беляк переходит на веточные корма. Основу веточного корма составляют ива *Salix* L. и осина *Populus tremula* L., к малокормным относятся берёза *Betula* L. и лиственница *Larix* Mill. Лучшими угодами для зайца-беляка можно считать лиственные молодняки до 10 лет с участием 50–80 % кормовых пород (осина, ива) и при высоте их не выше 1,5–2 м. С переходом подроста в категорию жердняки они теряют своё кормовое значение [3; 16].

Сибирская косуля обитает в лесной и лесостепной зонах, избегает сплошных таёжных массивов, предпочитает разреженные смешанные, светлосвойные или лиственные леса с кустарником и хорошо развитым злаково-разнотравным травостоем, опушки, лесные поляны. На рекультивируемых территориях тяготеет к самозарастающим отвалам, примыкающим к черневой тайге. Зимой в рационе косули преобладают веточные корма: ива, берёза, осина, карагана древовидная *Caragana arborescens* Lam., сосна обыкновенная, рябина сибирская *Sorbus sibirica* L., жимолость *Lonicera* L., реже кизильник *Cotoneaster* Medik., спирея *Spiraea* L., а так же сухая ветошь вейника *Calamagrostis* Adans. и осоки *Carex* L. Весной косуля переходит на питание листьями деревьев и кустарников и травянистыми растениями. Осенью едят ягоды, орехи, иногда плодовые тела маслят, рыжиков, подберёзовиков и подосиновиков [12; 14].

Рябчик тяготеет к хвойным и смешанным лесам, предпочитая темнохвойные насаждения из пихты сибирской *Abies sibirica* Ledeb., сосны сибирской *Pinus sibirica* De Tour и ели сибирской *Picea obovata* Ledeb. В сосновых лесах рябчик выбирает те участки, где имеется примесь ели или есть хорошо развитый подлесок. Точно так же рябчик ведёт себя в берёзовых лесах, в которых селится только при наличии елового или пихтового подроста. Отмечают, что для привлечения рябчика, на каждом гектаре должна быть как минимум одна куртина, состоящая из 12–25 молодых елей или пихт. В наших исследованиях был обнаружен только на опушке мертвopoкpoвных сосняков, примыкающих к черневой тайге. Основным зимним кормом рябчика в районе исследования являются хвоя пихты, серёжки и почки берёзы, почки различных видов ив, плоды черёмухи *Padus avium* Mill. и рябины, которые часто удерживаются на ветках до весны. Весной, уже с появлением свежей зелени, рябчик продолжает питаться хвоей пихты, что говорит о важности этого вида не только как защитного, но и кормового растения. Летом у взрослых птиц преобладают семена и листья различных растений, ягоды: малина

Rubus idaeus L., красная смородина *Ribes spicatum* Robson., черёмуха, шиповник *Rosa* L., брусника *Vaccinium vitis-idaea* L., земляника *Fragaria* L., черника *Vaccinium myrtillus* L., костяника *Rubus saxatilis* L., берёза, ива, липа *Tilia* L. [12; 15].

Гнездовые участки рябчика расположены по опушечной линии. Гнездятся рябчики на земле. Важным условием является защита гнезда. Гнездо, как правило, расположено под кустом и окружено группой из 6–7 молодых елей, пихт или валежником. Поблизости от гнезда всегда есть небольшие поляны или прогалины. Птенцы преимущественно питаются беспозвоночными на лесных полянах.

Тетерев-косач, в отличие от рябчика, активно селится по опушкам лесов с преобладанием берёзы. Берёза обычно доминирует в зимних кормах, тетерева поедают её серёжки и почки с частями веточек, а также незрелые шишки сосны, плоды облепихи *Hippophae* L. и других кустарников, до которых может дотянуться эта тяжёлая птица. Некоторые популяции приспособляются к активному питанию кедровыми орешками [4; 8; 12]. Весной тетерев переходит на питание наземным кормом – перезимовавшими ягодами брусники, клюквы *Oxycoccus palustris* Pers. и зелёными частями растений, начинающих вегетацию (чина *Lathyrus* L., мышиный горошек *Vicia cracca* L., разные виды клевера *Trifolium* L.). Доля животного корма, представленного насекомыми, достигает 50–60 %. Пищевой рацион птенцов первые 2 недели на 95 % состоит из различных беспозвоночных. Примерно с середины июля до конца сентября большинство выводков питается на ягодниках [12; 17]. В наших исследованиях тетерев встречался на склонах отвалов, рекультивированных берёзой, самозарастающих отвалах и на ягодниках.

Исследования отвалов, рекультивированных 30–40 лет назад показали, что сформированные сообщества не обеспечивают необходимые условия для расселения объектов животного мира [4; 8]. Однако в пределах рекультивированных территорий выделяются участки с большей или меньшей привлекательностью для зверей и птиц в целом, а также участки, привлекающие для отдельных видов животных.

Для перелётных певчих птиц оказались привлекательны заросли облепихи крушиновидной *Hippophae rhamnoides* L., где в гнездовой период обилие птиц было сопоставимо с коренными ценозами. Зимой заросли облепихи посещались кочующими в поисках корма рябинниками *Turdus pilaris* (Linnaeus, 1758) и шурами *Pinicola enucleator* (Linnaeus, 1758), а тетерева держались до полного объедания плодов, после чего откочёвывали в прилегающие леса [8].

Зрелые мертвopoкpoвные сосняки, напротив, оказались малопривлекательными для животных. При рекультивации сосну обыкновенную обычно высаживают с плотностью 3300–4500 шт./га, что в конечном итоге приводит к формированию перегущенных сосновых лесов, которые животными почти не посещаются. Если молодые сосняки ещё привлекательны для зайца-беляка и сибирской косули, то вглубь зрелых перегущенных сосновых насаждений животные не заходят. В целях формирования благоприятных усло-

вий для животных, посадки деревьев должны быть неравномерными, с разреженными участками — это даёт возможность формирования многовидового травянистого и кустарникового ярусов.

Наиболее высокое обилие и разнообразие животных отмечается на экотонных участках, играющих важную роль в создании кормовой базы, независимо от сезона года. Ценность опушек возрастает не только из-за формирования особых растительных комплексов, здесь отмечается большая питательность кормов, по сравнению с теми же видами, произрастающими в глубине леса. Например, из-за более мощной инсоляции содержание углеводов в годичной хвое сосны обыкновенной на опушке почти в 2 раза выше, чем у произрастающей в глубине леса. Ширина действия опушечного эффекта обычно не превышает 100–200 м. Таким образом, при формировании лесных насаждений для обеспечения максимальной кормовой ёмкости необходимо предусмотреть протяжённую с глубокими извилинами опушечную линию. Доля открытых пространств, засеянных ценными кормовыми травянистыми растениями, должна составлять от трети до половины всего участка.

В условиях многоснежного континентального климата у растительноядных животных лимитирующим фактором является недостаток качественного корма зимой. Особенно остро ощущается нехватка сырого протеина. На примере копытных зверей показано, что сырой протеин в пище должен составлять не менее 13 %, критическим уровнем является 7–8 % [2; 12]. В связи с переходом на веточный корм зимой у растительноядных зверей снижается содержание сырого протеина в рационе, в пище преобладают углеводы, в том числе сахара и слабо усвояемая клетчатка. Основной пищей являются годичные побеги или хвоя сосны обыкновенной и сибирской, пихты сибирской, ели сибирской; кора, годичные побеги и почки осины, ивы и других кустарников, где содержание сырого протеина составляет 4,5–9,5 %, то есть не всегда достигает даже критического уровня [10; 13].

Также для успешного обитания животным важно наличие разнообразного растительного корма. На примере косули показано, что в хвойных лесах с большей охотой поедаются лиственные породы, в то время как в лиственных лесах активно выедаются хвойные деревья. Зимние корма способны лишь поддерживать животного и не способны увеличить его живой вес и упитанность. Длительные зимние переходы животных в поисках корма неминуемо ведут к его гибели, так как даже в богатых кормовыми растениями природных угодьях животное физически не способно зимой восстановить утраченный дефицит мышечной массы. Поэтому при планировании рекультивации участки жировок и лёжек должны непосредственно примыкать друг к другу.

Для представителей Фазановых Phasianidae доля протеина в пище должна составлять не менее 20 %, что связано со значительно более высокой скоростью обмена веществ у птиц по сравнению с млекопитающими. Это обстоятельство объясняет наличие в их зимнем рационе различных семян, как наиболее питательного продукта. В многоснежных условиях этим

птицам необходимы хвойные и лиственные деревья, продуцирующие большое количество семян.

В весенне-летний период в связи с наступлением периода размножения потребности животных в разнообразной пище значительно возрастают. В это время им требуется повышенное количество белка. С этой точки зрения наиболее питательными являются бобовые и злаковые, а также некоторые другие представители разнотравья. Так, в клевере содержание протеинов оценивается в 23–24 % (до 39 %), чина луговая *Lathyrus pratensis* L. содержит 21 %, иван-чай *Chamerion angustifolium* (L.) Holub — 15–18 %, папоротник-орляк *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn. — 13 % [13]. Так как многие из этих растений произрастают на открытых хорошо освещённых и увлажнённых пространствах; различные поляны, прогалины и поля становятся местом летних жировок для растительноядных зверей и птиц. Кроме того, всем птенцам (в том числе зерноядных видов) в период интенсивного роста требуются животные белки, источником которых являются беспозвоночные, в обилии встречающиеся на открытых пространствах.

Численность мелких млекопитающих оказалась зависимой от мощности наносного почвенного слоя. Там, где посадка деревьев и кустарников проводилась в каменистый грунт, без предварительного нанесения почвенного слоя, численность мелких млекопитающих была катастрофически низкой. Хотя на эти участки с прилегающих территорий постоянно проникали мышевидные грызуны и землеройковые, однако из-за неблагоприятных эдафических факторов они оказались не способны закрепиться на территории и нарастить свою численность.

Зимние маршрутные учёты, в свою очередь, показали наличие логической закономерностей в системе «хищник–жертва», где численность обыкновенных лисиц *Vulpes vulpes* (Linnaeus, 1758) коррелировала с обилием мышевидных грызунов и зайцев. Наибольшая численность зверей и птиц отмечена в разреженных посадках сосны обыкновенной с развитым кустарниковым ярусом и в лесах, примыкающих к исходным таёжным растительным сообществам.

Как видно из краткого обзора, для успешного существования зверей и птиц, им необходим сложный разновозрастной многовидовый лесной комплекс, перемежающийся с открытыми пространствами, занятыми луговой растительностью. В идеале это должен быть смешанный лес (местами с преобладанием хвойных пород) с развитым подлеском, переходящий в заросли кустарников и лесные луга, где возможно не только кормиться, но и укрываться от хищников и неблагоприятных условий.

В то же время воссоздание растительных сообществ в жёстких экологических условиях техногенного экотопа сталкивается с целым рядом различных ограничений, вызванных структурой отвалов. Проведённые ещё в 1950-х годах исследования определили безопасную высоту отвала в 30–40 м. Отвалы свыше 60–80 м характеризуются повышенной опасностью вследствие возможности возникновения оползней и обрушений. В настоящее время на большинстве разрезов Кузбасса из-за недостатка площадей для скла-

дирования вскрышных пород, высота эксплуатируемых отвалов превышает 100 м, для некоторых предприятий предусмотрено увеличение высоты отвальных сооружений до 300 м [7]. На разных экспозициях таких отвалов экологические условия кардинально различаются. Каменистость отвалов является причиной их низкой влагоудерживающей способности [1]. Из-за нарушенного гидрорежима, при самозарастании на отвалах формируются более ксерофильные растительные сообщества относительно первоначальных.

Самыми сложными участками для рекультивации являются вершина отвала и верхняя часть склонов южной и юго-западной экспозиции. Летом температура здесь может достигать 60–65 °С и, как следствие, наблюдается недостаток влаги. Так же вершина подвергается максимальной ветроударной нагрузке и зимой почти лишена снежного покрова. Поэтому именно эти участки отвалов должны быть максимально выположенными. На южной и юго-западной части срезанной вершины отвала необходимо сформировать выраженный микрорельеф, способный дать затенение от солнца.

На самом «поле», расположенном на срезанной вершине отвала, нужны некоторые понижения для аккумуляции влаги. Так как здесь отмечается самая низкая приживаемость саженцев древесных растений, мы предлагаем высаживать ксерофильные виды кустарников, способные расти на каменистом субстрате: карагану кустарниковую *Caragana frutex* (L.) С. Koch, спирею (таволгу) зверобоелистную *Spiraea hypericifolia* L. и кизильник черноплодный *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt. Вместо предложенных видов кустарников эти участки можно засаживать облепихой крушиновидной. Несмотря на то, что это растение не является аборигенным видом, его можно рассматривать как кормовое для животных, так как плоды облепихи активно поедаются зимующими птицами, в том числе тетеревами [8].

Способ посадки кустарников должен быть групповой, в виде куртин, площадью не менее 100 м² каждая и расстоянием между ними 7–10 м. Пространство между куртинами кустарников засеивается травосмесью из ксерофитных трав: овсяницы ложноовечьей *Festuca pseudovina* Hack. ex Wiesb., тонконога (келерии) гребенчатого *Koeleria cristata* (L.) Pers., астрагала датского *Astragalus danicus* Retz., донника лекарственного *Melilotus officinalis* (L.) Pall., донника белого *Melilotus albus* Medik., чины клубневой *Lathyrus tuberosus* L. Допустимо к основе травосмеси добавлять семена других аборигенных травянистых растений соответствующей экологической группы.

Как показывает практика, остальная поверхность склона может считаться пригодной для посадок лесных культур. Более ксерофильные склоны южной и юго-западной экспозиций всё же лучше использовать для посадки неприхотливых сосны обыкновенной, лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb. и берёзы повислой *Betula pendula* Roth. Наиболее благоприятные условия наблюдаются у подножия отвалов и в межотвальных впадинах, где аккумулируются влага и вещества, смытые с вершин отвалов. Посадки темнохвойных деревьев и осины лучше располагать на

таких участках. Северные и северо-восточные склоны отвалов необходимо засаживать деревьями до самой вершины. Если в верхней части отвала предпочтение стоит отдавать всё тем же древесным породам (сосна обыкновенная, лиственница сибирская и берёза повислая), то в средней и нижней частях отвала, а также в межотвальных впадинах, должны присутствовать уже темнохвойные породы деревьев: ель сибирская, сосна сибирская и пихта сибирская; из лиственных – осина и берёза пушистая *Betula pubescens* Ehrh.

Совместно с деревьями нужно высаживать кустарники, так как они образуют подлесок и выполняют кормовую и защитную функции для животных. Кустарниками, пригодными к посадке являются: боярышник кроваво-красный (*Crataegus sanguinea* Pall.), жимолость обыкновенная *Lonicera xylosteum* L., жимолость алтайская *Lonicera altaica* Pall., жимолость татарская *Lonicera tatarica* L., ива Бебба *Salix bebbiana* Sarg., ива козья *Salix caprea* L., карагана древовидная *Caragana arborescens* Lam., кизильник черноплодный, рябина сибирская, смородина колосистая *Ribes spicatum* Robson., таволга дубровколистная *Spiraea chamaedrifolia* L., таволга средняя *Spiraea media* Franz Schmidt, шиповник иглистый *Rosa acicularis* Lindl., шиповник майский *Rosa majalis* Herzm., бузина сибирская *Sambucus sibirica* Nakai., черёмуха *Padus avium* Mill.

Для формирования куртин ели высаживают по 15–25 деревьев без добавления кустарникового яруса. Остальные деревья высаживаются вперемешку с кустарниками. Общая плотность посадки деревьев и кустарников должна составлять 2–2,5 тыс. посадочных мест/га.

Способ посадки деревьев и кустарников может быть рядовым или бессистемным, в зависимости от степени выположенности склона, наличия крупных камней и пр.

Для формирования протяжённой опушечной линии важно закладывать лесные поляны, радиус которых должен составлять 25–30 м. Основа травосмеси: кострец безостый *Bromopsis inermis* (Lyss.) Holub., мятлик луговой *Poa pratensis* L., овсяница красная *Festuca rubra* L., ежа сборная *Dactylis glomerata* L., мятлик узколистый *Poa angustifolia* L., тимopheвка луговая *Phleum pratense* L., горошек мышиный *Vicia cracca* L., клевер ползучий *Trifolium repens* L., люцерна хмелевидная *Medicago lupulina* L., люцерна серповидная *Medicago falcata* L., чина луговая *Lathyrus pratensis* L., донник лекарственный, донник белый, астрагал датский, чина клубневая, клевер люпиновый *Trifolium lupinaster* L.

При создании кормовых условий для животных особое значение имеют водоёмы. Берега затопленных карьеров обычно не выполаживаются. Сами карьеры представляют собой глубокие водоёмы с высокими и обрывистыми берегами. Учитывая потребности животных не только в воде, но и в сочных кормах, необходимо плавное (не более 1 м) понижение берега на ширину не менее 30 м до уреза воды. На таких берегах происходит частичное заболачивание, и в дальнейшем образуются травяные болота и сырые луга. Дно водоёма возле берега необходимо формировать

в виде мелководных прогреваемых участков шириной не менее 15–20 м с постепенным углублением до 2 м, после чего может начинаться глубоководная часть карьера. Часть карьера должна быть окружена посадками ивняка (ива шерстистопобеговая *Salix dasyclados* Wimm., ива трехтычинковая *S. triandra* L., ива корзиночная *S. viminalis* L.).

Заросшие берега и неглубокие прогреваемые водные участки привлекательны для гнездования околоводных птиц. Обрывистые берега, можно оставлять на отдельных участках, для привлечения береговых ласточек *Riparia* T. Forster, 1817 и других птиц, гнездящихся в обрывах. Наличие прогреваемых мелководий будет способствовать повышению его рыбных запасов, а наличие большого объема воды в глубоководной части карьера воспрепятствует развитию процессов эвтрофикации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение лесной рекультивации нарушенных земель с учётом современных представлений о сохранении биологического разнообразия требует кардинального пересмотра подходов как к подбору культур для посадки, так и схемы их размещения с учётом потребностей фаунистического компонента биоценоза, который предполагает создание кормовой базы и защитных условий для животных.

При рекультивации необходимо отказаться от моновидовых посадок в пользу многовидовых. В посадках должны использоваться аборигенные виды хвойных и лиственных деревьев, а также кустарников. Именно за счёт высокого разнообразия растений, выполняющих средообразующую функцию, возможно добиться максимального разнообразия животных.

Доля кустарников при рекультивации должна составлять около 50 % всего посадочного материала, так как они являются важным компонентом в зимнем питании животных. Также кустарниковые заросли создают защитные условия для гнездования многих певчих птиц.

При лесной рекультивации необходимо закладывать лесные поляны, которые являются кормовыми станциями в летнее время, и за счёт них формируется протяжённая опушечная линия, характеризующаяся высоким биологическим разнообразием.

При рекультивации необходимо уделить особое внимание подбору травосмесей, в составе которых должно быть не менее 20 % бобовых – основного источника растительного белка.

Подходы к затопляемым карьерам необходимо выравнивать, с формированием пологого берега и мелководий. На пологом берегу впоследствии могут появиться сырые луга, часто посещаемые животными. Прогреваемые мелководья станут местом размножения рыб и амфибий. Высаженные по берегам ивы смогут выполнять роль укрытий для околоводных птиц и зверей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Баранник Л. П., Калинин А. М. Лес на «промышленных пустынях». Кемерово : Кемеровское книжное изд-во, 1976. 64 с.

2. Данилкин А. А. Фермерское охотничье хозяйство. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2011. 145 с.

3. Данилов Д. Н., Русанов Я. С., Рыковский А. С., Солдаткин Е. И., Юргенсон П. Б. Основы охотустройства. М. : Изд-во «Лесная промышленность», 1966. 331 с.

4. Ковалевский А. В., Тарасова И. В., Лучникова Е. М., Филиппова А. В., Воронина Л. А., Гашков С. И., Ильяшенко В. Б., Зубко К. С. Сметанин А. В., Ефимов Д. А. Лесная рекультивация угольных отвалов с позиции сохранения фаунистического разнообразия Кузбасса // Лесоведение. 2021. № 5. С. 509–522. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0024114821050065>.

5. Кузякин В. А. Учёт численности охотничьих животных. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2017. 320 с.

6. Куприянов А. Н. Уфимцев В. И., Манаков Ю. А., Стрельникова Т. О., Куприянов О. А. Методические рекомендации по реставрации лугово-степной растительности на отвалах угольной промышленности в Кузбассе. Кемерово : КРЭО «Ирбис», 2017. 28 с.

7. Кутепов Ю. И., Васильева А. Д. Инженерно-геологические условия внешнего отвалообразования на разрезах Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 10. С. 122–131. DOI: <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-10-0-113-121>.

8. Лучникова Е. М., Ковалевский А. В., Тарасова И. В., Филиппова А. В., Гашков С. И., Ильяшенко В. Б., Сметанин А. А., Ефимов Д. А., Зубко К. С., Андреев Б. Г., Теплова Н. С. Рекультивация с использованием облепихи *Hippophaë rhamnoides* как фактор привлечения охотничье-промысловых птиц // Русский орнитологический журнал. 2021. Т. 30. Вып. 2080. С. 2781–2782.

9. Равкин Ю. С., Ливанов С. Г. Факторная зоогеография: принципы методы и теоретические представления. Новосибирск : Наука, 2008. 205 с.

10. Русанов Я. С., Сорокина Л. И. Лес и копытные. М. : Лесная промышленность, 1984. 128 с.

11. Уфимцев В. И., Манаков Ю. А., Куприянов А. Н. Методические рекомендации по лесной рекультивации нарушенных земель на предприятиях угольной промышленности в Кузбассе. Кемерово : КРЭО «Ирбис», 2017. 44 с.

12. Юргенсон П. Б. Охотничьи звери и птицы (прикладная экология). М. : Лесная промышленность, 1968. 308 с.

13. Юргенсон П. Б. Биологические основы охотничьего хозяйства в лесах. М. : Лесная промышленность, 1973. 176 с.

14. Adhikari P., Park S.-M., Kim T.-W., Lee J.-W., Kim G.-R., Han S.-H., Oh H.-S. Seasonal and altitudinal variation in roe deer (*Capreolus pygargus tianschanicus*) diet on Jeju Island, South Korea // Journal of Asia-Pacific Biodiversity. 2016. Vol. 9, Issue 4. P. 422–428. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.japb.2016.09.001>.

15. Matyssek M., Gwiazda R., Figarski T., Zięba F., Klimecki M., Mateja R., Krzan P., Piątek G. What habitat parameters are important for the survival of ground nests in mountain forests? Recommendations for protection of Hazel Grouse *Tetrastes bonasia* based on an experiment

with artificial nests // Bird Study. 2021. Vol. 68. Issue 2. P. 258–266. DOI: <https://doi.org/10.1080/00063657.2022.2026875>.

16. Schai-Braun S. C., Lapin K., Bernhardt K. G., Alves P. C., Hackländer K. Effect of landscape type, elevation, vegetation period, and taxonomic plant identification level on diet preferences of Alpine mountain hares (*Lepus timidus varronis*) // European Journal of Wildlife Research. 2020. Vol. 66. Issue 57. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10344-020-01398-7>.

17. Wegge P., Kastdalen L. Habitat and diet of young grouse broods: resource partitioning between Capercaillie (*Tetrao urogallus*) and Black Grouse (*Tetrao tetrix*) in boreal forests // Journal of Ornithology. 2008. Vol. 149. P. 237–244. <https://doi.org/10.1007/s10336-007-0265-7>.

REFERENCES

1. Barannik L. P., Kalinin A. M. Forest on “industrial deserts”. Kemerovo: Kemerovskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1976. 64 p.

2. Danilkin A. A. Farm hunting. Moscow: KMK Scientific Press, 2011. 145 p.

3. Danilov D. N., Rusanov Ya. S., Rykovsky A. S., Soldatkin E. I., Yurgenson P. B. Basics of huntingst-roysta. Moscow: Publishing House “Lesnaya promyshlennost'”, 1966. 331 p.

4. Kovalevskiy A. V., Tarasova I. V., Luchnikova Ye. M., Filippova A. V., Voronina L. A., Gashkov S. I., Zubko K. S., Smetanin A. V., Yefimov D. A. Forest Reclamation of the Coal Dumps from the Perspective of Preserving the Fauna Diversity on the Example of the Kuznetsk Coal Basin // Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]. 2021, No. 5. pp. 509–522. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0024114821050065>.

5. Kuzyakin V. A. Accounting for the number of hunting animals. Moscow: KMK Scientific Press, 2017. 320 p.

6. Kupriyanov A. N., Ufimtsev V. I., Manakov Yu. A., Strelnikova T. O., Kupriyanov O. A. Methodological recommendations for the restoration of meadow-steppe vegetation on coal industry dumps in Kuzbass. Kemerovo: KREOO “Irbis”, 2017. 28 p.

7. Kutepov Yu. I., Vasil'eva A. D. Geotechnical conditions of external dumping at open pit mines in Kuzbass // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' [Mining information and analytical bulletin], 2017, No. 10. pp. 122–131. DOI: <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-10-0-113-121>.

8. Luchnikova E. M., Kovalevsky A. V., Tarasova I. V., Filippova A. V., Gashkov S. I., Ilyashenko V. B., Smetanin A. A., Efimov D. A., Zubko K. S., Andreev B. G.,

Teplova N. S. Recultivation using sea buckthorn *Hippophaë rhamnoides* as a factor in attracting hunting and commercial birds // Russkij ornitologicheskij zhurnal [Russian Ornithological Journal]. 2021. Vol. 30, Issue 2080. pp. 2781–2782.

9. Ravkin Yu. S., Livanov S. G. Factor zoogeography: principles, methods and theoretical generalizations. Novosibirsk, 2008 205 p.

10. Rusanov Ya. S., Sorokina L. I. Forest and ungulates. Moscow: “Lesnaya promyshlennost'”, 1984. 128 p.

11. Ufimtsev V. I., Manakov Yu. A., Kupriyanov A. N. Methodological recommendations on forest reclamation of disturbed lands at coal industry enterprises in Kuzbass. Kemerovo : KREOO “Irbis”, 2017. 44 p.

12. Jurgenson P. B. Hunting animals and birds (applied ecology). Moscow : Lesnaya promyshlennost', 1968. 308 p.

13. Jurgenson P. B. Biological foundations of hunting in forests. Moscow : Lesnaya promyshlennost', 1973. 176 p.

14. Adhikari P., Park S.-M., Kim T.-W., Lee J.-W., Kim G.-R., Han S.-H., Oh H.-S. Seasonal and altitudinal variation in roe deer (*Capreolus pygargus tianschanicus*) diet on Jeju Island, South Korea // Journal of Asia-Pacific Biodiversity. 2016. Vol. 9, Issue 4. P. 422–428. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.japb.2016.09.001>.

15. Matysek M., Gwiazda R., Figarski T., Zięba F., Klimecki M., Mateja R., Krzan P., Piątek G. What habitat parameters are important for the survival of ground nests in mountain forests? Recommendations for protection of Hazel Grouse *Tetrastes bonasia* based on an experiment with artificial nests // Bird Study. 2021. Vol. 68. Issue 2. P. 258–266. DOI: <https://doi.org/10.1080/00063657.2022.2026875>.

16. Schai-Braun S. C., Lapin K., Bernhardt K. G., Alves P. C., Hackländer K. Effect of landscape type, elevation, vegetation period, and taxonomic plant identification level on diet preferences of Alpine mountain hares (*Lepus timidus varronis*) // European Journal of Wildlife Research. 2020. Vol. 66. Issue 57. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10344-020-01398-7>.

17. Wegge P., Kastdalen L. Habitat and diet of young grouse broods: resource partitioning between Capercaillie (*Tetrao urogallus*) and Black Grouse (*Tetrao tetrix*) in boreal forests // Journal of Ornithology. 2008. Vol. 149. P. 237–244. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10336-007-0265-7>.

© Ковалевский А. В., Лучникова Е. М.,
Филиппова А. В., Гашков С. И.,
Зубко К. С., Воронина Л. А., 2022

Поступила в редакцию 01.06.2022

Принята к печати 01.08.2022

ИНДИВИДУАЛЬНАЯ И ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ 15-ЛЕТНЕГО СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА ПРИВИТЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ

В. В. Комарницкий, Р. Н. Матвеева, О. Ф. Буторова, Ю. Е. Щерба, О. П. Каленская, И. В. Комаров

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

Приведены показатели семенного потомства 15-летней сосны кедровой сибирской второго поколения, произрастающего в Караульном лесничестве Учебно-опытного лесхоза СибГУ (в пригородной зоне Красноярск). Посадочный материал выращен из семян, собранных на прививочной плантации с материнских деревьев разного географического происхождения. Растения высажены на плантации «ЛЭП-2» по схеме 4×4 м. Установлено, что растения имеют среднюю высоту 1,1–1,4 м по вариантам опыта, длину хвои – 9,2–10,0 см. Максимальной высотой отличается потомство тувинского происхождения, длиной хвои – тюменского и ярцевского, величиной текущего прироста – алтайского. Отмечено образование трех макростробиллов в этом возрасте на дереве № 14–40 читинского происхождения. Проведен отбор экземпляров в вариантах разного географического происхождения по интенсивности роста и длине хвои, которые рекомендованы к вегетативному размножению для создания плантаций целевого назначения.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, второе поколение, рост, хвоя, Сибирь.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 4, P. 296–302

INDIVIDUAL AND GEOGRAPHICAL VARIABILITY OF 15-YEAR-OLD SEED OFFSPRING OF GRAFTED TREES OF SIBERIAN CEDAR PINE

V. V. Komarnitsky, R. N. Matveeva, O. F. Butorova, Yu. E. Shcherba, O. P. Kolenskaya, I. V. Komarov

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

The indicators of the seed offspring of the second generation of 15-year-old Siberian cedar pine, growing in the Karaulny forestry of the Educational and Experimental Forestry of SibSU (in the suburban zone of Krasnoyarsk), are given. Planting material is grown from seeds collected on a grafting plantation from mother trees of different geographical origin. Trees are planted on the plantation "LET-2" according to the scheme of 4×4 m. It was found that the plants have an average height of 1.1–1.4 m according to the experimental options, the length of the needles is 9.2–10.0 cm. The maximum height is distinguished by the offspring of Tuvan origin, the length of the needles – by Tyumen and Yartsevo origin, the maximum amount of the current increase has trees of Altai origin. Three macrostrobyls were formed at this age on tree No. 14–40 of Chita origin. Specimens were selected in variants of different geographical origin according to the intensity of growth and the length of needles, which are recommended for vegetative reproduction to create plantations for the intended purpose.

Keywords: Siberian cedar pine, second generation, growth, needles, Siberia.

ВВЕДЕНИЕ

Литературные источники подтверждают проявление индивидуальной и географической изменчивости показателей древесных растений по интенсивности роста, развитию ассимиляционного аппарата, периоду вступления в репродуктивную стадию развития и др. [1–12, 14, 17–19 и др.].

Отмечается изменчивость показателей во втором поколении. Так, М. А. Николаева и др. [13] в географических культурах сосны обыкновенной в Ленинградской области установили влияние репродуктивной способности на развитие семенного потомства.

Отмечено, что при спонтанном переопылении во время цветения в географических культурах первого поколения возможно проявление гетерозисного эффекта в культурах второго поколения [20–22].

Л. Ф. Поплавской и др. [15; 16] обследована плантация второго поколения сосны обыкновенной, которая была создана посадочным материалом, выращенным из семян с гибридно-семенной плантации по результатам испытания семей в 1986 г. Отмечено, что семенное потомство второго поколения характеризуется высокими морфометрическими показателями, что позволяет более эффективно проводить отбор по заданным признакам.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования явилась сосна кедровая сибирская 15-летнего биологического возраста, выращенная из семян, собранных в 2006 году на прививочной гибридно-семенной плантации «ГСП». Прививка проведена с использованием черенков с деревьев разного географического происхождения (алтайское, бирюсинское, томское, тувинское, тюменское, читинское, ярцевское) на подвой сосны обыкновенной. Привои отличались местом сбора семян: по северной широте в пределах от 50°22' (читинское) до 61°00' (ярцевское происхождения), по восточной долготы – от 68°37' (тюменское) до 108°43' (читинское). Высота над уровнем моря варьирует от 100 м (томское, тюменское, ярцевское) до 1000 м (алтайское) (табл. 1).

На период сбора семян (2006 г.) возраст привоя составил 25 лет. Средняя высота деревьев разного географического происхождения варьировала от 10,3 до 15,0 м. Максимальные показатели по высоте, диаметру ствола, кроны и ее протяженности были у деревьев с использованием черенков тувинского происхождения.

Из семян клонов разного географического происхождения был выращен посадочный материал и создана плантация второго поколения «ЛЭП-2». Размещение посадочных мест составило 4×4 м.

Программа исследований предусматривала анализ изменчивости биометрических показателей сосны кедровой сибирской второго поколения, проведение селекционной оценки и отбора экземпляров по интенсивности роста, длине хвои и раннему репродуктивному развитию.

При проведении исследований применяли общепринятые методики. Высоту измеряли шестом с делениями, диаметр ствола – на высоте 10 см от поверхности почвы, длину хвои – на текущем первом приросте с южной и северной стороны с определением среднего значения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что в 15-летнем возрасте средняя высота растений в зависимости от географического происхождения привоя варьировала от 107,1 до 140,8 см (табл. 2).

Максимальная высота отмечена в потомстве тувинского происхождения, минимальная – тюменского. Достоверность различий статистически подтверждена между экземплярами тувинского с бирюсинским и тюменским происхождениями. Уровень изменчивости средний и высокий.

Анализ рядов распределения деревьев по высоте показал, что распределение симметричное ($A < 0,5$) (табл. 3).

Преобладающий текущий (первый) прирост побега отмечен у потомства популяций алтайского и ярцевского происхождений (рис. 1).

Отмечено образование вторичного прироста побега размером от 3,1 до 5,9 см (рис. 2) у 86–100 % растений.

По величине вторичного прироста максимальное значение имело потомство тувинской популяции.

Сумма приростов (первый и вторичный) варьировала от 23,8 до 30,8 см (рис. 3).

Средняя длина хвои на первом приросте варьировала от 9,2 до 10,0 см без достоверных различий между вариантами ($t_{\phi} < t_{05}$) (табл. 4).

Таблица 1

Географическое происхождение сосны кедровой сибирской, использованной для заготовки привоя

Географическое происхождение	Место сбора семян		Координаты		Высота над уровнем моря, м
	республика (край, область)	Предприятие*	с.ш.	в.д.	
Алтайское	Алтай	Каракокшинский ЛПХ	51°50'	86°54'	1000
Бирюсинское (местное)	Красноярский	Учебно-опытный лесхоз СибГУ, Бирюсинское лесничество	56°00'	92°30'	300
Томское	Томская	Томский лесхоз	56°30'	84°48'	100
Тувинское	Тыва	Туранский лесхоз	52°11'	93°53'	800
Тюменское	Тюменская	Кондинский лесхоз	59°40'	68°37'	100
Читинское	Читинская	Красночикойский лесхоз	50°22'	108°43'	700
Ярцевское	Красноярский	Ярцевский леспромхоз	61°00'	90°00'	100

Примечание: * название предприятия приведено на период сбора семян.

Таблица 2

Высота сосны кедровой сибирской, см

Географическое происхождение	X_{cp}	$\pm m$	$V, \%$	$P, \%$	t_{ϕ} при $t_{05} = 2,10$	Уровень изменчивости
Алтайское	134,8	5,10	16,1	3,8	0,54	средний
Бирюсинское	108,1	5,30	17,0	4,9	2,94	средний
Томское	137,8	5,20	14,1	3,8	0,27	средний
Тувинское	140,8	9,76	18,3	6,9	–	средний
Тюменское	107,1	10,38	30,6	9,7	2,37	высокий
Читинское	127,2	5,33	15,7	4,2	1,22	средний
Ярцевское	133,7	9,71	24,1	7,3	0,52	высокий

Таблица 3
Характеристика распределения деревьев по высоте

Показатель	Алтайское	Бирюсин- ское	Томское	Тувинское	Тюменское	Читинское	Ярцевское
Медиана	125,9	112,1	135,2	148,9	115,8	129,2	136,8
Экссесс	-0,562	-1,129	-0,156	-0,270	-1,604	-0,619	-0,567
Асимметрия	0,394	-0,323	0,445	-0,496	-0,298	-0,443	-0,184
Минимум	100,5	73,5	150,0	101,8	52,6	88,2	78,4
Максимум	179,3	133,4	182,0	171,5	153,7	156,2	180,5

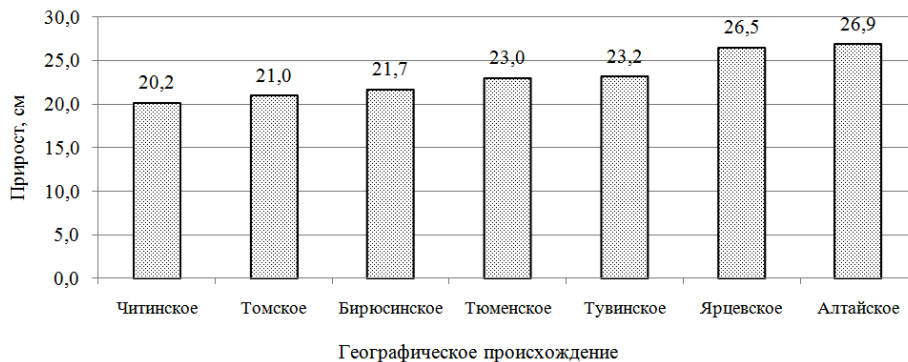


Рис. 1. Текущий (первый) прирост сосны кедровой сибирской

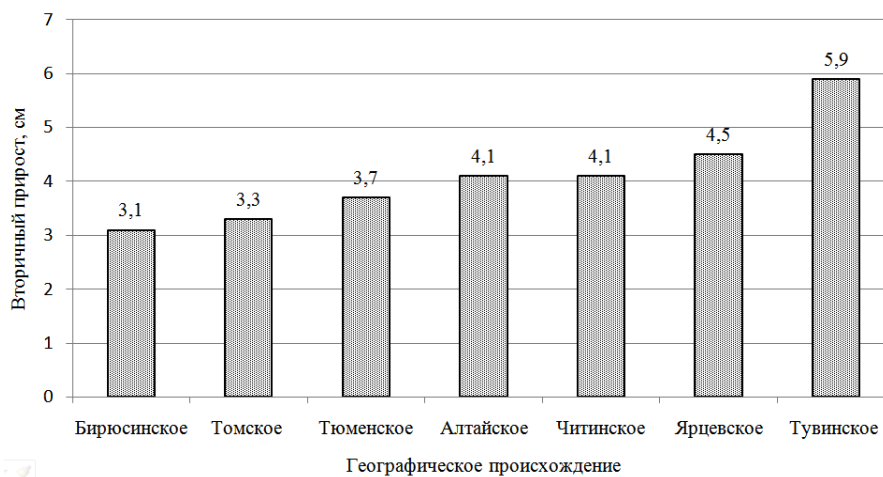


Рис. 2. Вторичный прирост сосны кедровой сибирской

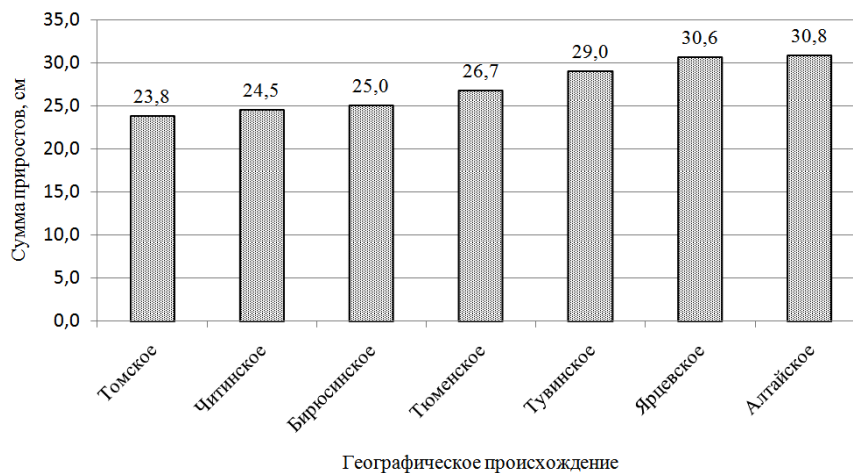


Рис. 3. Суммы приростов побега сосны кедровой сибирской

На вторичном приросте хвоя была короче (средняя длина равна 6,3–8,3 см). Наибольшая длина хвои отмечена у потомства популяции читинского происхождения.

Максимальная длина верхушечной почки (1,6 см) отмечена у потомства тюменской и читинской популяций. Уровень варьирования данного показателя низкий, средний и высокий. Максимальное количество почек образовалось у потомства алтайского, минимальное – бирюсинского происхождения (рис. 4).

Начало репродуктивного развития среди семенного потомства привитых деревьев с образованием трех макростробилов отмечено у 15-летнего дерева № 14-40 читинского происхождения (рис. 5).

Показатели роста экземпляра 14-40 приведены в табл. 5.

Высота дерева № 14-40 превышала среднее значение по происхождению привоя на 22,8 %, сумма приростов побега – на 88,6 %. По диаметру ствола различие незначительное.

У экземпляра раннего репродуктивного развития количество верхушечных почек (10 шт.) было больше в сравнении со средним значением по варианту (9,1 шт.).

Учитывая проявление индивидуальной изменчивости, проведен отбор деревьев по интенсивности роста и длине хвои (табл. 6).

Таблица 4
Длина хвои на первом приросте побега, см

Географическое происхождение	$X_{\text{ср}}$	$\pm m$	$\pm \sigma$	$V, \%$	$P, \%$	t_{ϕ} при $t_{05} = 2,10$	Уровень изменчивости
Алтайское	9,7	0,36	1,54	15,9	3,7	0,53	средний
Бирюсинское	9,6	0,53	1,84	19,1	5,5	0,59	средний
Томское	9,2	0,53	1,96	21,3	5,7	1,17	высокий
Тувинское	9,4	0,55	1,44	15,4	5,8	0,86	средний
Тюменское	10,0	0,34	1,07	10,7	3,4	0,00	низкий
Читинское	9,9	0,41	1,52	15,4	4,1	0,17	средний
Ярцевское	10,0	0,43	1,42	14,2	4,3	–	средний

Примечание: отмечаются низкий, средний и высокий уровни изменчивости.

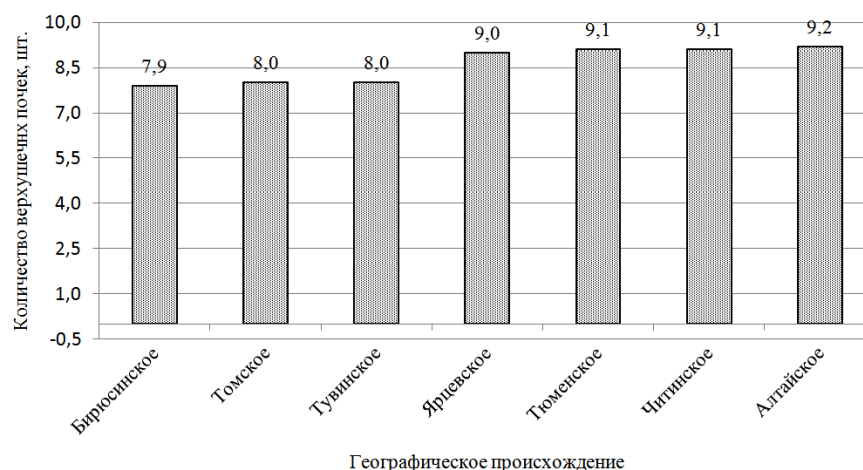


Рис. 4. Количество верхушечных почек



Рис. 5. Образование макростробилов на дереве 14-40 читинского происхождения

Таблица 5
Показатели роста экземпляра раннего образования макростробилов

Вариант	Высота		Прирост		Диаметр	
	м	% к $X_{\text{ср}}$	см	% к $X_{\text{ср}}$	см	% к $X_{\text{ср}}$
Дерево 14-40	1,56	122,8	46,2	188,6	2,4	96,0
Среднее значение по читинскому варианту	1,27	100,0	24,5	100,0	2,5	100,0

Таблица 6
Быстрорастущее и длиннохвойное семенное потомство

Географическое происхождение	Номер экземпляра	Высота		Текущий прирост побега		Длина хвои на первичном приросте	
		м	% к $X_{\text{ср}}$	см	% к $X_{\text{ср}}$	см	% к $X_{\text{ср}}$
Алтайское	13-9	1,74	137,0	30,3	111,4	10,8	111,3
	13-18	1,68	132,3	37,5	137,9	13,0	134,0
Томское	15-4	1,76	138,6	35,5	130,5	10,2	105,2
	15-10	1,60	126,0	35,3	129,8	10,7	110,3
Тувинское	14-2	1,60	126,0	33,6	123,5	10,8	111,3
	14-5	1,71	134,6	41,5	152,6	10,7	110,3
Читинское	14-40	1,56	122,9	46,2	169,9	11,8	121,6
	15-16	1,53	120,5	32,6	119,9	11,7	120,6
Ярцевское	12-5	1,80	141,7	45,5	167,3	11,0	113,4
	12-16	1,75	137,8	41,8	153,7	11,0	113,4
Среднее значение		1,27	100,0	27,2	100,0	9,7	100,0

Наибольшая высота и длина хвои отмечены у экземпляров разного географического происхождения. Экземпляр 12-5 ярцевского происхождения имеет высоту на 41,7 %, текущий прирост побега – на 67,3 %, длину хвои – на 13,4 % больше в сравнении со средним значением.

Установлено наличие значительной корреляционной связи между высотой и диаметром ствола у растений томского, высокой и очень высокой – алтайского, бирюсинского, тюменского, читинского, ярцевского происхождения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отселектированные экземпляры во втором поколении рекомендуется использовать для вегетативного размножения с целью создания целевых плантаций, отличающихся интенсивностью роста и экологической эффективностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- Братилов Н. П., Лузганов А. Г., Свалова А. И. Изменчивость роста сосны кедровой сибирской в географических культурах // Вестник КрасГАУ. 2013. № 12. С. 147–150.
- Брынцев В. А., Коженкова А. А. Географическая изменчивость сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) при интродукции // Лесной журнал. 2016. № 6. С. 89–97.
- Жук Е. А. Рост клонов кедр сибирского различного географического происхождения на юге Томской области // Вестник МГУЛ. 2014. № 1. С. 101–104.
- Крутовский К. В., Политов Д. В., Алтухов Ю. П. и др. Генетическая изменчивость сибирской кедровой сосны *Pinus sibirica* Du Tour / Сообщ. IV. Генетическое разнообразие и степень генетической дифференциации между популяциями // Генетика, 1989. Т.25. № 11. С. 2009–2032.

- Матвеева Р. Н., Ревин А. В., Кичильдеев А. Г. Особенности роста и семеношения клонов плюсовых деревьев кедр сибирского, отселектированных по семенной и стволовой продуктивности // Вестник КрасГАУ. 2010, № 11. С. 110–112.

- Матвеева Р. Н., Щерба Ю. Е. Влияние географического происхождения на репродуктивное развитие кедр сибирского на лесосеменной плантации за 24-летний период // Лесной журнал. 2011. № 4. С. 7–10.

- Матвеева Р. Н., Кичильдеев А. Г., Нарзаяев В. В. Изменчивость клонового потомства плюсовых деревьев сосны кедровой сибирской на плантации юга Средней Сибири // Лесной журнал. 2013. № 2. С. 93–97.

- Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф., Щерба Ю. Е. Семенное и вегетативное размножение отселектированных деревьев сосны кедровой сибирской. Красноярск: СибГТУ, 2016. 209 с.

- Матвеева Р. Н., Братилов Н. П., Буторова О. Ф. Рост и репродуктивное развитие сосны кедровой сибирской различного географического происхождения при загущенной рядовой посадке (зеленая зона г. Красноярска). Красноярск: СибГУ, 2017. 237 с.

- Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф., Щерба Ю. Е. Влияние географического происхождения на рост сосны кедровой сибирской во втором поколении // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. 37, № 6. С. 426–431.

- Милютин Л. И. О взаимосвязи генетических и селекционных исследований лесных древесных растений // Сибирский лесной журнал. 2014. № 4. С. 25–28.

- Наквасина Е. Н. Закономерности географической изменчивости сосны обыкновенной в опытах на европейском севере // Лесной журнал. 2007. № 4. С. 14–18.

13. Николаева М. А., Ходачек А. С., Ямалеев О. А. Влияние репродуктивной способности сосны в географических культурах Ленинградской области на развитие семенных потомств во втором поколении // Известия СПбЛТА. 2011. № 194. С. 17–25.

14. Патлай И. Н. Влияние происхождения семян на рост и устойчивость сосны в географических культурах Красно-Тростянецкой лесной опытной станции // Селекция, интродукция и семеноводство древесных лесных пород. Киев, 1964. С. 182–195.

15. Поплавская Л. Ф., Ребко С. В., Тупик П. В. Оценка качества семенного посадочного материала сосны обыкновенной, полученного на гибридно-семенной плантации // Труды БГТУ. 2018. Серия 1. № 1. С. 20–24.

16. Поплавская Л. Ф., Ребко С. В., Тупик П. В. Динамика семенования сортовых растений сосны обыкновенной на клоновой гибридно-семенной плантации второго поколения // Лесное хозяйство. Минск: БГТУ, 2019. 129 с.

17. Роне В. М. Генетические основы селекции для плантационного лесовыращивания // Всесоюзное совещание по лесной генетике, селекции и семеноводству. Петрозаводск, 1983. Ч. 1. С. 96–98.

18. Третьякова И. Н., Иваницкая А. С., Барсукова А. В., Савельев С. С., Сиренко А. С. Перспективы плантационного лесовыращивания хвойных при помощи современных методов селекции и биотехнологии (соматического эмбриогенеза) // Эколого-географические аспекты лесообразовательного процесса. Красноярск, 2009. С. 219–222.

19. Щерба Ю. Е., Ибе А. А., Сухих Т. В., Копченко Д. Е. Воспроизводство сосны кедровой сибирской на генетико-селекционной основе // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. XXXIX. № 5. С. 401–407.

20. Chatupka W. Current trends in forest tree genetics studies // Леса Евразии в XXI веке: Восток- Запад. М., 2002. Рр. 88–89.

21. Bridgwater F.E., Bramlett D.L., Byram T.D., Lowe W.J. Controlled mass pollination in loblolly pine to increase genetic gains / F.E. Bridgwater, // Forest. Chron. 1998. 74, № 2. С. 185–189.

22. Efimov V. M., Tarakanov V. V., Naumova N. B., Kovaleva V. Y., Kutsenogiy K. P. Highly inheritable variable components in the clonal plantation of Scots pine // Сибирский лесной журнал. 2019. № 6. С. 82–88.

REFERENCES

1. Bratilova N. P., Luzganov A. G., Svalova A. I. Изменчивость роста сосны кедровой сибирской в географических культурах // Vestnik KrasGAU. 2013. № 12. С. 147–150.

2. Bryncev V. A., Kozhenkova A. A. Географическая изменчивость сосны кедровой сибирской (Pinus sibirica Du Tour) при интродукции // Lesnoj zhurnal. 2016. № 6. С. 89–97.

3. Zhuk E. A. Рост клонов кедра сибирского различного географического происхождения на юге Томской области // Vestnik MGUL. 2014. № 1. С. 101–104.

4. Krutovskij K.V., Politov D.V., Altuhov Yu.P. i dr. Генетическая изменчивость сибирской кедровой сосны

Pinus sibirica Du Tour / Soobshch I. V. Geneticheskoe raznoobrazie i stepen' geneticheskoy differenciacii mezhdru populyაციями // Genetika, 1989. T.25. № 11. S. 2009–2032.

5. Matveeva R. N., Revin A. V., Kichkil'deev A. G. Osobennosti rosta i semenosheniya klonov plyusovyh derev'ev kedra sibirskogo, otselektirovannyh po semennoj i stvolovoj produktivnosti // Vestnik KrasGAU. 2010, № 11. S. 110–112.

6. Matveeva R. N., Shcherba Yu .E. Vliyanie geograficheskogo proiskhozhdeniya na reproductivnoe razvitie kedra sibirskogo na lesosemennoj plantacii za 24-letnij period // Lesnoj zhurnal. 2011. № 4. S. 7–10.

7. Matveeva R. N., Kichkil'deev A. G., Narzyaev V. V. Изменчивость клонового потомства плюсовых деревьев сосны кедровой сибирской на плантации юга Средней Сибири // Lesnoj zhurnal. 2013. № 2. С. 93–97.

8. Matveeva R. N., Butorova O. F., Shcherba Yu. E. Semennoe i vegetativnoe razmnozhenie otselektirovannyh derev'ev sosny kedrovoy sibirskoj. Krasnoyarsk: SibGTU, 2016. 209 s.

9. Matveeva R. N., Bratilova N.P., Butorova O. F. Рост и репродуктивное развитие сосны кедровой сибирской различного географического происхождения при загущенной рядовой посадке (зеленая зона г. Красноярск). Krasnoyarsk: SibGU, 2017. 237 s.

10. Matveeva R. N., Butorova O. F., Shcherba Yu. E. Vliyanie geograficheskogo proiskhozhdeniya na rost sosny kedrovoy sibirskoj vo vtorom pokolenii // Hvojnye boreal'noj zony. 2019. T. 37, № 6. С. 426–431.

11. Milyutin L. I. O vzaimosvyazi geneticheskikh i selekcionnyh issledovanij lesnyh drevesnyh rastenij // Sibirskij lesnoj zhurnal. 2014. № 4. С. 25–28.

12. Nakvasina E. N. Zakonomernosti geograficheskoy izmenchivosti sosny obyknovЕННОй v opytah na evropejskom severe // Lesnoj zhurnal. 2007. № 4. С. 14–18

13. Николаева М. А., Ходачек А. С., Ямалеев О. А. Влияние репродуктивной способности сосны в географических культурах Ленинградской области на развитие семенных потомств во втором поколении // Известия СПбЛТА. 2011. № 194. С. 17–25.

14. Патлай И. Н. Влияние происхождения семян на рост и устойчивость сосны в географических культурах Красно-Тростянецкой лесной опытной станции // Селекция, интродукция и семеноводство древесных лесных пород. Киев, 1964. С. 182–195.

15. Поплавская Л. Ф., Ребко С. В., Тупик П. В. Оценка качества семенного посадочного материала сосны обыкновенной, полученного на гибридно-семенной плантации // Труды БГТУ. 2018. Серия 1. № 1. С. 20–24.

16. Поплавская Л. Ф., Ребко С. В., Тупик П. В. Динамика семенования сортовых растений сосны обыкновенной на клоновой гибридно-семенной плантации второго поколения // Лесное хозяйство. Минск: БГТУ, 2019. 129 с.

17. Роне В. М. Генетические основы селекции для плантационного лесовыращивания // Всесоюзное совещание по лесной генетике, селекции и семеноводству. Петрозаводск, 1983. Ч.1. С. 96–98.

18. Tret'yakova I. N., Ivanickaya A. S., Barsukova A. V., Savel'ev S. S., Sirenko A. S. Perspektivy plantacionnogo lesovyrashchivaniya hvojnyh pri pomoshchi sovremennyh metodov selekcii i biotekhnologii (somaticeskogo embriogeneza) // Ekologo-geograficheskie aspekty lesoobrazovatel'nogo processa. Krasnoyarsk, 2009. S. 219–222.

19. Shcherba Yu. E., Ibe A. A., Suhii T. V., Kopchenko D. E. Vospriizvodstvo sosny kedrovoj sibirskoj na genetiko-selekcionnoj osnove // Hvojnye boreal'noj zony. 2021. T.XXXIX. № 5. S. 401–407.

20. Chatupka W. Current trends in forest tree genetics studies // Lesa Evrazii v XXI veke: Vostok- Znanad. M., 2002. P. 88–89.

21. Bridgwater F.E., Bramlett D.L., Byram T.D., Lowe W.J. Controlled mass pollination in loblolly pine to increase genetic gains / F.E. Bridgwater, // Forest. Chron. 1998. 74, № 2. S. 185–189.

22. Efimov V. M., Tarakanov V. V., Naumova N. B., Kovaleva V. Y., Kutsenogiy K. P. Highly inheritable variable components in the clonal plantation of Scots pine // Sibirskij lesnoj zhurnal. 2019. № 6. S. 82–88.

© Комарницкий В. В., Матвеева Р. Н.,
Буторова О. Ф., Щерба Ю. Е.,
Каленская О. П., Комаров И. В., 2022

Поступила в редакцию 10.06.2022
Принята к печати 01.08.2022

ОХВОЕННОСТЬ ПОБЕГОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ГРАДИЕНТАХ ЕВРАЗИИ

В. А. Усольцев^{1,2}, И. С. Цепордей¹, И. М. Данилин³

¹Ботанический сад УрО РАН

Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а

²Уральский государственный лесотехнический университет

Российская Федерация, 620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

³Институт леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук
Российская Федерация, 660036, Красноярск, Академгородок, 50

Эффективность использования фотосинтетически активной радиации деревьями в значительной степени зависит от архитектуры ассимиляционного аппарата в их кроне. Известно, что повышение уровня атмосферного загрязнения сопровождается, с одной стороны, увеличением плотности охвоения побегов, а с другой стороны – увеличением прозрачности кроны за счет расширения безлистной внутренней части кроны. На этом основании мы предполагаем, что охвоенность побегов является чутким индикатором изменения условий произрастания не только в связи с загрязнением среды, но и в более широком экологическом аспекте, в частности, в географических градиентах Евразии. С этой целью сформирована база эмпирических данных в количестве 558 модельных деревьев сосны обыкновенной естественного и искусственного происхождения из 6 регионов Северной Евразии с измеренным процентом охвоения побегов. Разработана регрессионная модель, в которой в качестве независимых переменных использованы показатели как возраста и диаметра ствола, так и географические координаты местообитаний. Установлено увеличение охвоенности побегов как в направлении с севера на юг вследствие снижения влагообеспеченности местообитаний, так и в направлении с запада на восток вследствие увеличения континентальности климата. Таким образом, охвоенность побегов сосны обыкновенной является индикатором изменения условий произрастания в географических градиентах Евразии.

Ключевые слова: доля хвои в массе побегов, регрессионная модель, дендрометрические показатели деревьев, географическая широта и долгота.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 4, P. 303–311

THE NEEDLE SHARE IN TREE GREENERY BIOMASS OF SCOTS PINE IN GEOGRAPHICAL GRADIENTS OF EURASIA

V. A. Usoltsev^{1,2}, I. S. Tsepordey¹, I. M. Danilin³

¹Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

202a, 8 Marta Str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

²Ural State Forest Engineering University

37, Sibirskiy Trakt, Yekaterinburg, 620100 Russian Federation

³V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
50, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

The efficiency of using photosynthetically active radiation by trees largely depends on the architecture of the assimilation apparatus in their crown. It is known that an increase in the level of atmospheric pollution is accompanied, on the one hand, by an increase in the foliage density on the shoot length, and on the other hand, by an increase in the transparency of the crown due to the expansion of the leafless inner part of the crown. On this basis, we assume that the foliage density of shoots is a sensitive indicator of changes in growing conditions not only due to environmental pollution, but also in a broader ecological aspect, in particular, in the geographical gradients of Eurasia. For this purpose, a database of empirical data has been formed in the amount of 558 model trees of Scots pine of natural and artificial origin from 6 regions of Northern Eurasia with a measured percentage of needle biomass in tree greenery, or tree verdure (shoots covered with needles) biomass. A regression model has been developed in which the tree age and stem diameter, as well as geographical coordinates of habitats, are used as independent variables. An increase in the needle percentage of shoots was found both in the direction from north to south due to a decrease in the moisture supply of habitats, and in the direction from west to east due to an increase in the climate continentality. Thus, the percentage of needle biomass in tree greenery of Scots pine is an indicator of changes in growing conditions in the geographical gradients of Eurasia.

Keywords: needle percentage in the shoot mass, regression model, dendrometric indicators of trees, geographical latitude and longitude.

ВВЕДЕНИЕ

Способность лесных деревьев изымать атмосферную углекислоту и продуцировать органическое вещество является основой их функционирования [9]. Эффективность использования фотосинтетически активной радиации кронами деревьев в значительной степени зависит от морфоструктуры ассимиляционного аппарата, связанной с такими понятиями, как объемная плотность фитомассы [20], или фитонасыщенность как отношение массы хвои или листы к занимаемому ею пространству кроны [34; 35]. С морфоструктурой ассимиляционного аппарата связаны также такие понятия, как сквозистость полога [2] и ажурность крон [39]. Сквозистость полога учитывает как межкрупное, так и внутрикрупное пространство. Ажурность кроны определяется как отношение площади просветов к площади всей кроны на ее фронтальной проекции и варьирует от 0,05 у теневыносливой ели до 0,32 у светолюбивой сосны [39]. У светолюбивых пород уже в 1-2 классах возраста происходит расчленение кроны на мантию, или охвоенную часть, и ядро кроны, или обесхвоенную часть кроны вдоль оси ствола [15; 48] (рис. 1).

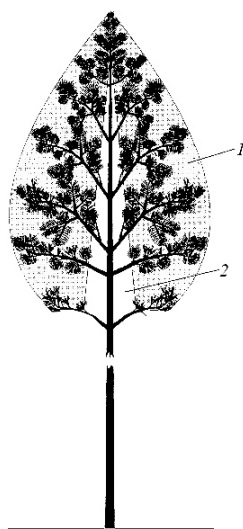


Рис. 1. Вертикальный профиль сосны ладанной во 2 классе возраста [49]:

1 – охвоенная часть (мантия) кроны; 2 – обесхвоенная часть (ядро) кроны

Специфика архитектоники кроны состоит в соподчиненности ветвей разных порядков, обеспечивающих ее механическую прочность, пути ксилемного и флоэмного транспорта и баланс органического вещества [40; 54; 55; 59; 60]. По мере роста дерева объем кроны увеличивается, при этом у светолюбивых пород доля ядра в кроне возрастает, тогда как у теневыносливых она изменяется по отношению к светолюбивым незначительно [21]. В градиенте ослабления света внутри кроны ее мантия у светолюбивых пород с возрастом всё больше удаляется от оси ствола и смещается к периферии кроны. При этом обесхвоенная часть расширяется не только вдоль ствола, но и вдоль ветвей, вначале – вдоль ветвей 1-го порядка, затем – вдоль ветвей 2-го порядка и т. д., т. е. ассими-

ляционный аппарат всё в большей степени концентрируется в поверхностной части мантии кроны, исключительно на охвоенных побегах [53].

Число порядков ветвления в кроне ограничено у лесных деревьев четырьмя-пятью [1; 40], и ветви последнего порядка обычно представлены охвоенными побегами. Термин «побег» в литературе не имеет единого определения, и дискуссия ведется в основном по поводу его возраста и положения в кроне [8; 16; 18; 19; 22; 24; 52; 56; 60]. В нашем изложении понятие «охвоенный побег» не связано ни с возрастом, ни с положением в кроне, он может включать прирост 1–2 лет в верхней части кроны и приросты нескольких лет – в нижней. Основным признаком понятия «охвоенный побег» – наличие хвои (листвы) на всей длине основной его оси и боковых (обрастающих) ответвлений.

Известно, что с ухудшением условий произрастания увеличивается доля массы ассимиляционного аппарата в общей фитомассе [2; 26; 33]. Подобная закономерность повторяется и в стрессовых условиях насаждений, подверженных загрязнению. В условиях загрязнения наиболее значительно снижается прирост терминального побега и верхних ветвей, что приводит к изменению архитектоники кроны. Она становится плосковершинной, а при более сильном повреждении – суховершинной и по своей форме напоминает крону старовозрастных деревьев [42; 47]. По мере приближения к источникам загрязнений возрастает доля массы хвои в массе кроны у сосны [43], у ели и пихты [37], а также доля массы листы у березы [10].

У многих хвойных пород установлено увеличение плотности охвоения побегов в связи с продвижением от фоновых районов к источнику загрязнений [3; 4; 11; 12; 46] либо с увеличением содержания тяжелых металлов в хвое [28]. Повышение уровня загрязнения сопровождается увеличением не только плотности охвоения, но и линейных размеров хвои [25]. Одновременно происходит снижение продолжительности жизни хвои [11; 30; 44], но какое это имеет отношение к изменению охвоенности побегов, неизвестно.

С другой стороны, по мере приближения к источнику загрязнений многократно увеличивается «прозрачность» крон деревьев за счет интенсивного опадения хвои вдоль ствола и ветвей 1-го и 2-го порядков и соответствующего расширения ядра кроны [18; 25; 45; 51]. По-видимому, увеличение прозрачности кроны за счет расширения ее обесхвоенного ядра и увеличение плотности охвоения побегов на периферии мантии кроны являются двумя составляющими единого процесса, обусловленного реакцией дерева на загрязнение.

На основании изложенного мы предполагаем, что охвоенность побегов является чутким индикатором изменения условий произрастания не только в связи с загрязнением среды, но и в более широких экологических градиентах, в частности, в географических градиентах Евразии.

Начиная с 1950-х гг. в нашей стране интенсивно пропагандировалась возможность использования биологически активных веществ в животноводстве и других отраслях хозяйства [27; 29; 38]. Соответственно

возникла проблема количественной и качественной оценки этих веществ. Поскольку основная их доля содержится в ассимилирующих органах, то учету стала подлежать листва (хвоя) вместе с побегами, т.е. древесная зелень (хвойная лапка) [36]. На пробных площадях у модельных деревьев оперативно обрезали древесную зелень секатором и взвешивали. Для практического использования были предложены соответствующие таблицы для оценки массы древесной зелени в свежем состоянии [5, 14, 29; 32; 38]. Часть исходных данных, включающих не только массу охвоенных побегов, но и долю листвы (хвои) в них, была опубликована в авторских монографиях. Эти материалы были сведены воедино и опубликованы в соответствующей базе данных [58].

Существует тесная зависимость между длиной побега и массой хвои на нем [40]. Вследствие этого доля ассимиляционной массы в облиственных побегах (древесной зелени) является довольно стабильной величиной, ее коэффициент вариации у березы и осины изменяется в пределах от 2 до 5 % [34]. У березы доля листвы в облиственных побегах составляет $63,4 \pm 0,5$ %, у осины $70,0 \pm 1,6$ % [31], у сосны 78 % [13]. По данным К.С. Бобковой с соавторами [6], масса хвои в древесной зелени сосны колеблется от 64 до 77 %, в зависимости от типа леса. Согласно ГОСТ 21769–84 «Зелень древесная» [7], допустимое содержание хвои в древесной зелени колеблется от 80 % (1-й сорт) до 60 % (3-й сорт). В последней редакции ГОСТа на древесную зелень от 1984 г. толщина нижнего среза охвоенных побегов не регламентирована, но косвенно учитывается в сортности древесной зелени. При увеличении толщины охвоенного побега у сосны с 2 до 10 мм доля хвои снижается с 87 до 71 % [29]. Поэтому в дальнейшем изложении понятие охвоенного побега предполагает наличие хвои на всей длине побега.

Насколько нам известно, в литературе отсутствуют данные о географических закономерностях степени охвоенности побегов. Известно лишь, что продолжительность жизни хвои увеличивается при продвижении с юга на север [23], но связано ли это явление с охвоенностью побегов, неизвестно. Имеются лишь единичные опубликованные закономерности изменения доли хвои в охвоенных побегах сосны обыкновенной в связи с диаметром ствола дерева, причем прямо противоположные. В условиях степной зоны Украины названная связь отрицательная [57], а в северной подзоне тайги в Архангельской области – положительная [5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью наших исследований было выявить географические закономерности изменения доли хвои (PL , %) в охвоенных побегах деревьев сосны обыкновенной на территории Северной Евразии. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- скомпоновать исходную базу данных о PL в охвоенных побегах сосны обыкновенной;
- разработать регрессионную модель изменения PL в связи с дендрометрическими показателями дерева;
- выявить возможность модификации полученной модели в географических градиентах Северной Евразии.

Из упомянутой базы данных [58] взяты эмпирические данные PL сосны обыкновенной из разных регионов в количестве 558 модельных деревьев, представленные как естественными древостоями, так и культурами. Характеристика исходного материала приведена в таблице.

Статистики анализируемых показателей 558 модельных деревьев

Обозначение статистик	Анализируемые показатели					
	A	D	H	PL	LAT	LON
Украинское Полесье, естественные древостои						
Mean	141	45,8	31,1	51,6	49,7	30,3
Min	64	27,0	23,0	37,3	–	–
Max	186	55,0	36,6	73,6	–	–
SD	39,8	7,4	3,9	9,7	–	–
CV, %	28,2	16,1	12,7	18,7	–	–
n	12	12	12	12	–	–
Украинское Полесье, культуры						
Mean	51	23,9	23,9	61,5	50,6	28,5
Min	15	8,0	7,3	42,0	–	–
Max	91	38,1	33,7	76,3	–	–
SD	21,2	8,8	7,4	7,7	–	–
CV, %	41,2	36,8	31,1	12,6	–	–
n	24	24	24	24	–	–
Украинская степь, культуры						
Mean	58	20,6	18,7	59,7	48,6	35,4
Min	9	7,0	4,5	49,8	–	–
Max	90	27,2	24,3	71,6	–	–
SD	26,3	6,0	6,5	6,8	–	–
CV, %	45,2	29,0	34,9	11,4	–	–
n	14	14	14	14	–	–

Окончание таблицы

Обозначение статистик	Анализируемые показатели					
	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>PL</i>	<i>LAT</i>	<i>LON</i>
Средний Урал, культуры, южная тайга						
Mean	24	10,1	10,1	66,5	57,0	62,0
Min	15	2,4	3,0	41,3	—	—
Max	32	20,0	18,5	95,6	—	—
SD	6,2	4,7	4,2	11,3	—	—
CV, %	25,5	46,1	41,4	17,0	—	—
n	81	81	81	81	—	—
Южный Урал, естественные древостой, южная тайга						
Mean	79	21,8	19,7	73,4	55,5	60,2
Min	44	7,0	8,3	33,6	—	—
Max	126	33,7	26,7	88,7	—	—
SD	17,7	7,4	5,5	8,0	—	—
CV, %	22,4	33,8	27,9	10,9	—	—
n	97	97	97	97	—	—
Западная Сибирь, культуры, предлесостепь						
Mean	28	12,7	11,3	75,1	55,6	73,5
Min	10	4,5	3,5	52,0	—	—
Max	50	21,0	19,6	83,0	—	—
SD	12,5	3,7	4,7	4,8	—	—
CV, %	44,0	29,4	41,6	6,4	—	—
n	147	147	147	147	—	—
Тургайский прогиб, естественные древостой, степь						
Mean	49	14,2	14,2	76,6	52,3	64,0
Min	20	0,6	1,9	56,6	—	—
Max	110	34,5	26,1	88,0	—	—
SD	26,6	7,4	5,2	6,7	—	—
CV, %	53,8	51,7	36,5	8,8	—	—
n	84	84	84	84	—	—
Тургайский прогиб, культуры, степь						
Mean	41	13,2	12,5	73,5	52,3	64,0
Min	22	2,6	3,5	45,6	—	—
Max	50	21,7	16,2	93,9	—	—
SD	13,0	5,4	4,1	9,6	—	—
CV, %	31,4	41,1	32,7	13,1	—	—
n	99	99	99	99	—	—

Примечание. Mean, Min и Max соответственно среднее, минимальное и максимальное значения; SD – стандартное отклонение; CV – коэффициент вариации; n – число наблюдений; *A* – возраст дерева, лет; *D* – диаметр ствола на высоте груди, см; *H* – высота дерева, м; (*LAT*) и (*LON*) – соответственно широта и долгота местности, град.; *PL* – доля хвой в массе охвоенных побегов, %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как было упомянуто выше, значение *PL* связано с диаметром ствола. В условиях Украинской степи были проанализированы парные связи *PL* у 15 деревьев сосны обыкновенной и 15 деревьев интродуцированной робинии (*Robinia pseudoacacia* L.) не только с диаметром ствола, но также с возрастом и высотой дерева. Все зависимости оказались статистически мало значимыми или полностью не значимыми [57]. Тем не менее, прежде чем исследовать влияние географических факторов на величину *PL*, необходимо установить, какая доля изменчивости *PL* может приходиться на упомянутые дендрометрические показатели деревьев, и только после вычленения этой дендрометрической изменчивости выяснить, какая доля изменчивости может приходиться собственно на географические факторы.

Используя исходные данные, статистическая характеристика которых показана в таблице, рассчитано уравнение

$$\ln(PL) = 4,2834 + 0,0374(\ln A) - 0,0629(\ln D) + 0,0084(\ln H), \quad (1)$$

в котором регрессионные коэффициенты при переменных ($\ln A$) и ($\ln D$) по критерию Стьюдента статистически значимы на уровне $p < 0,02$ ($t = 2,4 \dots 3,1 > t_{02} = 2,33$). Вследствие взаимной корреляции возраста и высоты дерева регрессионный коэффициент при ($\ln H$) оказался статистически не значимым ($t = 0,30 < t_{05} = 1,96$), и переменная ($\ln H$) исключена из дальнейшего анализа.

Поскольку исходные эмпирические данные получены как в естественных древостоях, так и в культурах сосны, необходимо далее выяснить, есть ли статистически значимые различия деревьев разного происхождения по показателю *PL* с учетом изменчивости последнего по дендрометрическим и географическим факторам. Рассчитано уравнение:

$$\ln(PL) = 4,6637 + 0,0558(\ln A) - 0,0102(\ln D)^2 - 0,4356(\ln LAT) + 0,3019(\ln LON) - 0,0237X, \quad (2)$$

где X – бинарная переменная, кодирующая принадлежность исходных данных к естественным древостоям ($X = 0$) или культурам ($X = 1$). Все регрессионные коэффициенты при численных переменных значимы на уровне $p < 0,01$, тогда как регрессионный коэффициент при бинарной переменной согласно критерию Стьюдента статистически не значим ($t = 1,87 < t_{05} = 1,96$). На этом основании бинарная переменная исключена из регрессионного анализа, и окончательная модель имеет вид

$$\ln(PL) = 4,6190 + 0,0582(\ln A) - 0,0345(\ln D) - 0,4465(\ln LAT) + 0,3216(\ln LON);$$

$$adjR^2 = 0,251; SE = 0,11. \quad (3)$$

В модели (3): $adjR^2$ – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных; SE – стандартная ошибка уравнения. Согласно критерию Стьюдента, все регрессионные коэффициенты в модели (3) значимы на уровне $p < 0,01$ ($t = 3,0...11,9 > t_{01} = 2,58$). Свободный член в (3) скорректирован с учетом логарифмической трансформации [50]. Вклады независимых переменных ($\ln A$), ($\ln D$), ($\ln LAT$) и ($\ln LON$) в объяснение изменчивости искомого показателя составили соответственно 22,1; 13,4; 13,0 и 51,5 %. Таким образом, 35,5 % объясненной изменчивости приходится на дендрометрические переменные (возраст и диаметр ствола) и 64,5 % изменчивости – на географическую составляющую (широта и долгота местности).

Согласно знакам при независимых переменных ($\ln A$) и ($\ln D$), охвоенность побегов имеет положительную связь с возрастом дерева, а при одном и том же возрасте есть отрицательная связь с диаметром ствола. Первая из названных закономерностей объясняется выше отмеченным возрастным изменением морфоструктуры кроны, согласно которому у спелых деревьев вследствие прекращения роста в высоту происходит концентрация массы хвои на единице длины побега. Вторая закономерность связана с аналогичной концентрацией хвои на побегах деревьев, оставших в росте (кандидатов на отмирание) и имеющих относительно меньший диаметр ствола.

Судя по знакам при независимых переменных, характеризующих географические широту и долготу, показатель PL при неизменных значениях возраста и диаметра ствола связан отрицательно с широтой и положительно – с долготой местности (рис. 2).

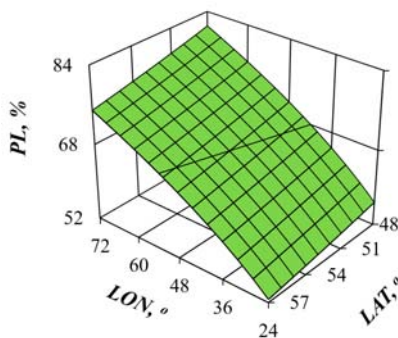


Рис. 2. Изменение расчетных значений PL в координатах широты и долготы местности при среднем возрасте деревьев 46 лет и среднем диаметре ствола 15,6 см

Первая закономерность объясняется снижением влагообеспеченности территорий в направлении от таежной зоны в зону степи, а вторая – повышением континентальности климата [17] и влагообеспеченности местопроизрастаний в направлении с запада на восток. С целью графической интерпретации названной закономерности, в модель (3) подставлены средние для всех регионов значения возраста дерева (46 лет) и диаметра ствола (15,6 см). Затем по задаваемым значениям широты и долготы построена соответствующая 3D-поверхность (рис. 2).

Анализ рис. 2 позволяет сделать вывод, что в направлении с севера на юг происходит увеличение PL на 0,44 % на каждый градус северной широты. В направлении с запада на восток происходит увеличение PL на 0,50 % на каждый градус восточной долготы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Охвоенность побегов имеет положительную связь с возрастом дерева, а при одном и том же возрасте она имеет отрицательную связь с диаметром ствола. Первая из названных закономерностей объясняется возрастным изменением морфоструктуры кроны, согласно которому у спелых деревьев вследствие прекращения роста в высоту происходит концентрация массы хвои на единице длины побега. Вторая закономерность связана с аналогичной концентрацией хвои на побегах деревьев, оставших в росте и имеющих относительно меньший диаметр ствола.

При неизменных значениях возраста и диаметра ствола охвоенность побегов связана отрицательно с широтой и положительно – с долготой местности. Первая закономерность объясняется снижением влагообеспеченности территорий в направлении от таежной зоны в зону степи, а вторая – повышением континентальности климата и влагообеспеченности местопроизрастаний в направлении с запада на восток.

В направлениях с севера на юг и с запада на восток происходит увеличение охвоенности побегов на 0,44 % и на 0,50 % на каждый градус соответственно широты и долготы. Таким образом, охвоенность побегов сосны обыкновенной является индикатором изменения условий произрастания в географических градиентах Евразии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Авдеева Е. В., Кривоносенко О. Г. Архитектура лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.) в урбанизированной среде // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. XXXI. № 3-4. С. 7–17.
2. Алексеев В. А. Световой режим леса. Л.: Наука, 1975. 227 с.
3. Аугустайтис А. А. Закономерности роста основных древостоев при различном уровне загрязнения природной среды: Автореф. дис.... канд. биол. наук. 03.00.16. М.: Ин-т глобального климата и экологии, 1992. 22 с.
4. Аугустайтис А. А. Особенности формирования надземной фитомассы сосновых молодняков в условиях загрязнения природной среды // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 12. Л.: Гидрометеиздат, 1989. С. 32–51.

5. Бабич Н. А., Мерзленко М. Д., Евдокимов И. В. Фитомасса культур сосны и ели в европейской части России. Архангельск: АГТУ, 2004. 112 с.
6. Бобкова К. С., Тужилкина В. В., Патов А. И. Ресурсы и возможности использования древесной зелени хвойных в Коми АССР. Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1986. 19 с.
7. ГОСТ 21769–84. Зеленъ древесная. Технические условия. Издательство стандартов, 1984. 5 с.
8. Грудзинская И. А. Летнее побегообразование у древесных растений и его классификация // Ботанический журнал. 1960. Т. 45. № 7. С. 968–978.
9. Дылис Н. В. Основы биогеоценологии. М.: Изд-во МГУ, 1978. 152 с.
10. Завьялов К. Е. Состояние искусственных насаждений березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях магнитового загрязнения : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. 06.03.03. Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. 16 с.
11. Залесов С. В., Бачурина А. В. Изменение морфометрических показателей хвои сосны обыкновенной в условиях аэропромвыбросов // Лесной вестник. 2008. № 3. С. 36–39.
12. Зарубина И. А. Оценка состояния культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях аэротехногенного загрязнения (Усть-Илимский район Иркутской области): Автореф. дис... канд. с.-х. наук. 06.03.01. Красноярск: СибГТУ, 2011. 17 с.
13. Иванчиков А. А., Зябченко С. С., Софронова Г. И. Ресурсы сосновой зелени в лесах Карелии // Комплексное ведение хозяйства в сосновых лесах. Тезисы докладов. Гомель, 1982. С. 128–130.
14. Иевинь И. К., Дикельсон Э. О. Масса крон осины, березы и ели в кисличниках Латвии // Лесное хозяйство, 1962. № 4. С. 20–23.
15. Кузьмичев В. В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука, 1977. 160 с.
16. Мазуренко М. Т., Хохряков А. П. Структура и морфогенез кустарников. М.: Наука, 1977. 160 с.
17. Назимова Д. И. Климатическая ординация лесных экосистем как основа их классификации // Лесоведение. 1995. № 4. С. 63–73.
18. Низаметдинов Н. Ф. Оценка состояния сосновых древостоев в условиях аэропромышленного загрязнения атмосферы по цифровым фотографиям крон деревьев и спутниковым фотоснимкам: Автореф. дис.... канд. с.-х. наук. 06.03.02, 06.03.03. Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. 19 с.
19. Нухимовский Е. Л. Ветвление и кущение семенных растений // Известия ТСХА, 1974. № 2. С. 50–62.
20. Протопопов В. В., Горбатенко В. М. Биологическая продуктивность и биометрические показатели некоторых типов сосновых древостоев Средней Сибири // Географические аспекты горного лесоведения и лесоводства. Чита: Изд-во Забайкальского филиала Географического общества СССР, 1967. С. 42–45.
21. Руднев Н. И. Радиационный баланс леса. М.: Наука, 1977. 128 с.
22. Серебряков И. Г. Морфология вегетативных органов высших растений. М.: Советская наука, 1952. 391 с.
23. Серебряков И. Г. Ритм сезонного развития растений хибинских тундр // Бюллетень МОИП; отд. биол. 1961. Т. 66. № 5. С. 78–97.
24. Серебрякова Т. И., Воронин Н. С., Еленевский А. Г. Ботаника с основами фитоценологии. Анатомия и морфология растений. М.: Академкнига, 2006. 543 с.
25. Сидаравичюс Й. М. Анализ фитомассы и морфоструктуры крон сосновых древостоев при атмосферном загрязнении природной среды // Исследование и моделирование роста лесных насаждений, произрастающих в условиях загрязненной природной среды. Сборник научных трудов. Каунас: ЛитСХА, 1987. С. 45–55.
26. Смирнов В. В. Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах европейской части СССР. М.: Наука, 1971. 362 с.
27. Солодкий Ф. Т. О кормовом использовании древесной зелени // О зелёном веточном корме. Л.: ЛЛТА, 1958. Вып. 1 (9). С. 5–15.
28. Тарханов С. Н. Состояние лесных экосистем в условиях атмосферного загрязнения на Европейском Севере: Автореф. дис... д-ра биол. наук. 03.02.08. Сыктывкар: Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 2011. 38 с.
29. Томчук Р. И., Томчук Г. Н. Древесная зелень и ее кормовое использование. М.: Лесная промышленность, 1966. 241 с.
30. Торлопова Н. В., Робакидзе Е. А. Влияние поллютантов на хвойные фитоценозы (на примере Сыктывкарского лесопромышленного комплекса). Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 147 с.
31. Усольцев В. А. Содержание и сохранность каротина в древесной зелени березы и осины // Лесное хозяйство. 1973а. № 10. С. 30–33.
32. Усольцев В. А. Элементы биологической продуктивности березово-осиновых лесов Северного Казахстана: Автореф. дис... канд. с.-х. наук, 06.03.03. Свердловск: УЛТИ, 1973б. 26 с.
33. Усольцев В. А. Фитомасса крон спелых березово-осиновых насаждений в Северном Казахстане // Лесоведение. 1974. № 2. С. 86–88.
34. Усольцев В. А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1985. 191 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3353>).
35. Усольцев В. А. Вертикально-фракционная структура фитомассы деревьев. Исследование закономерностей. Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. 603 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/2771>).
36. Усольцев В. А. Об одном методическом нарушении при оценке чистой первичной продукции насаждений // Сибирский лесной журнал. 2021. № 6. С. 91–95.
37. Усольцев В. А., Воробейчик Е. Л., Бергман И. Е. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: Исследование системы связей и закономерностей. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 365 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/458>).
38. Успенский В. В. Методика определения ресурсов хвойной лапки на лесосеках // Проблемы использования древесной зелени в народном хозяйстве СССР. Л.: ЛЛТА, 1984. С. 8–9.

39. Цельникер Ю. Л. Радиационный режим под пологом леса. М.: Наука, 1969. 100 с.
40. Цельникер Ю. Л. Структура кроны ели // Лесоведение. 1994. № 4, С. 35–44.
41. Цельникер Ю. Л., Корзухин М. Д., Зейде Б. Б. Морфологические и физиологические исследования кроны деревьев (литературный обзор). М.: Изд-во Урания, 2000. 93 с.
42. Юкнис Р. Закономерности динамики одновозрастных древостоев в условиях загрязненной природной среды // Исследование и моделирование роста лесных насаждений, произрастающих в условиях загрязненной природной среды. Сборник научных трудов. Каунас- Академия, 1987. С. 74–95.
43. Юсупов И. А., Залесов С. В., Луганский Н. А. Надземная фитомасса искусственных молодняков сосны в условиях аэропромвыбросов на Среднем Урале // Биологическая рекультивация нарушенных земель. Материалы международного совещания. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. С. 266–278.
44. Ярмишко В. Т. Формирование фитомассы хвой в сосновых молодняках Кольского полуострова // Ботанический журнал. 1989. Т. 74. № 9. С. 1376–1386.
45. Ярмишко В. Т. Состояние ассимиляционного аппарата сосны // Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. Л.: БИН им. В.Л. Комарова АН СССР, 1990. С. 55–64.
46. Ярмишко В. Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 1997. 210 с.
47. Ярмишко В. Т. Крона дерева как индикатор его состояния в условиях техногенного загрязнения окружающей среды // Динамика лесных сообществ северо-запада России. СПб.: Изд-во «BBM», 2009. С. 28–57.
48. Assmann E. Waldertragskunde: Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. München, Bonn, Wien: BLV Verlagsgesellschaft, 1961. 492 p.
49. Baldwin V.C., Jr., Peterson K.D. Predicting the crown shape of loblolly pine trees // Canadian Journal of Forest Research. 1997. Vol. 27. P. 102–107.
50. Baskerville G. L. Use of logarithmic regressions in the estimation of plant biomass // Canadian Journal of Forest Research. 1972. Vol. 2. P. 49–53.
51. Brassel P., Schwyzer A. Ergebnisse der Waldschadeninventur 1992 // Sanasilva – Waldschadenbericht 1992. Bern und Birmensdorf: WSL, 1992. P. 7–18.
52. Ford E. D., Avery A., Ford R. Simulation of branch growth in the *Pinaceae*: interaction of morphology, phenology, foliage productivity and the requirement for structural support on the export carbon // Journal of Theoretical Biology. 1990. Vol. 146. No. 1. P. 15–36.
53. Mayer H. Waldbau: auf soziologisch-ökologischer Grundlage. Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag, 1980. 482 p.
54. McMahon T. A., Kronauer R. E. Tree structures: deducing the principle of mechanical design // Journal of Theoretical Biology. 1976. Vol. 59. No. 2. P. 443–466.
55. Münch E. Untersuchungen über die Harmonie der Baumgestalt // Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik. 1938. Vol. 86. P. 581–673.
56. Room P. M., Maillette L., Hanan J. S. Module and metamer dynamics and virtual plants // Advances in Ecological Research. 1994. Vol. 25. P. 105–157.
57. Sytnyk S., Lovynska V., Lakyda I. Foliage biomass qualitative indices of selected forest forming tree species in Ukrainian Steppe // Folia Oecologica. 2017. Vol. 44(1). P. 38–45.
58. Usoltsev V. A. Stem taper, density and dry matter content in biomass of trees growing in Central Eurasia: CD-monograph. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020. (<https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9649>).
59. Valentine H. T. A carbon-balance model of stand growth: a derivation employing pipe model theory and the self-thinning rule // Annals of Botany. 1988. Vol. 62. No. 4. P. 389–396.
60. Yagi T. Within-tree variations in shoot differentiation patterns of 10 tall tree species in a Japanese cool-temperate forest // Canadian Journal of Botany. 2011. Vol. 82. No. 2. P. 228–243.

REFERENCES

1. Avdeeva E. V., Krivonosenko O. G. Architecture of Siberian larch (*Larix sibirica* L.) in an urbanized environment // Coniferous of the boreal area. 2013. Vol. XXXI. No. 3-4. P. 7–17.
2. Alekseev V. A. Light condition of the forest. Leningrad: Nauka, 1975. 227 p.
3. Augustaitis A. A. Patterns of growth of pine stands at different levels of environmental pollution: Abstract dis. ... candidate of biological sciences. 03.00.16. Moscow: Institute of Global Climate and Ecology, 1992. 22 p.
4. Augustaitis A. A. Features of the formation of aboveground phytomass of pine young trees in conditions of environmental pollution // Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems. Vol. 12. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1989. P. 32–51.
5. Babich N. A., Merzlenko M. D., Evdokimov I. V. Phytomass of pine and spruce plantations in the European part of Russia. Arkhangelsk: AGTU, 2004. 112 p.
6. Bobkova K. S., Tuzhilina V. V., Patov A. I. Resources and possibilities of using coniferous tree greenery in the Komi ASSR. Syktyvkar: Komi branch of the USSR Academy of Sciences, 1986. 19 p.
7. GOST 21769-84. Tree verdure. Specifications. Moscow: Publishing House of Standards, 1984. 5 p.
8. Grudinskaya I. A. Summer shoot formation in woody plants and its classification // Botanical Journal. 1960. Vol. 45. No. 7. P. 968–978.
9. Dylis N. V. Fundamentals of biogeocenology. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1978. 152 p.
10. Zavyalov K. E. The state of artificial stands of silver birch (*Betula pendula* Roth) in the conditions of magnesite pollution: Abstract. dis. ... candidate of agricultural sciences. 06.03.03. Yekaterinburg: UGLTU, 2009. 16 p.
11. Zalesov S. V., Bachurina A. V. Change in morphometric parameters of pine needles in the

conditions of industrial emissions // *Lesnoy Vestnik*. 2008. No. 3. P. 36–39.

12. Zarubina I. A. Assessment of the state of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations under conditions of aerotechnogenic pollution (Ust-Ilimsky district of Irkutsk region): Abstract dis. ... candidate of agricultural sciences. 06.03.01. Krasnoyarsk: SibSTU, 2011. 17 p.

13. Ivanchikov A. A., Zybchenko S. S., Sofronova G. I. Resources of pine crown greenery in the forests of Karelia // Complex management of the economy in pine forests. Abstracts of reports. Gomel, 1982. P. 128–130.

14. Ievins I. K., Dickelson E. O. The mass of aspen, birch and spruce crowns in the *Oxalidaceae* forest types of Latvia // *Lesnoe Khozyaistvo* (Forestry). 1962. No. 4. P. 20–23.

15. Kuzmichev V. V. Patterns of stand growth. Novosibirsk: Nauka, 1977. 160 p.

16. Mazurenko M. T., Khokhryakov A. P. Structure and morphogenesis of shrubs. Moscow: Nauka, 1977. 160 p.

17. Nazimova D. I. Climatic ordination of forest ecosystems as the basis of their classification // *Lesovedenie* (Forest science). 1995. No. 4. P. 63–73.

18. Nizametdinov N. F. Assessment of the state of pine stands in conditions of industrial pollution of the atmosphere from digital photographs of tree crowns and satellite photographs: Abstract dis. candidate of agricultural sciences. 06.03.02, 06.03.03. Yekaterinburg: UGLTU, 2009. 19 p.

19. Nukhimovsky E. L. Branching and tillering of seed plants // *Izvestiya TSKHA*. 1974. No. 2. P. 50–62.

20. Protopopov V. V., Gorbatenko V. M. Biological productivity and biometric indicators of some types of pine stands in Central Siberia // Geographical aspects of mountain forestry and forest management. Chita: Publishing House of the Trans-Baikal Branch of the Geographical Society of the USSR, 1967. P. 42–45.

21. Rudnev N. I. Radiation balance of the forest. Moscow: Nauka, 1977. 128 p.

22. Serebryakov I. G. Morphology of vegetative organs of higher plants. Moscow: Sovetskaya Nauka, 1952. 391 p.

23. Serebryakov I. G. The rhythm of seasonal development of plants of the Khibiny tundra // *Bulletin of MOIP; otd. biol.* 1961. Vol. 66. No. 5. P. 78–97.

24. Serebryakova T. I., Voronin N. S., Elenevsky A. G. Botany with the basics of phytocenology. Anatomy and morphology of plants. Moscow: Akademkniga, 2006. 543 p.

25. Sidaravicius Y. M. Analysis of phytomass and morphostructure of Scots pine tree crowns under atmospheric pollution of the environment // Research and modeling of growth of forest stands growing in a polluted environment. Collection of scientific papers. Kaunas: Academia, 1987. P. 45–55.

26. Smirnov V. V. Organic mass in some forest phytocenoses of the European part of the USSR. Moscow: Nauka, 1971. 362 p.

27. Solodkiy F. T. On the fodder use of tree greenery // On the green branch feed. Leningrad: LLTA, 1958. No. 1 (9). P. 5–15.

28. Tarkhanov S. N. The state of forest ecosystems in the conditions of atmospheric pollution in the European North: Abstract. dis... doctor of biological sciences. 03.02.08. Syktyvkar: Institute of Biology of Komi NC UrO RAS, 2011. 38 p.

29. Tomchuk R. I., Tomchuk G. N. Tree greenery and its forage use. Moscow: Lesnaya Promyshlennost, 1966. 241 p.

30. Torlopova N. V., Robakidze E. A. Influence of pollutants on coniferous phytocenoses (on the example of Syktyvkar timber industry complex). Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2003. 147 p.

31. Usoltsev V. A. The content and preservation of carotene in the crown greenery of birch and aspen // *Lesnoe Khozyaistvo* (Forestry). 1973a. No. 10. P. 30–33.

32. Usoltsev V. A. Elements of biological productivity of birch and aspen forests of Northern Kazakhstan: Abstract. dis... candidate of agricultural sciences, 06.03.03. Sverdlovsk: ULTI, 1973b. 26 p.

33. Usoltsev V. A. Phytomass of the crowns of mature birch and aspen stands in Northern Kazakhstan // *Lesovedenie* (Forest science). 1974. No. 2. P. 86–88.

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

35. Usoltsev V. A. Structure of tree biomass-height profiles: studying a system of regularities. Yekaterinburg: Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 2013. 603 p. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/2771>).

36. Usoltsev V. A. On some methodological violation in estimating the net primary production of forests // *Sibirskiy Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2021. No. 6. P. 91–95 (in Russian with English abstract).

37. Usoltsev V. A., Vorobeichik E. L., Bergman I. E. Biological productivity of Ural forests under conditions of air pollutions: studying the system of regularities. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2012. 365 p. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/458>).

38. Uspensky V. V. Methodology for determining the resources of coniferous tree greenery in logging areas // Problems of using tree crown greenery in the national economy of the USSR. Leningrad: LLTA, 1984. P. 8–9.

39. Tsel'niker Yu. L. Radiation regime under the forest canopy. Moscow: Nauka, 1969. 100 p.

40. Tsel'niker Yu. L. Structure of spruce crown // *Lesovedenie* (Forest science). 1994. No. 4. P. 35–44.

41. Tsel'niker Yu. L., Korzukhin M. D., Zeide B. B. Morphological and physiological research in tree crowns (literature review). Moscow: Urania Publishing House, 2000. 93 p.

42. Yuknis R. Regularities of the dynamics of single-aged stands in a polluted environment // Research and modeling of the growth of forest stands growing in a polluted environment. Collection of scientific papers. Kaunas-Academy, 1987. P. 74–95.

43. Yusupov I. A., Zalesov S. V., Lugansky N. A. Aboveground phytomass of artificial young pine trees in the conditions of air pollution in the Middle Urals // Biological recultivation of disturbed lands. Materials of the International meeting. Yekaterinburg: Ural

Branch of the Russian Academy of Sciences, 1997. P. 266–278.

44. Yarmishko V. T. Formation of the needle phytomass in Scots pine young trees of the Kola Peninsula // *Botanicheskiy Zhurnal (Botanical Journal)*. 1989. Vol. 74. No. 9. P. 1376–1386.

45. Yarmishko V. T. The state of the assimilation apparatus of Scots pine // The influence of industrial atmospheric pollution on the Scots pine forests of the Kola Peninsula. Leningrad: V. L. Komarov Botanical Institute of the USSR Academy of Sciences, 1990. P. 55–64.

46. Yarmishko V. T. Scots pine and atmospheric pollution in the European North. St.-Petersburg: Research Institute of Chemistry of St.-Petersburg State University, 1997. 210 p.

47. Yarmishko V. T. The tree crown as an indicator of its state in conditions of technogenic environmental pollution // *Dynamics of forest communities of the North-West of Russia*. St.-Petersburg: Publishing House "VVM", 2009. P. 28–57.

48. Assmann E. *Waldetragskunde: Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen*. München, Bonn, Wien: BLV Verlagsgesellschaft, 1961. 492 p.

49. Baldwin V. C., Jr., Peterson K. D. Predicting the crown shape of loblolly pine trees // *Canadian Journal of Forest Research*. 1997. Vol. 27. P. 102–107.

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

51. Brassel P., Schwyzer A. *Ergebnisse der Waldschadeninventur 1992 // Sanasilva – Waldschadenbericht 1992*. Bern und Birmensdorf: WSL, 1992. P. 7–18.

52. Ford E. D., Avery A., Ford R. Simulation of branch growth in the *Pinaceae*: interaction of morphology, phenology, foliage productivity and the

requirement for structural support on the export carbon // *Journal of Theoretical Biology*. 1990. Vol. 146. No. 1. P. 15–36.

53. Mayer H. *Waldbau: auf soziologisch-ökologischer Grundlage*. Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag, 1980. 482 p.

54. McMahon T. A., Kronauer R. E. Tree structures: deducing the principle of mechanical design // *Journal of Theoretical Biology*. 1976. Vol. 59. No. 2. P. 443–466.

55. Münch E. Untersuchungen über die Harmonie der Baumgestalt // *Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik*. 1938. Vol. 86. P. 581–673.

56. Room P. M., Maillette L., Hanan J. S. Module and metamer dynamics and virtual plants // *Advances in Ecological Research*. 1994. Vol. 25. P. 105–157.

57. Sytnyk S., Lovynska V., Lakyda I. Foliage biomass qualitative indices of selected forest forming tree species in Ukrainian Steppe // *Folia Oecologica*. 2017. Vol. 44. No. 1. P. 38–45.

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

59. Valentine H. T. A carbon-balance model of stand growth: a derivation employing pipe model theory and the self-thinning rule // *Annals of Botany*. 1988. Vol. 62. No. 4. P. 389–396.

60. Yagi T. Within-tree variations in shoot differentiation patterns of 10 tall tree species in a Japanese cool-temperate forest // *Canadian Journal of Botany*. 2011. Vol. 82. No. 2. P. 228–243.

© Усольцев В. А., Цепордей И. С.,
Данилин И. М., 2022

Поступила в редакцию 10.06.2022

Принята к печати 01.08.2022

ОСОБЕННОСТИ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА В ДРЕВОСТОЯХ ЛИСТВЕННИЦЫ НИЖНЕГО ПРИАНГАРЬЯ*

С. Л. Шевелев, Н. Н. Кулакова

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

*Целью настоящей работы явилось установление особенностей динамики депонирования углерода в древостоях лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) Нижнего Приангарья. Полученные результаты могут быть использованы при разработке методики оценки запасов депонирования углерода в фитомассе древостоев и формировании нормативной базы оценки секвестрационного потенциала лесных территорий. В работе на основании материалов 10 пробных площадей с рубкой и обмером 392 модельных деревьев, а также материалов натурной таксации в объеме 858 таксационных выделов проведен анализ структуры лесного массива из лиственницы сибирской в Нижнем Приангарье. Установлены возрастная структура лесного массива, особенности распределения запасов древостоев в лесном массиве, структура полнот древостоев входящих в различные возрастные группы. Получены математические модели динамики основных таксационных показателей лиственничников. Процесс достаточно точно аппроксимируется функцией Вейбулла. Переход на запас депонированного углерода осуществлен с применением конверсионно – объемного метода. Использованы конверсионные коэффициенты связывающие фракционные отношения фитомассы к запасу древостоев (Ph/m) с возрастом последних. Затем были применены конверсионные коэффициенты для установления запасов депонированного углерода. Динамика запасов депонированного углерода с высокой степенью адекватности соответствует математической модели на основе функции Ричардса.*

Ключевые слова: Нижнее Приангарье, лиственница сибирская, структура древостоя, лесной массив, динамика фитомассы, депонирование углерода.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 4, P. 312–317

FEATURES OF CARBON STORAGE IN LARCH STANDS IN THE LOWER ANGARA REGION

S. L. Shevelev, N. N. Kulakova

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

*The purpose of this work was to establish the features of the dynamics of carbon sequestration in the stands of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) in the Lower Angara region. The results obtained can be used in developing a methodology for assessing the stocks of carbon sequestration in the phytomass of forest stands and forming a regulatory framework for assessing the sequestration potential of forest areas. Based on the materials of 10 trial plots with felling and measurement of 392 model trees, as well as natural census materials in the amount of 858 taxation sections, an analysis was made of the structure of the Siberian larch forest in the Lower Angara region. The age structure of the forest area, the features of the distribution of forest stocks in the forest area, the structure of the density of forest stands included in different age groups have been established. Mathematical models of the dynamics of the main taxation indicators of larch forests are obtained. The process is fairly accurately approximated by the Weibull function. The transition to the stock of deposited carbon was carried out using the conversion-volume method. Conversion coefficients were used that connect the fractional ratios of phytomass to the stock of forest stands (Ph/m) with the age of the latter. Conversion factors were then applied to establish stocks of sequestered carbon. The dynamics of stocks of deposited carbon with a high degree of adequacy corresponds to a mathematical model based on the Richards function.*

Keywords: Lower Angara region, Siberian larch, stand structure, forest massif, phytomass dynamics, carbon sequestration.

* Исследование проводится в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по выполнению сотрудниками научной лаборатории «Защита леса» проекта «Фундаментальные основы защиты лесов от энтомо- и фитовредителей в Сибири» (№ FEFE-2020-0014).

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время важной задачей, стоящей перед учеными, становится оценка баланса углерода в биосфере для установления влияния изменений его содержания в атмосфере Земли на изменение климата.

Важность этой задачи прежде всего обусловлена необходимостью решения проблемы сокращения выбросов парниковых газов, а также разработки методики оценки стока углерода в лесах различных природных зон.

Международное соглашение (Парижское соглашение 22.04.2016 г. – соглашение в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата), заключенное с целью сокращения объемов парниковых газов в атмосфере Земли, в целях противодействия глобальному потеплению, предусматривает не только ограничения промышленных выбросов, но и компенсацию их биологической фиксацией атмосферного углерода.

Так как основную роль в процессе глобального потепления путем формирования «тепловой ловушки» в верхних слоях атмосферы играет углекислый газ, роль лесов, способных связывать его, в стабилизации ситуации очень высока.

Американским экономистом Р. Коузом сформирована концепция перевода борьбы с загрязнением атмосферы в плоскость прав собственности на нематериальные блага и создания общемирового рынка прав на загрязнение воздуха парниковыми газами.

В соответствии с этой теорией Евросоюзом к 2023 году вводится так называемый «карбоновый налог», который будет взиматься с экспортеров продукции с высоким углеродным следом, т.е. нефти, газа, угля, чёрных и цветных металлов, цемента, удобрений и т.п.

Этот налог может явиться ощутимым ударом по отечественному бизнесу, так как по мнению экспертов может коснуться более чем 40 % всего экспортного потока Российской Федерации в Евросоюз.

К настоящему времени разработаны некоторые рыночные механизмы для решения природоохранных задач, наиболее перспективным из которых является организация торговли квотами, которые уже частично внедряются в США.

Однако такой рынок не может быть эффективным, когда в нём участвует ограниченное число предприятий [4]. В настоящее время не существует общепринятой методики учёта поглощения CO₂ наземными экосистемами. Хотя в Киотском протоколе сказано, что простое накопление углерода исключается из учёта и учёту подлежит только деятельность человека [4] (посадка лесов, прогрессивные формы ведения лесного хозяйства), а не природные процессы, идущие вне нашей воли, споры по этому вопросу продолжаются.

Существует значительный ряд публикаций отечественных ученых, посвященных депонированию углерода лесами России. Результаты наиболее значимых в этой области исследований отражены в работах В.А. Алексеева, Р.А. Бердси [6]; Д.Г. Замолодчикова, А.И. Уткина, Г.Н. Коровина [1]; В.А. Усольцева, А.И. Колтуновой [7]; В.А. Усольцева [8] А.З. Швиденко, С. Нильсона, В.С. Столбового [9]; Д.Г. Замолодчикова, А.И. Уткина, О.В. Честных, В.А. [2]; Д.Г. Замолодчикова, В.И. Грабовского, О.В. Честных [3] и др.

Получено большое количество данных, характеризующих суммарный запас депонирования углерода на покрытых лесом землях России, однако исследования выполнены по различающимся методикам и характеризуются невысокой степенью согласованности.

Роль наших лесов в области регулирования углеродного баланса неоспорима, однако для реальной оценки их вкладов в депонирование углерода требуются разработки как методического так и опытно-экспериментального характера в различных лесорастительных зонах.

Целью настоящей работы явилось установление особенностей динамики депонирования углерода в древостоях лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) Нижнего Приангарья.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке методики оценки запасов депонирования углерода в фитомассе древостоев и формировании нормативной базы оценки секвестрационного потенциала лесных территорий.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования явились древостоев лиственницы сибирской в районе нижнего течения р. Ангара.

Территория района исследований представляет собой часть Средне-Сибирского плоскогорья. Климат резко-континентальный, почвы в основном подзолистого типа, длительно-сезонномерзлотные. Район характеризуется густой гидрологической сетью. На долю лиственных насаждений приходится около 24 % покрытых лесом земель.

Сбор исходных данных производился с использованием метода пробных площадей, закладка которых велась в соответствии с требованиями отраслевого стандарта ОСТ 56-69-83 «Пробные площади лесоустойчивые. Методы закладки». Также были использованы материалы производственной таксации древостоев. Всего были использованы материалы 10 пробных площадей с рубкой и обмером 392 модельных деревьев (табл. 1) и материалы натурной таксации 858 таксационных выделов с преобладанием лиственницы сибирской в составе древостоев.

Лесной массив, явившийся объектом исследования, расположен на территории Богучанского и Чунского лесничеств, выделен на основе позиций изложенных в работах С.Л. Шевелёва, И.И. Красикова [10], которые понимают лесной массив как биологическую лесную систему, сформировавшуюся в определенных географических условиях, соответствующую отдельным элементам ландшафта, занимающую целостную территорию с естественными границами, которой присущи опосредованные орографическими, почвенными, погодно-климатическими и другими факторами структуры биоценозов.

Запасы депонированного углерода оценивались на основе методических рекомендаций Д.Г. Замолодчикова, А.И. Уткина, О.В. Честных [2], Д.Г. Замолодчикова, А.И. Уткина, Г.Н. Коровина [1], в соответствии с конверсионно-объемным методом оценки запасов углерода в лесных биосистемах.

При изучении динамики древостоев использованы разработки Н.В. Третьякова, получившие развитие в трудах Н.В. Семечкина [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Первичная статистическая оценка рядов средних величин таксационных показателей лиственничных насаждений, слагающих лесной массив, приведена в табл. 2.

Лесной массив представлен лиственничниками, относящимися к трём группам типов леса – разнотравный, зеленомошный и багульниковый. Причём древостой разнотравной группы имеет абсолютное преобладание на их долю приходится 77,3 % от общего количества таксационных выделов. Представленность древостоев зеленомошной группы типов леса 21,3 % и всего 1,4 % составляет доля лиственничников багульниковой группы типов леса.

Возрастная структура лесного массива – фактор, определяющий соотношения всех структурных элементов этой сложной биологической системы. В силу естественных закономерностей развития древостоев, являющихся отражением лесообразовательного процесса, а также под воздействием экзогенных факторов, влияющих на динамику лесных пространств (лесных пожаров, массовых вспышек энтомофагов, ветровалов и т. п.) происходит дифференциация древостоев по возрасту.

Оказалось, что массив представлен в основном спелыми и перестойными древостоями, на их долю приходится 69,9 % от общего числа таксационных

выделов, что является свидетельством его малой нарушенности.

Анализ распределения запасов между древостоями различных диаметров показал, что практически половина запасов сосредоточена в древостоях со средними диаметрами 24–28 см – 46,7 % (рис. 1).

Древостои лиственницы в основном модалы, среднее значение полноты всей совокупности 0,6, при этом величина медианы и моды ряда распределения полнот совпадают они также равны 0,6. Некоторая дифференциация средних величин полнот присутствует в древостоях разных возрастных групп (рис. 2).

Динамика средних таксационных показателей лиственничников была рассмотрена на типологической основе. Анализировались возрастные изменения средних таксационных показателей разнотравной группы типов леса – имеющей абсолютное преобладание в районе исследования.

Было выполнено математическое моделирование динамики таксационных показателей лиственничников.

Динамика основных таксационных показателей с высокой степенью адекватности аппроксимируется функцией Вейбулла вида

$$y = a - b \times \exp^{-cx^d}, \quad (1)$$

где y – величина таксационного показателя; x – возраст древостоя, лет.

Коэффициенты уравнений и показатели их адекватности приведены в табл. 3.

Таблица 1
Характеристика древостоев пробных площадей

№ п/п	Состав	Средние			Полнота	Запас, м ³ /га	Бонитет
		Н, м	D _{1,3} , см	А, лет			
1	10Л ед. С	21,0	28,7	202	0,70	217	III
2	10Л ед. Ос	19,7	26,9	279	0,75	213	IV
3	10Л	22,0	28,9	240	0,67	232	IV
4	10Л ед. С, К, Б	22,4	29,5	260	0,65	257	IV
5	10Л	19,4	24,3	170	0,56	154	IV
6	10Л ед. Ос	16,2	17	100	0,64	146	IV
7	9Л 1Б	16,0	18,0	120	0,50	120	V
8	7Л 2Б 1К едС	19,3	22,6	140	0,50	196	IV
9	7Л 3С	17,2	19,5	102	0,51	204	IV
10	9Л 1Б	16,0	18	120	0,60	120	V

Таблица 2
Статистические показатели рядов средних таксационных признаков древостоев

Статистические показатели	H _{ср} , м	D _{ср} , см	Полнота	Бонитет	A _{ср} , лет	Запас, м ³ /га
Среднее значение	22,7	27,6	0,60	2,69	136	201
Стандартная ошибка	0,21	0,35	0,00	0,02	2,14	2,4
Медиана	24	28	0,60	3	130	210
Мода	25	26	0,60	3	110	220
Стандартное отклонение	6,17	10,38	0,13	0,64	62,77	70
Минимум	0,5	1	0,3	1	3	5
Максимум	35	60	1	5	280	400
Коэффициент варьирования, %	27,1	37,7	22,0	23,8	46,0	34,9
Точность опыта, %	0,9	1,3	0,8	0,8	1,6	1,2

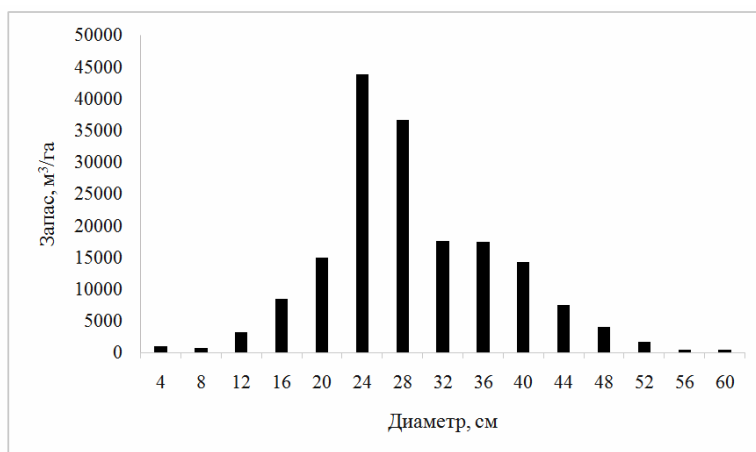


Рис. 1. Распределение суммарного запаса лесного массива между древостоями различных средних диаметров

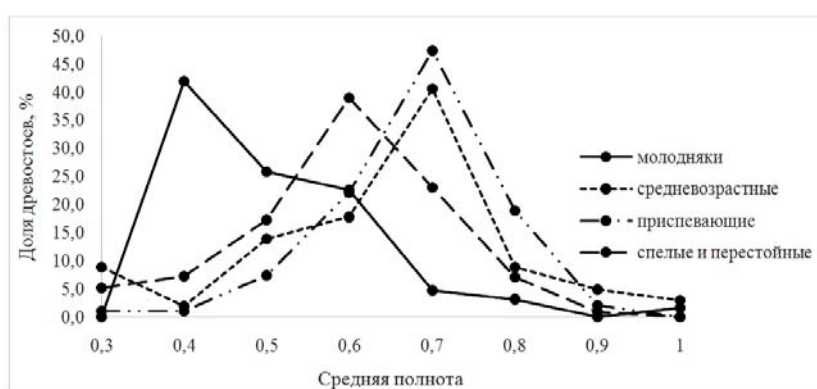


Рис. 2. Ряды распределения древостоев разных возрастных групп по относительной полноте

Таблица 3

Коэффициенты уравнений и показатели их адекватности

Таксационные показатели	Коэффициенты уравнений				Коэф. детерминации (R^2)	Станд. ошибка (S^2)
	a	b	c	d		
Средняя высота (H), м	28,435	36,043	0,044	0,812	0,992	0,76
Средний диаметр (D), см	83,202	87,564	0,014	0,727	0,990	1,49
Запас древостоя (M), м³/га	227,02	236,044	0,002	1,592	0,918	22,63

В результате табуляции уравнений были получены выровненные ряды средних таксационных показателей.

Далее был применён конверсионно-объёмный метод оценки запасов углерода, депонированного листовыми древостоями.

Прямые определения содержания углерода в биомассе в лабораторных экспериментах путем сжигания образцов показали, что они варьируют в пределах 36–61 % [2]. К тому же изменчивость его содержания в различных частях дерева невелика, как и изменчивость средних значений для отдельных пород, поэтому иногда содержание углерода принимают равными 0,5 массы ствола, корней и необлиственных ветвей. Однако в результате исследований Д.Г. Замолотчикова и др. [1–3] найдены регрессионные уравнения, связывающие фракционные отношения фитомассы к запасу древесных насаждений (Ph/m) с возрастом по-

следних. Для основных лесобразующих пород России рассчитаны коэффициенты Ph/m в возрастном интервале 10–120 лет с шагом в 10 лет. Также разработаны нормативы, дающие конверсионные коэффициенты для установления запасов депонированного углерода.

В настоящей работе были использованы коэффициенты для конверсии запасов в отдельные фракции фитомассы [1] (табл. 4).

Конверсионные коэффициенты для установления запасов депонированного углерода приведены в табл. 5. Так как эти коэффициенты ограничены средним возрастом древостоев 120 лет, а в объекте исследования имеются древостои гораздо большего возраста, оценка запасов депонированного углерода в этих древостоях велась по величине последнего в возрастном ряду конверсионного коэффициента.

Таблица 4
Конверсионные коэффициенты Ph/m

Группа возраста	Ствол	Ветви	Корни	Хвоя
Молодняки	0,494	0,115	0,136	0,040
Средневозрастные	0,524	0,055	0,156	0,013
Приспевающие	0,575	0,051	0,156	0,013
Спелые и перестойные	0,575	0,051	0,156	0,013

Таблица 5
Запасы депонированного углерода в древостоях лиственницы

Возраст, лет	Фитомасса, т/га					Конв. коэф.	Депонированный углерод, т·С·га ⁻¹				
	ствол	ветви	корни	хвоя	итого		ствол	ветви	корни	хвоя	итого
10	22,7	5,3	6,3	1,8	36,1	0,611	13,9	3,2	3,8	1,1	22,1
30	54,3	12,7	15,0	4,4	86,4	0,372	20,2	4,7	5,6	1,6	32,1
50	79,6	8,4	22,8	2,0	112,8	0,342	27,2	2,9	7,8	0,7	38,6
70	93,3	9,8	26,7	2,3	132,1	0,341	31,8	3,3	9,1	0,8	45,0
90	101,7	10,7	29,1	2,5	143,9	0,35	35,6	3,7	10,2	0,9	50,4
110	117,9	10,5	32,0	2,7	163,0	0,363	42,8	3,8	11,6	1,0	59,2
130	121,3	10,8	32,9	2,7	167,7	0,371	45,0	4,0	12,2	1,0	62,2
150	123,6	11,0	33,5	2,8	170,9	0,371	45,9	4,1	12,4	1,0	63,4
170	125,4	11,1	34,0	2,8	173,3	0,371	46,5	4,1	12,6	1,1	64,3
190	125,9	11,2	34,2	2,8	174,1	0,371	46,7	4,1	12,7	1,1	64,6
210	126,5	11,2	34,3	2,9	174,9	0,371	46,9	4,2	12,7	1,1	64,9
230	127,1	11,3	34,5	2,9	175,7	0,371	47,1	4,2	12,8	1,1	65,2
250	127,7	11,3	34,6	2,9	176,5	0,371	47,4	4,2	12,8	1,1	65,5

Таким образом, установлена динамика депонированного древостоями лиственницы углерода (без учёта мертвой древесины, подстилки и гумуса почвы). Она достаточно точно аппроксимируется функцией Ричардсона уравнением вида

$$y = a / (1 + \exp(b - cx))^{(1/d)}, \quad (2)$$

где $a = 6,54809131743E+001$; $b = 2,88670926718E+000$; $c = 3,51883907882E-002$; $d = 2,56422052687E+000$.

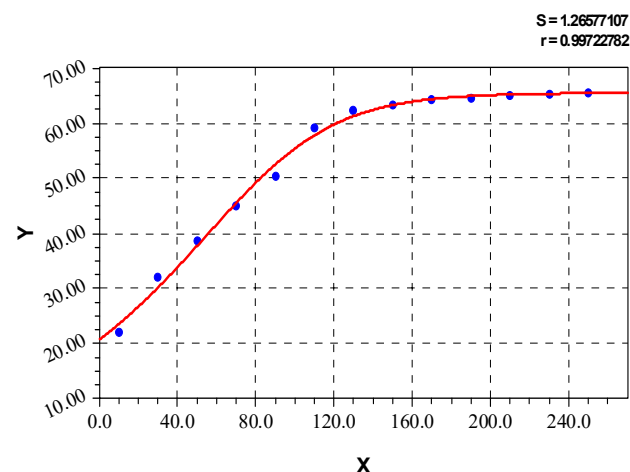


Рис. 3. Динамика запасов депонированного углерода в древостоях лиственницы сибирской Нижнего Приангарья:
x – возраст, лет; y – запас депонированного углерода т·С·га⁻¹

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе в рамках решения проблемы создания методики оценки формирования углеродного баланса, установлена динамика депонирования

углерода в древостоях лиственницы сибирской Нижнего Приангарья.

Полученные данные могут быть использованы при оценке роли светлых лесов одного из крупнейших лесных регионов в Российской Федерации в процессе декарбонизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Замолотчиков Д. Г., Уткин А. И., Коровин Г. Н. Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объемным коэффициентам // Лесоведение. 1998. № 3. С. 84–93.
2. Замолотчиков Д. Г., Уткин А. И., Честных О. В. Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу для основных лесобразующих пород // Лесная таксация и лесоустройство. 2003. № 1. С. 119–127.
3. Замолотчиков Д. Г., Грабовский В. И., Честных О. В. Динамика баланса углерода в лесах федеральных округов Российской Федерации // Вопросы лесной науки. 2018. № 1.
4. Кокорин А.О., Грицевич И.Г. Сафонов Г.В. Изменение климата и Киотский протокол – реалии и практические возможности. М. : WWF России, 2004. 64 с. ISBN 5–89564–025–7.
5. Семечкин И. В. Опыт использования данных глазомерной таксации для изучения динамики насаждений // Труды института леса и древесины СО АН СССР. 1962. Т. VIII. С. 119–131.
6. Углерод в экосистемах лесов и болот России / под ред. В. А. Алексеева, Р. А. Жердей. Красноярск : Институт леса СО РАН, 1994. 232 с.
7. Усольцев В. А., Колтунова А. И. Оценка запасов углерода в фитомассе лиственничных экосистем Северной Евразии // Экология. 2001. № 4. С. 258–265.

8. Усольцев В. А. Депонирование углерода лесами Уральского региона России (по состоянию гос. учета лесного фонда на 2007 г.). Екатеринбург. 2018. 265 с.

9. Швиденко А. З., Нильсон С., Столбовой В. С. Агрегированные модели фитомассы насаждений основных лесобразующих пород России // Лесная таксация и лесостроительство. 2001. № 1 (30). С. 50–57.

10. Шевелев С. Л., Красиков И. И. Некоторые закономерности строения лесных массивов Каа-Хемского округа горно-таежных лесов Республики Тыва // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. XXV. № 1-2. С. 84–87.

REFERENCES

1. Zamolodchikov D. G., Utkin A. I., Korovin G. N. Opredelenie zapasov ugleroda po zavisimym ot vozrasta nasazhdenij konversionno-ob"emnym koefficientam // Lesovedenie. 1998. № 3. S. 84–93.

2. Zamolodchikov D. G., Utkin A. I., Chestnyh O. V. Koeffitsienty konversii zapasov nasazhdenij v fitomassu dlya osnovnyh lesoobrazuyushchih porod // Lesnaya taksatsiya i lesoustrojstvo. 2003. № 1. S. 119–127.

3. Zamolodchikov D. G., Grabovskij V. I., Chestnyh O. V. Dinamika balansa ugleroda v lesah federal'nyh okrugov Rossijskoj Federacii // Voprosy lesnoj nauki. 2018. № 1.

4. Kokorin A. O., Gricevich I. G., Safonov G. V. Izmenenie klimata i Kiotskij protokol – realii i prakti-

cheskie vozmozhnosti. M.: WWF Rossii, 2004. 64 s. ISBN 5–89564–025–7.

5. Semechkin I. V. Opyt ispol'zovaniya dannyh glazomernoj taksacii dlya izucheniya dinamiki nasazhdenij // Trudy instituta lesa i drevesiny SO AN SSSR. 1962. T. VIII. S. 119–131.

6. Uglerod v ekosistemah lesov i bolot Rossii. Pod red. V. A. Alekseeva, R. A. Zherdej. Krasnoyarsk : Institut lesa SO RAN, 1994. 232 s.

7. Usol'cev V. A., Koltunova A. I. Ocenka zapasov ugleroda v fitomasse listvennichnyh ekosistem Severnoj Evrazii // Ekologiya. 2001. № 4. S. 258–265.

8. Usol'cev V. A. Deponirovanie ugleroda lesami Ural'skogo regiona Rossii (po sostoyaniyu gos. ucheta lesnogo fonda na 2007 g.). Ekaterinburg. 2018. 265 s.

9. Shvidenko A. Z., Nil'son S., Stolbovoj V. S. Agregirovannye modeli fitomassy nasazhdenij osnovnyh lesoobrazuyushchih porod Rossii // Lesnaya taksatsiya i lesoustrojstvo. 2001. № 1 (30). S. 50–57.

10. Shevelev S. L., Krasikov I. I. Nekotorye zakonomernosti stroeniya lesnyh massivov Kaahemskogo okruga gorno-taezhnyh lesov Respubliki Tyva // Hvojnye boreal'noj zony. 2008. T. XXV. № 1-2. S. 84–87.

© Шевелев С. Л., Кулакова Н. Н., 2022

Поступила в редакцию 10.01.2022
Принята к печати 01.02.2022

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 630.323:658.527:681.5.015/017

Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XL, № 4. С. 318–323

СТРУКТУРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛИ ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНОЙ ИДЕАЛИЗИРОВАННОЙ ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ

В. А. Лозовой, М. Ю. Никончук, Д. Ю. Литвинов

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

В лесопромышленном комплексе предмет труда обладает высокой вариативностью размерно-качественных характеристик и неоднозначностью позиционирования при загрузке на поток, что серьезно осложняет технологический процесс первичной обработки древесного сырья при увеличивающихся требованиях высокой производительности и качества продукции. При всех типах технологического процесса первичной обработки древесного сырья (вывозка хлыстами или сортиментами) основой выполнения операций являются перемещения.

Поточные технологии лесопромышленного комплекса Российской Федерации являются основой промышленного производства товаров и полуфабрикатов различного назначения. В обозримом будущем это самые перспективные технологии, которые обеспечат, наряду с высокой производительностью, высокое качество продукции и наиболее приспособлены к глубокой автоматизации. Наиболее подходящим методом, для моделирования переместительных операций является метод матричных преобразований координат (МПК) – перемещения начала координат, повороты вокруг осей координат и возможность записать структуру последовательного технологического процесса в виде произведения матриц. Последнее свойство позволяет представить структуру технологического процесса в виде взаимосвязанных операций.

Целью данной работы является создание метода моделирования поточной технологии из последовательно установленного оборудования различного типа количеством более двух. Данная цель сформулирована с учетом известных научных работ по созданию моделей технологического процесса поточных технологий, в которых указывается на отсутствие формализации потоков с последовательно установленными станками в количестве более двух.

В работе предложена расчетная схема поточной линии из трех станков с индивидуальными приводами для обработки длинномерного древесного сырья. При составлении модели технологического процесса применен «плавающий» метод задания координат, который отличается от метода Денавит–Хартенберга отсутствием абсолютной, неподвижной системы координат.

Процесс моделирования разбит на два этапа. Первый этап – создание модели поточной линии в виде произведения квадратных диагональных единичных матриц 4×4 . Применение матриц 4×4 позволило создать «идеальную» модель поточной линии формализованную в виде произведения матриц 4×4 , которые отображают последовательность процесса в виде циклограммы. На втором этапе создается идеализированная модель циклограммного типа. В результате анализа модели циклограммного типа сделаны выводы об ограниченной информативности созданной модели, предложено использовать модель на базе матриц 4×4 при структурном анализе технологического процесса по функциональным возможностям.

Ключевые слова: моделирование, поточные линии, задание систем координат, «плавающие координаты», 4D-модели, матрицы 4×4 , идеальная модель, матричные преобразования координат,

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 4, P. 318–323

STRUCTURAL REPRESENTATION OF A DISCRETE-CONTINUOUS IDEALIZED PRODUCTION LINE MODEL

V. A. Lozovoy, M. Y. Nikonchuk, D. Y. Litvinov

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

In the timber industry, the subject of labor has a high variability of dimensional and qualitative characteristics and ambiguity of positioning when loading on stream, which seriously complicates the technological process of primary processing of wood raw materials with increasing demands for high productivity and product quality. Movements are the basis for performing operations with all types of technological process of primary processing of wood raw materials (whipping or short woods).

In-line technologies of the timber industry complex of the Russian Federation are the basis of industrial production of goods and semi-finished products for various purposes. In the foreseeable future, these are the most promising technologies that will provide high quality products along with high productivity and are the most adapted to advanced automation. The most suitable method for modeling the displacement operations is the method of matrix transformations of coordinates (MTC) – displacements of the coordinates, rotations around the coordinate axes and the ability to record the structure of a sequential technological process in the form of a product of matrices. The latter allows to represent the structure of the technological process in the form of interrelated operations.

The object of this work is to create a method for modeling of in-line technology from more than two sequentially installed equipment of various types. This object is formulated according to the well-known scientific works on the creation of models of the technological process of in-line technologies, which indicate the lack of formalization of lines with more than two sequentially installed machines.

The paper proposes a design scheme of production line of three machines with individual drives for processing long-length wood raw materials. When compiling a process model, a “floating” method of setting coordinates was used, which differs from the Denavit–Hartenberg method in the absence of an absolute, fixed coordinate system.

The modeling process is divided into two stages. The first stage is the creation of a production line model in the form of a product of square diagonal unit matrices 4×4 . The use of 4×4 matrices made it possible to create an “ideal” production line model formalized as a product of 4×4 matrices that display the sequence of the process in the form of a cyclogram. At the second stage, an idealized model of the cyclogram type is created. As a result of the analysis of the cyclogram-type model, conclusions are drawn about the limited informativeness of the created model, it is proposed to use a model based on 4×4 matrices in the structural analysis of the technological process by functionality.

Keywords: modeling, production lines, setting of coordinate systems, “floating coordinates”, 4D models, 4×4 matrices, ideal model, matrix transformations of coordinates.

ВВЕДЕНИЕ

Поточные технологии широко используются при производстве товаров широкого потребления, машиностроительного оборудования, при производстве сельскохозяйственной продукции, в сфере обслуживания и т. п.

В частности, в лесопромышленном комплексе Российской Федерации применяются поточные технологии на всех стадиях первичной обработки и переработки древесного сырья [2]. При рассмотрении технологического процесса лесозаготовок можно определить, что характерной особенностью всех типов технологий первичной обработки древесного сырья являются технологические операции, в основе которых лежат перемещения. Для лесосечных работ характерны пространственные перемещения предмета труда, совершаемые для получения хлыстов или сортиментов.

Лесоскладские работы характеризуются наличием большого количества технологических перемещений осуществляемых с целью получения требуемых размерно-качественных характеристик круглых лесоматериалов и измельченной древесины. Существуют операции, которые присущи поточным линиям с подачей вдоль продольной оси круглых лесоматериалов или поперек, чаще практикуются комбинации. Раскряжевочные агрегаты – преимущественно круглопильные. Типы раскряжевочных агрегатов для продольных линий – балансирные и маятниковые, или комбинированные с цепными пилами, с нижним или верхним расположением оси вращения пильных дисков относительно плоскости перемещения (размещения) предмета труда. При этом основой выполнения технологических операций являются перемещения. В слешерных поточных линиях исполь-

зуются стационарные или выдвижные пилы маятникового типа. Основой технологических операций для линий с поперечной подачей также являются перемещения предмета труда. Наряду с комплексной механизацией развивается автоматизация производства. При интенсификации производства, с применением автоматизации, увеличивается производительность труда, повышается качество продукции. Одновременно увеличивается стоимость опытно-конструкторских и экспериментальных разработок. Последнее обстоятельство вызвало естественный отклик – более широкое применение моделирования технологических процессов [3].

Актуальной проблемой в сфере моделирования технологических процессов лесного комплекса на сегодняшний день является создание моделей потоков с последовательно установленным оборудованием на первичной обработке предмета труда [5] (дерева, хлысты, длинномерные бревна, не мерные балансы и т. п.). Исследования в этой области проводились с созданием моделей массового обслуживания. Модели с применением теории массового обслуживания охватывали два последовательно расположенных агрегата с индивидуальными приводами и характеристиками. При наличии трёх-четырёх и более агрегатов (станков) предлагался комплексный подход к задаче [2], т. е. объединялись станки слева и справа по два и в совокупности эти четыре станка принимались за два. Подобный подход значительно уменьшал точность модели. При этом все параметры связывались с вероятностными или статистическими характеристиками. Дискретно-событийные модели (DES-модели) и модели на основе уравнений в частных производных (PDE-модели) применимы для высоко-

технологических поточных линий с высокими требованиями к точности размеров предмета труда и точности позиционирования, которые обеспечиваются при обработке [4]. В лесопромышленном комплексе имеются свои, не устранимые технологически, трудности, которые связаны с большой вариативностью размерно-качественных характеристик предмета труда и его неоднозначностью позиционирования при переходе с одного станка (оборудования) на другой. Как указывают исследователи [2; 4; 5] методы моделирования потока с последовательно расположенными станками более двух слабо формализованы и не имеют аналитического решения.

В данной работе предлагается решение проблемы формализации поточной технологии с последовательно расположенным оборудованием в любом количестве $n > 2$ на основе метода преобразований координат. Основное достоинство метода заключается в создании моделей технологических операций на основе векторных перемещений в явном виде (перемещения предмета труда, перемещения инструмента, возможность учесть размеры предмета труда, направления перемещений, положение k -го предмета труда относительно $k + 1$, возвратно-поступательные перемещения пильных агрегатов и т. д.). При этом все участники технологического процесса действуют в режиме единого времени, то есть, при графической реализации процесса выполняется формат 4D. На первом этапе создания модели технологического процесса структура потока представляется в виде произведения матриц 4×4 с получением «идеальной» модели.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Актуальной проблемой в сфере моделирования технологических процессов лесного комплекса на сегодняшний день является создание моделей потоков с последовательно установленным оборудованием на первичной обработке предмета труда (дерева, хлысты, длинномерные бревна, не мерные балансы и т. п.). Трудности связаны с большой вариативностью размерно-качественных характеристик предмета труда и его неоднозначностью позиционирования при переходе с одного станка (оборудования) на другой.

Как указывают исследователи [1–3] задачи моделирования потока с последовательно расположенными станками более двух слабо формализованы и не имеют аналитического решения.

На рис. 1 приведена схема потока, в который входят: механизмы подготовки сырья к обработке 1, 3 (поперечный транспортер и отсекатель-сбрасыватель); поперечный транспортер 6 с упорами 4, который производит надвигание древесного длинномера на выдвижные или стационарно установленные дисковые пилы 5.

Схема подобрана таким образом, чтобы размещение механизмов можно было отобразить в плоскости XOY, т. е. в двумерной плоскости.

Для моделирования технологического процесса применен метод матричных преобразований координат (МПК), для которого необходимо задать систему координат.

В механике промышленных роботов при задании систем координат применяется метод Денавит–Хартенберга [1; 3]. Это специальный метод задания системы координат, в основе которого лежит базовая система, связанная с неподвижным элементом из состава кинематических элементов манипулятора.

Исследования поточных технологий на первичной обработке древесного сырья в виде хлыстов (раскряжевочные линии с продольной подачей, с поперечным надвиганием на пильные диски) показали, что значительная вариативность позиционирования предмета труда (далее предмета) на оборудовании поточных линий не позволяет использовать задание систем координат по методу Денавит–Хартенберга.

В СибГУ им. М. Ф. Решетнева на кафедре лесного инжиниринга разработан новый метод задания системы координат, который назван «плавающей» системой координат. Этот метод в корне отличается от метода применяемого, например, в механике роботов [4]. В разработанном методе базовая система координат не связывается с оборудованием, а размещается на каждом из вновь поступающих на обработку предмете труда. Далее производится матричное преобразование координат посредством переходных матриц при перемещениях предмета по заданным векторам.

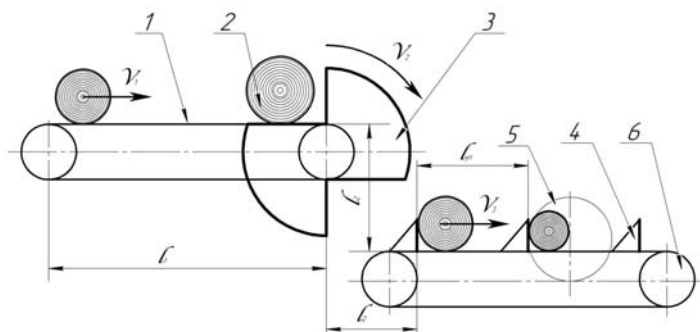


Рис. 1. Расчетная схема потока из трех видов оборудования:

1 – поперечный транспортер подготовки; 2 – предмет труда; 3 – сбрасыватель-отсекатель; 4 – упоры транспортера надвигания; 5 – дисковые пилы; 6 – транспортер надвигания; V_1 – вектор скорости поперечного транспортера подготовки, м/с; V_2 – вектор скорости предмета труда при повороте сбрасывателя; м/с; V_3 – вектор скорости транспортера надвигания, м/с; l_1, l_2 – расстояния перемещений предмета труда транспортером 1, (м) и сбрасывателем 3 соответственно (м); $l_{уп}$ – расстояние между упорами транспортера надвигания, (м)

Существует система координат, размещенная на обрабатываемом предмете, в пространстве и времени весь период $T_{\text{ц}}(с)$ пока предмет находится в обработке на поточной линии. Каждый предмет последовательно обрабатывается на каждом из n станков. То есть, имеет место совмещения операций. На рис. 1 – первый станок обрабатывает k -й предмет; второй $k-1$; третий $k-2$.

На поточной линии непрерывного действия, состоящей из n последовательно установленных станков, в обработке находится n предметов труда, с каждым из которых связана система «плавающих» координат, что дает возможность отобразить технологический процесс, например, графически, в формате 4D (формат учитывающий преобразование координат XYZ и независимую переменную – время T). Предложенный метод задания систем координат применительно к поточным линиям, позволяет формализовать технологический процесс поточной линии непрерывного действия методом МПК.

Схема задания координатной системы для k -го предмета, поступившего на обработку, представлена на рис. 2. При этом каждый вновь поступивший на обработку предмет проходит все станки последовательно, то есть, предметы $k+1$, $k+2$ и т. д. представляются подобными системами координат, но с учетом индивидуальных размерно-качественных параметров предмета, сопутствующих стохастических возмущений и с учетом функциональных особенностей оборудования.

Координатные системы $OXYZ$, $O_1X_1Y_1Z_1$, $O_2X_2Y_2Z_2$, $O_3X_3Y_3Z_3$, $O_4X_4Y_4Z_4$ (рис. 2), размещенные на предмете, составляют взаимосвязанную последовательность координатных систем, в которой базовой является система $OXYZ$. Относительно базовой системы производится преобразование координат посредством матриц сдвига. Системы $O_1X_1Y_1Z_1$, $O_2X_2Y_2Z_2$, $O_3X_3Y_3Z_3$ соответствуют перемещениям предмета с учетом перепада высоты от станка 2 к станку 3. В данном случае, вместо описания сложной криволинейной траектории перемещения предмета применено последовательное изменение координат l'_2 , l_2 , что на конечный результат не влияет.

Матричные преобразования записываются последовательно в виде произведения, что представляет

собой структурную формулу, описывающую технологический процесс.

Запишем структурную формулу технологического процесса при помощи переходных диагональных матриц сдвига $B'_{\text{сд}}$, размерностью 4×4 .

$$B_n = B_3 = B_1 \cdot B'_2 \cdot B \cdot B_3 =$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l'_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_1 + l_2 + l_3 \\ 0 & 1 & 0 & l' \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Для краткости воспользуемся сокращенной записью матриц:

$$B_n = B_3 = B_1(\vec{i}, l_1) \cdot B'_2(\vec{j}, l'_2) \cdot B_2(\vec{i}, l_2) \cdot B_3(\vec{i}, l_3), \quad (2)$$

где n – количество агрегатов (станков), участвующих в организации поточного производства. Базовая система $B_0(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}, 0, 0, 0)$ условно не показана.

Произведение матриц (1) дает результирующую матрицу B_3 , которая определяет в конечном итоге координаты точки на предмете труда при перемещениях по векторам $\vec{l}_1$, $\vec{l}'_2$, $\vec{l}_2$, $\vec{l}_3$ в базовой (старой) системе координат $OXYZ$. То есть $x(l_1 + l_2 + l_3)$; $y(l'_2)$.

Из рис. 1 следует, что $\vec{l}_1 + \vec{l}'_2 + \vec{l}_2 + \vec{l}_3$ есть сумма векторов (рис. 3).

Просуммировав векторы $\vec{l}_1$, $\vec{l}'_2$, $\vec{l}_2$, $\vec{l}_3$ получим результирующий вектор $\vec{R}$. Запишем векторное уравнение:

$$\vec{l}_1 + \vec{l}'_2 + \vec{l}_2 + \vec{l}_3 = \vec{R}. \quad (3)$$

При делении уравнения (3) на время цикла $t_{\text{ц}}$:

$$\frac{\vec{l}_1}{t_{\text{ц}}} + \frac{\vec{l}'_2}{t_{\text{ц}}} + \frac{\vec{l}_2}{t_{\text{ц}}} + \frac{\vec{l}_3}{t_{\text{ц}}} = \frac{\vec{R}}{t_{\text{ц}}}. \quad (4)$$

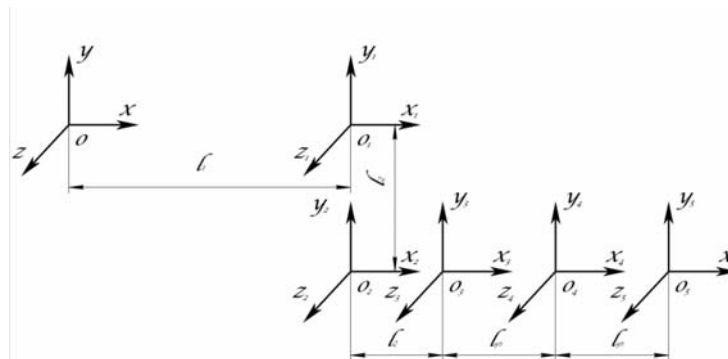


Рис. 2. Задание «плавающей» координатной системы для k -го предмета труда:

$OXYZ$ – исходная система координат (присвоена k -му предмету труда на станке 1); $O_1X_1Y_1Z_1$ – присвоена k -му предмету труда на станке 1, $O_2X_2Y_2Z_2$ – $O_3X_3Y_3Z_3$ – присвоена k -му предмету труда на станке 2; $O_4X_4Y_4Z_4$ – присвоена k -му предмету труда на станке 3; l_1 – вектор перемещения k -го предмета труда на станке 1; l'_2 , l_2 – векторы перемещений k -го предмета труда по координатам X , Y агрегатом 2, соответственно; l_3 – вектор перемещения k -го предмета труда на агрегате 3; $k = 1, 2, 3$

Получим векторное уравнение скоростей $\vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 = \vec{V}_r$, то есть, зная численные значения $|\vec{l}_1|$, $|\vec{l}_2|$, $|\vec{l}_3|$ мы определим численные значения скоростей перемещения на каждом из трех устройств (рис. 1), составляющих поточную линию.

Для более четкого представления характера процесса воспользуемся распространённым циклограммным графическим методом (рис. 4). Для графической модели зададим численные значения: $l_{yp} = 2$ м; $V_3 = 0,25$ м/с; $t_{ц} = l_{yp} / v_3 = 8$ с; $l_1 = 2,8$ м; $l'_2 = l_2 = 0,9$ м. Получим по выражению (4): $V_1 = 0,35$ м/с; $V_2 = 0,11$ м/с.

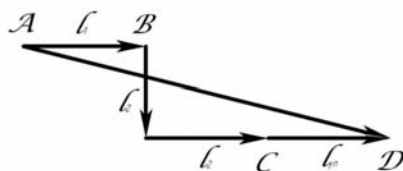


Рис. 3. Сумма векторов

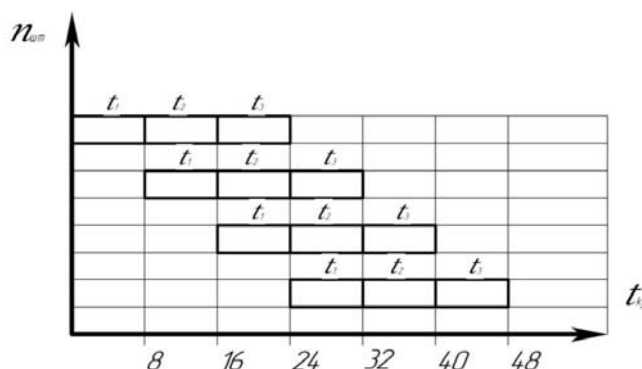


Рис. 4. Пример циклограммы технологического процесса дискретно-непрерывного типа (идеальная модель технологического процесса). По вертикали N – номер хлыста; по горизонтали (T, c) – время циклов

Циклограмма на оси времени T (рис. 4) отображает только один параметр технологического процесса – время. По вышеуказанной циклограмме невозможно учесть размеры предмета, участвовавшего в перемещениях, нельзя определить местоположение предмета на оборудовании: где находится, например, k -2 предмет при поступлении на обработку k -го предмета в текущий момент времени.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Идеализированная линия характеризуется следующим образом:

- для обеспечения заданного ритма работы поточной линии в идеале циклы составляющих механизмов должны быть равны $t_{ц}$ (заданному циклу обработки предмета);
- равенство циклов времени по-агрегатно обеспечивает идеальное взаимодействие механизмов поточной линии, то есть без статистических погрешностей;
- при идеальном взаимодействии не учитываются размеры предмета труда;
- для идеальной линии все переходные процессы мгновенны;
- в идеальном процессе предмет труда невесомая, безразмерная точка, соответствующая началу «плавающей» системы координат.

Циклограммная модель с одним параметром T мало информативна. В связи с этим, нами предлагается метод моделирования с применением матриц 5×5 ,

который является продолжением выше приведенного метода создания структурной и идеальной модели технологического процесса на рис. 1 с применением матриц 4×4 . Создание идеальной модели не является самоцелью. Идеал технологического процесса является дополнительной возможностью, расширяющей границы моделирования. И может во многих случаях восполнить недостающую информацию для вновь создаваемого изделия. Кроме предлагаемого пути идеализации процесса имеются действующие технологии, возможности аналогового заимствования исходных параметров, статистические исследования параметров предмета труда и оборудования, существующие научно-конструкторские разработки в смежных отраслях, то есть информация, которая может быть исходной для моделирования.

Следующий этап решения проблемы дискретно-непрерывных потоков сводится к теоретическому обоснованию перехода к 4D-формату с применением матриц 5×5 . Что является необходимым условием проведения графического моделирования в векторно-временной форме, то есть в формате 4D.

ОБСУЖДЕНИЕ

Модель технологического процесса на основе метода МПК (3) позволяет, в отличие от модели с привлечением теории массового обслуживания (ТМО) [4], описать взаимодействие неограниченного числа последовательно установленных агрегатов с создани-

ем «идеальной» модели при отсутствии или ограниченных исходных данных по параметрам потока. Модель в виде произведения матриц 5×5 отличается от, например, модели с применением ТМО [2; 5] наличием независимого параметра T (времени) в явном виде, что позволяет создать графоаналитическую модель в формате 4D. В работах опубликованных ранее задание систем координат «плавающего» типа приводилось без какого-либо доказательства. В данной работе «плавающие» координаты рассмотрены в первую очередь и сделан акцент на превалирующую роль метода задания систем координат на общую сущность применимости метода МПК. В данной работе характеристика идеализированной линии дана в более развернутом виде по сравнению с ранее опубликованными, в частности отражена ограниченность практического применения.

ВЫВОДЫ

В результате рассмотрения расчётной схемы поточной линии из трех последовательно установленных станков поэтапно решены следующие задачи:

- задана координатная система для описания позиционирования предмета труда;
- произведена формализация технологического процесса, в основе которого лежат перемещения предмета труда тремя последовательно установленными станками;
- при помощи векторного уравнения (3) определены необходимые скорости перемещения при выполнении операций;
- составлена временная циклограмма технологического процесса идеальной поточной линии;
- структурные формулы технологического процесса (2), (6) в дальнейшем используются для структурного анализа оборудования и потока в целом по функциональным возможностям. При этом имеется возможность внесения стохастических возмущений как организационного, так и конструктивного характера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Denavit J., Hartenberg R. S. A Kinematic Notation for lower Pair Mechanisms Based on Matrices // Journal

of Applied Mechanics. Vol. 22, trans.ASME, vol. 77, series E., 1955, p. 215–221.

2. Батин И. В., Дудюк Д. Л. Основы теории и расчета автоматических линий лесопромышленных предприятий // Лесная промышленность. 1975. 176 с.

3. Воробьев Е. И., Попов С. А., Шевелева Г. И. Механика промышленных роботов [Текст] : в 3 кн. Кн. 1. Кинематика и динамика. М. : Высш. шк., 1988. 304 с.

4. Пигнастый О. М. Основы статистической теории построения континуальных моделей производственных линий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Математика. 2014. С. 32

5. Редькин А. К., Якимович С. Б. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок : учебник для вузов. М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. 504 с.: ил.

REFERENCES

1. Denavit J., Hartenberg R. S. A Kinematic Notation for lower Pair Mechanisms Based on Matrices // Journal of Applied Mechanics. Vol. 22, trans.ASME, vol. 77, series E., 1955, p. 215–221.

2. Batin I.V., Dudyuk D. L. Fundamentals of theory and calculation of automatic lines of timber enterprises // Forest industry, 1975, 176 p.

3. Vorobyov E. I., Popov S. A., Sheveleva G. I. Mechanics of industrial robots [Text]: in 3 books. Book 1. Kinematics and dynamics. M. : Higher School, 1988. 304 p.

4. Piggy About .M.Fundamentals of the statistical theory of construction of continuous models of production lines // Eastern European Journal of Advanced Technologies. Mathematics. 2014. p. 32.

5. Redkin A. K., Yakimovich S. B. Mathematical modeling and optimization of logging technologies : textbook for universities. M. : GOU VPO MGUL, 2005. 504 p.: ill.

© Лозовой В. А., Никончук М. Ю.,
Литвинов Д. Ю., 2022

Поступила в редакцию 20.05.2022
Принята к печати 01.08.2022

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ГИДРОЛИЗОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Ю. Г. Скурыдин¹, Е. М. Скурыдина²

¹Алтайский государственный университет
Российская Федерация, 656049, г. Барнаул, просп. Ленина, 61
E-mail: skur@rambler.ru

²Алтайский государственный педагогический университет
Российская Федерация, 656031, г. Барнаул, ул. Молодежная, 55
E-mail: skudem@rambler.ru

Исследовано влияние добавки частиц полиэтилена высокого давления (ПЭВД) на физико-механические характеристики композитного материала, полученного на основе гидролизованной древесины сосны. Предварительная обработка древесной щепы выполнена методом взрывного автогидролиза. Образцы композитного материала получены методом горячего прессования смеси высушенных гидролизованных древесных частиц и частиц ПЭВД без добавления иных связующих компонентов. Обнаружено, что введение в состав пресс-массы измельченного ПЭВД в количестве до 5 массовых частей на 100 массовых частей гидролизованной древесины приводит к экспоненциальному увеличению прочности композитного материала при статическом изгибе до 15 % по сравнению с материалом без ПЭВД. Кроме того, использование даже незначительного количества ПЭВД увеличивает ударную вязкость композитного материала не менее чем на 30 %. Использование ПЭВД в количествах, превышающих 5 массовых частей, вызывает плавное снижение прочности при статическом изгибе, описываемое обратно экспоненциальным законом. Высказано предположение о том, что причиной снижения прочности является изменение характера межфазного взаимодействия компонентов пресс-композиции в условиях применения больших количеств ПЭВД. Также обнаружено, что добавка частиц ПЭВД улучшает гидрофобные характеристики композитного материала. Зависимости водопоглощения и разбухания материала от количества ПЭВД носят обратно-экспоненциальный характер в пределах большей части диапазона применения добавки частиц ПЭВД. По сравнению с контрольным образцом водопоглощение и разбухание по толщине могут быть уменьшены в 1,5 раза. Использование ПЭВД в количестве, не превышающем 1 массовой части, существенного влияния на гидрофобные характеристики не оказывает.

Ключевые слова: древесина сосны, взрывной автогидролиз, композитный материал, полиэтилен высокого давления, древесно-полимерная композиция, прочность, водопоглощение, разбухание, ударная вязкость.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 4, P. 324–332

PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF WOOD-POLYMER COMPOSITE MATERIAL BASED ON HYDROLYZED WOOD

Yu. G. Skurydin¹, E. M. Skurydina²

¹Altai State University
61, Lenin av., Barnaul, 656049, Russian Federation
E-mail: skur@rambler.ru

²Altai State Pedagogical University
55, Molodezhnaya str., Barnaul, 656031, Russian Federation
E-mail: skudem@rambler.ru

The influence of the addition of high-pressure polyethylene (HDPE) particles on the physical and mechanical characteristics of the composite material obtained based on hydrolyzed pine wood was studied. Pre-treatment of wood chips was carried out by the method of explosive auto-hydrolysis. Samples of the composite material were obtained by hot pressing a mixture of dried hydrolyzed wood particles and HDPE particles without adding other binder components. It was found that the introduction of crushed HDPE in an amount of up to 5 mass parts. per 100 mass parts of hydrolyzed wood into the composition of the press mass leads to an exponential increase in the static bending strength of the composite material up to 15 % compared to the material without HDPE. In addition, the use of even an insignificant amount of HDPE increases the impact toughness of the composite material by at least 30 %. The use of HDPE in amounts exceeding 5 mass parts causes a smooth decrease in the static bending strength described by an inverse exponential law. It has been suggested that the decrease in strength is caused by a change in the nature of the interfacial interaction of the components of the press composition when large amounts of HDPE are used. It was also

found that the addition of HDPE particles improves the hydrophobic characteristics of the composite material. Dependences of water absorption and swelling of the material on the amount of HDPE have inverse-exponential character within the most part of the HDPE particles application range. Compared with the control sample, water absorption and swelling in thickness can be reduced by 1.5 times. The use of HDPE in an amount not exceeding 1 mass fraction has no significant effect on the hydrophobic characteristics.

Keywords: pine wood, explosive autohydrolysis, composite material, high-pressure polyethylene, wood-polymer composition, strength, water absorption, swelling, toughness.

ВВЕДЕНИЕ

Тенденцией развития лесопромышленного комплекса является вовлечение в коммерческий оборот отходов растительного происхождения и низкосортной древесины. Одно из направлений их использования представляет собой комплекс технологий получения конструкционных композитных материалов, применяемых в строительстве и производстве мебели. Для этого используются как традиционные и хорошо зарекомендовавшие себя технологии (ДВП, ДСП, МДФ, ОСБ), так и относительно новые или малоизвестные. При этом все они основаны на тех или иных способах химико-механической обработки древесины, вторичных продуктов ее переработки и иных материалов растительного происхождения [1–7]. Существенным недостатком традиционных композитных материалов, получаемых на основе древесных частиц, являются их относительно невысокие физико-механические характеристики (прочность при изгибе, ударная вязкость, водопоглощение, разбухание по толщине). Зачастую это накладывает существенные ограничения на применимость таких материалов, приводит к необходимости использования армирующих добавок и нанесения защитных покрытий. Важной составляющей развития подобных технологий является получение материалов с особыми свойствами, придающими материалам повышенную прочность, водостойкость, износостойкость, привлекательный внешний вид и иные характеристики [4–9]. В данном контексте следует выделить технологию термопластичных древесно-полимерных композитных материалов (WPCs), получившую в последние годы весьма широкое распространение, хотя первые опыты в получении подобных материалов были выполнены еще в 1960-е годы [10–12]. Эти материалы характеризуются рядом достоинств по сравнению с традиционными аналогами – экологичность, водостойкость, пожарная безопасность, простота механической обработки и т. д. [13; 14]. Недостатками материала можно считать его высокую стоимость, необходимость использования больших количеств полимерных материалов, хрупкость при низких температурах, ухудшение прочностных характеристик и деформируемость при высоких температурах [13; 14]. Иной технологией, к применению которой возникает периодический интерес, является технология получения композитных материалов из гидролизованых частиц растительного происхождения без использования связующих веществ [15–20]. В ее основе лежит глубокая трансформация структуры растительной ткани под действием высокотемпературного водяного пара. В результате происходит деструкция лигнина и гемицеллюлоз с образованием компонентов, способных вступать

в поликонденсационные процессы с образованием полимерных связей [21]. Получаемый в результате горячего прессования гидролизованной древесины композитный материал обладает высокими прочностными характеристиками и может быть использован как аналог традиционных древесных композитных материалов. Недостатками материала следует считать высокую стоимость и относительно невысокие в сравнении с древесно-полимерными композитами гидрофобные характеристики.

Комбинирование технологических решений, применяемых при получении различных древесных композитных материалов, может способствовать получению материалов новых классов, обладающих улучшенными характеристиками по сравнению с исходными аналогами. Целью работы является изучение влияния добавки частиц полиэтилена высокого давления на физико-механические свойства композитного материала, полученного из гидролизованной древесины сосны без применения связующих веществ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве исходного сырья для получения композитных материалов использованы отходы в виде опилок, образующихся после продольной и поперечной распиловки древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Фракционный состав включал частицы преимущественно крупного и среднего размера (1...6 мм) с примесью мелких (менее 1 мм) не более 10 %. Влажность опилок 15 ± 3 %. Также использовались частицы полиэтилена высокого давления (ПЭВД) размером 0,3...1,5 мм. Доля фракции ПЭВД размером менее 0,3 мм не превышала 5 %.

Процесс получения древесно-полимерного композитного материала состоял из нескольких этапов, схематично показанных на рис. 1. На предварительном этапе древесные опилки увлажняются водой (гидромодуль 1) в течение 60 минут при периодическом перемешивании. Далее увлажненная древесина подвергается баротермической обработке в среде насыщенного водяного пара при температуре 473 К в течение 8 минут, после чего выполняется резкий сброс давления с практически мгновенным выбросом гидролизованного древесного вещества в приемное устройство (взрывной автогидролиз). Принято считать, что метод взрывного автогидролиза является одним из наиболее эффективных методов предобработки материалов растительного происхождения [18; 22–24]. В процессе обработки перегретым паром древесина претерпевает значительные изменения, обусловленные деструкцией лигнина и глубоким гидролизом ее гемицеллюлозной части [25–28].

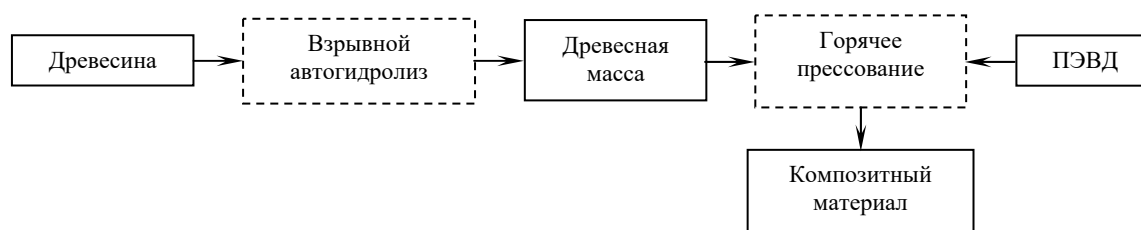


Рис. 1. Схема получения древесно-полимерного композитного материала

Результатом становится получение влажной мелкодисперсной и частично волокнистой массы бурого цвета, в составе которой присутствует ряд химически активных компонентов. При определенных условиях они способны вступать в реакцию поликонденсации с образованием сшитых полимерных структур [21]. Из гидролизованной в подобных условиях древесины может быть формирован композитный материал без использования связующих веществ помимо тех, которые образуются в компонентах древесины в процессе высокотемпературной обработки паром. После высушивания гидролизованной древесной массы до влагосодержания 12 ± 3 % в нее добавлялись частицы ПЭВД в количестве 0,5...20 % по массе. Прессование композитного материала осуществлялось при температуре 403 К и давлении 4 МПа (~ 41 кг/см²). Продолжительность процесса прессования ~ 1 мин/1 мм толщины плитного материала. Никаких прочих связующих компонентов в пресс-массу не добавлялось. Результатом прессования явилось получение плитного древесно-полимерного композитного материала, характеризующегося стабильностью размеров и формы. В качестве контрольных образцов были исследованы композитные материалы, полученные из аналогичного древесного сырья в аналогичных условиях баротермической обработки и прессования, но без применения частиц ПЭВД.

Для всех образцов в соответствии со стандартными методиками [29] выполнено определение ряда их физико-механических характеристик – плотности, предела прочности при статическом трехточечном изгибе, ударной вязкости, водопоглощения и разбухания за 24 часа. Все измерения выполнялись при комнатной температуре.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Принято считать, что в композитных материалах, получаемых на основе гидролизованных древесных частиц без добавления связующих компонентов и ПЭВД, формирование полимерной структуры происходит за счет процессов химической конденсации с образованием углерод-углеродных связей [21]. Присутствующие в гидролизованной массе древесные волокна, выполняют функцию армирующего наполнителя в получаемом композитном материале [30]. Добавление ПЭВД на стадии прессования и его внедрение в пространство между гидролизованными древесными частицами, обволакивание этих частиц полиэтиленом приводит к формированию новой композитной структуры, физико-механические свойства которой должны в значительной степени зависеть от соотношения компонентов и характеристик границы

раздела между гидролизованными древесными частицами и полиэтиленом. Следует предполагать, что в процессе прессования древесно-полимерной композиции при температуре, превышающей температуру размягчения ПЭВД (~ 390 К), имеет место частичное проникновение расплавленного ПЭВД в пространство между прилегающими частицами гидролизованной древесной массы. После охлаждения материала до температуры ниже 373 К и перехода ПЭВД из вязкотекучего в высокоэластическое состояние, обеспечивается механическая связь частиц гидролизованной древесины с полимером. В получаемом подобным образом композитном материале возможно сохранение гидрофобных свойств, присущих ПЭВД, которые частично могут быть переданы материалу. Прочностные свойства материала обеспечиваются сохраняющимися химико-механическими связями между компонентами гидролизованной древесины.

Было обнаружено (рис. 2), что увеличение содержания ПЭВД в пределах до 5 м.ч., сопровождается пропорциональным увеличением прочности при изгибе композитного материала. Зависимость на данном участке описывается экспоненциальным законом первого порядка:

$$Y = Y_0 + A \cdot e^{X/b}, \quad (1)$$

где Y – прочность при изгибе материала, полученного с использованием частиц ПЭВД; Y_0 – «базовое» значение прочности; A , b – параметры модели; X – количество используемого ПЭВД. При использовании ПЭВД в количестве 5 м.ч. прочностные свойства материала достигают максимального значения, превышая аналогичный показатель для контрольных образцов, полученных без ПЭВД, на 13 %. Дальнейшее увеличение количества ПЭВД в пресс-массе сопровождается уменьшением прочности. Зависимость при этом описывается обратным экспоненциальным законом первого порядка:

$$Y = Y_0 + A \cdot e^{-X/b}. \quad (2)$$

Обозначения, используемые в модели (2), аналогичны обозначениям, принятым в (1).

Точка 1 на рис. 2 соответствует значению прочности материала, полученного без использования ПЭВД. Характерно, что увеличение количества ПЭВД до 2 м.ч. не влечет за собой сколь-либо выраженного увеличения прочности материала. Незначительная тенденция к увеличению прочности начинает проследиваться лишь при использовании 3 м.ч. ПЭВД, но и в данном случае полученные результаты находятся в пределах коридора погрешности эксперимента. Наиболее заметный рост, выводящий показатель прочно-

сти за пределы коридора погрешности, отмечается при использовании 5 м.ч. ПЭВД. Именно при этом значении прочность композитного материала оказывается максимальной. В качестве гипотезы, поясняющей увеличение прочности при данном соотношении компонентов, можно рассматривать следующий механизм формирования структуры материала. Во-первых, использование небольших количеств ПЭВД способствует получению более жесткой композитной структуры вследствие уплотнения, обусловленного проникновением полиэтилена в пустоты межволоконного пространства. Косвенным подтверждением этому служит увеличение плотности композитного материала при использовании ПЭВД в количестве 5 м.ч. (рис. 3). Во-вторых, вклад в улучшение прочностных свойств материала на данном этапе может вносить и изменение структуры границы раздела между гидролизованной древесиной волокнами и полимером. Известно, что строение границы раздела между волокнами наполнителя и полимером имеет определенное значение при формировании физико-механических свойств композитных материалов различной природы [31].

Создание тонкой фрагментированной прослойки полиэтилена между гидролизованными древесными частицами может способствовать изменению характера распределения зон локальных напряжений в композитном материале в условиях его механического нагружения. При этом сдвиговые нагрузки по объему материала распространяются более равномерно, вероятность появления и распространения микротрещин уменьшается за счет буферного действия границы раздела. Это и увеличивает прочность материала при статическом изгибе. Высказанные предположения являются дискуссионными, их подтверждение или опровержение требует проведения дополнительных исследований.

В условиях, когда количество ПЭВД не превышает 5 м.ч., обволакивание армирующего древесного наполнителя является не полным, и пленка из ПЭВД

существенно не препятствует образованию межмолекулярных связей между термореактивными компонентами гидролизованного древесного вещества. Дальнейшее увеличение количества ПЭВД приводит к более выраженному обволакиванию им древесных частиц. Тем самым механически блокируется возможность взаимодействия активных молекулярных групп, расположенных на поверхности частиц гидролизованной древесины. Вероятность протекания поликонденсационных процессов между компонентами гидролизованной древесины в подобных условиях значительно уменьшается. В процессе формирования комплекса физико-механических свойств композитного материала над термореактивной составляющей начинает доминировать термопластичная. Жесткость, и, соответственно прочность при изгибе такого материала ввиду уменьшения плотности пространственной сетки термореактивных связей начинает уменьшаться. В отличие от композитного материала, получаемого в присутствии небольших количеств ПЭВД, использование ПЭВД в больших объемах приводит к получению принципиально новой композитной структуры, в которой полиэтилен выполняет роль матрицы, включающей внедренные в нее разрозненные частицы гидролизованной древесины.

Для подтверждения предположения рассмотрим зависимость плотности композитного материала от количества ПЭВД, представленную на рис. 3. Аналогично изменениям прочностных характеристик, плотность композитного материала при увеличении количества ПЭВД до 5 м.ч. увеличивается по экспоненциальному закону первого порядка (1). Дальнейшее увеличение количества ПЭВД уменьшает плотность материала по обратному экспоненциальному закону (2). Отмечаемая тенденция уменьшения плотности при малых количествах ПЭВД, не превышающих 1 м.ч., может быть следствием методических погрешностей в процессе проведения эксперимента. В целом для материала характерна практически линейная зависимость прочности при изгибе от его плотности.

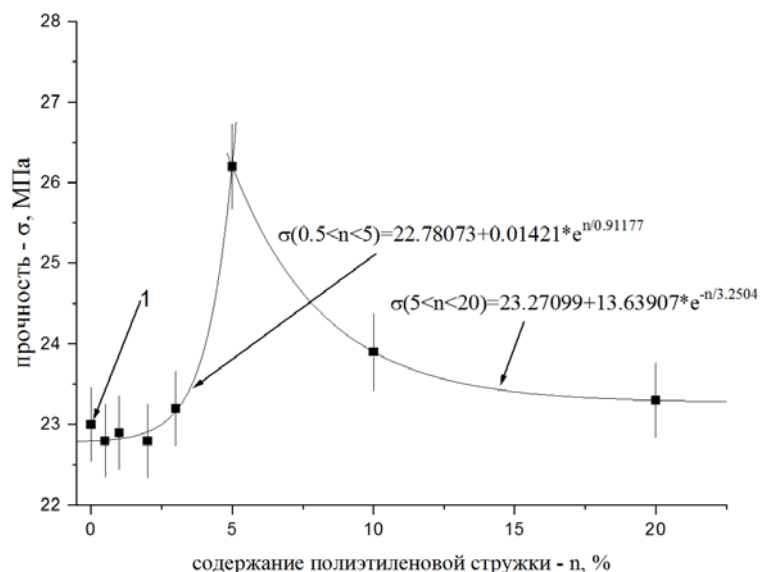


Рис. 2. Зависимость прочности при статическом изгибе композитного материала от количества ПЭВД, использованного при горячем прессовании

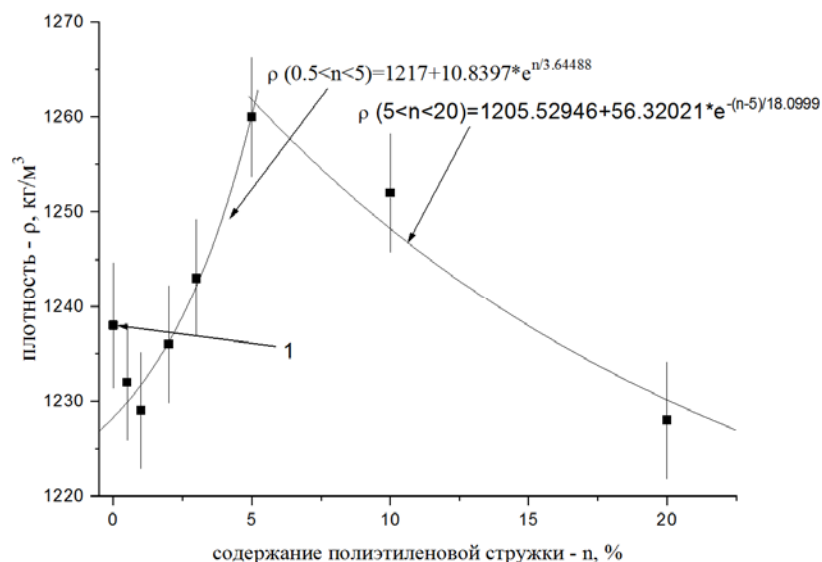


Рис. 3. Зависимость плотности композитного материала от количества ПЭВД, использованного при горячем прессовании

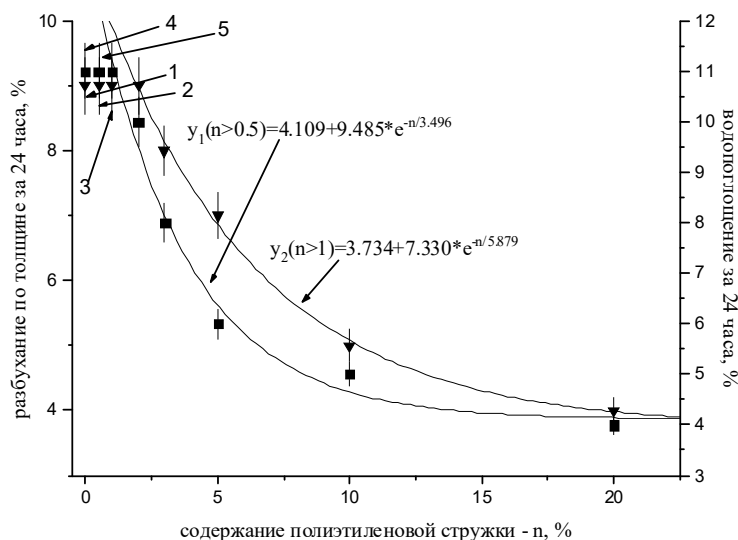


Рис. 4. Зависимости водопоглощения (■) и разбухания (▼) за 24 часа композитного материала от количества ПЭВД, использованного при горячем прессовании (точки 1 и 4 – контрольный образец)

На рис. 4 показаны зависимости водопоглощения и разбухания композитного материала за 24 часа. В случае, когда количество добавляемого в смесь ПЭВД не превышает 2 м.ч. (точки 1...5 на рис. 4), его влияние на изменение гидрофобных характеристик материала по сравнению с контрольным образцом практически не фиксируется. Дальнейшее увеличение содержания ПЭВД влечет за собой резкое улучшение гидрофобных показателей. Обе зависимости описываются однотипным обратным экспоненциальным законом первого порядка (2).

Полученные результаты позволяют высказать предположение о формировании в выбранных условиях сложной пространственной механохимической композиции с участием как частиц гидролизованной древесины, так и ПЭВД. Как и в композитном материале, получаемом без добавления ПЭВД, образуются конденсационные пространственные связи между

активными молекулами, расположенными на поверхности гидролизованных древесных частиц. Полиэтилен, подвергаясь размягчению, обволакивает частицы древесины, частично внедряясь в межволоконное пространство. Образуется пространственная механическая смесь, в которой по всему ее объему хаотично внедрены структуры из полиэтилена. Полиэтилен, обладая гидрофобными свойствами, придает повышенную гидрофобность и всему композитному материалу.

Использование ПЭВД приводит не только к изменению прочностных и гидрофобных характеристик композитного материала, но и к изменению величины его ударной вязкости. По сравнению с контрольным образцом ударная вязкость композитного материала, полученного в присутствии ПЭВД, возрастает до 50 % (рис. 5). Характерно, что резкое увеличение ударной вязкости происходит при добавлении даже незначи-

тельных количеств ПЭВД. Следствием дальнейшего увеличения количества ПЭВД становится лишь незначительное изменение данного показателя с тенденцией к его снижению при использовании больших количеств ПЭВД. Зависимость может быть описана полиномиальным законом второго порядка (3):

$$Y = Y_0 + A_1 \cdot X + A_2 \cdot X^2, \quad (3)$$

где Y – ударная вязкость композитного материала, полученного с использованием частиц ПЭВД; Y_0 –

«базовое» значение ударной вязкости; A_1, A_2 – параметры модели, X – количество используемого ПЭВД. Таким образом, формирование пространственной матрицы из полиэтилена способствует значительному повышению устойчивости получаемого материала к действию ударных нагрузок.

В таблице показаны сравнительные характеристики композитных материалов, получаемых из гидролизованной древесины в присутствии ПЭВД, и традиционных древесных композитных материалов.

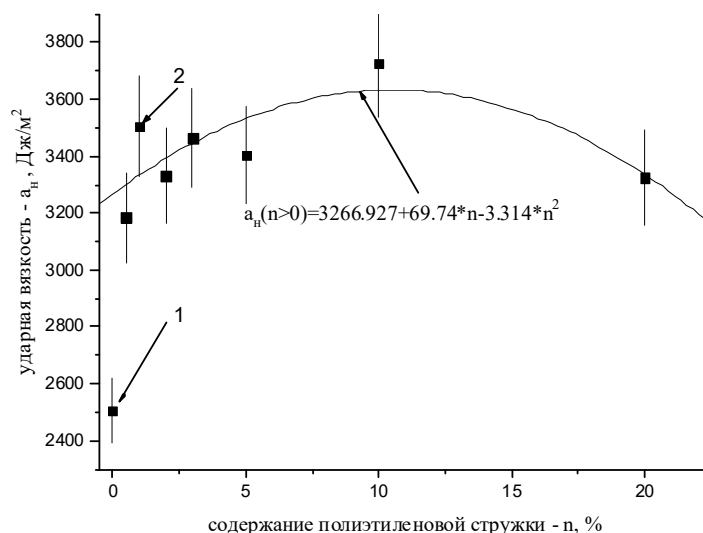


Рис. 5. Зависимость ударной вязкости композитного материала от количества ПЭВД, использованного при горячем прессовании

Сравнительные физико-механические характеристики композитных материалов, получаемых из гидролизованной древесины в присутствии ПЭВД, и традиционных древесных композитных материалов

Характеристика	ДВП (твердые, сухого способа изготовления)	ДВП (сверхтвердые, мокрого способа изготовления)	ДСП	Композит, из гидролизованной древесины без добавления ПЭВД*	Композит из гидролизованной древесины с добавлением ПЭВД*
Предел прочности при изгибе, МПа	20...27	40...45	20...26	23	23...26
Плотность, кг/м³	750...850	900...980	740...810	1237	1230...1260
Водопоглощение за 24 часа, %	28...35	18...26	50...61	11	4...11
Разбухание по толщине за 24 часа, %	19...25	11...17	22...33	9	4...9
Ударная вязкость, Дж/м²	4500...5400	4500...5100	2200...2600	1845...2686	2253...2875

* – температура прессования материала 403К, удельное давление прессования ~ 41 кг/см².

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Введение в состав гидролизованной древесной массы частиц ПЭВД оказывает влияние на физико-механические свойства получаемой на ее основе древесно-полимерной композиции. Наблюдается зависимость прочностных и гидрофобных характеристик композитного материала от количества используемого в смеси ПЭВД. В процессе горячего прессования гидролизованной древесной массы в смеси с ПЭВД

происходит частичное размягчение полиэтилена и обволакивание им древесных частиц, заполнение пустот межволоконного пространства. При использовании ПЭВД в количестве до 5 м.ч. / 100 м.ч. гидролизованной древесины обволакивание является неполным, и полиэтилен не препятствует формированию пространственных межмолекулярных структур между химически активными компонентами гидролизованного древесного вещества. В результате, обладая вы-

сокими прочностными характеристиками, композитный материал приобретает дополнительные гидрофобные качества, обусловленные наличием пространственных структур из ПЭВД. Прочность при изгибе композитного материала, получаемого в подобных условиях, возрастает до 15% в сравнении с исходным материалом, полученным без использования ПЭВД, а уменьшение водопоглощения и разбухания по сравнению с контрольным образцом, полученным без использования ПЭВД, может достигать 250...300 %.

Следствием использования больших количеств ПЭВД становится формирование структуры композиции, в которой пленка полиэтилена обволакивает значительную часть древесных частиц, и начинает препятствовать протеканию конденсационных процессов. Материал, получаемый в таких условиях, обладая высокими гидрофобными качествами, имеет меньшую прочность по сравнению с материалом, получаемым при меньших количествах ПЭВД.

Применение даже небольших количеств ПЭВД увеличивает ударную вязкость композитного материала до 50 %. При этом величина ударной вязкости материала лишь незначительно зависит от количества используемого ПЭВД.

Оптимальным для получения композитного материала с наилучшими прочностными характеристиками является 5 м.ч. ПЭВД на 100 м.ч. гидролизованного древесного вещества. Наименьшее водопоглощение и разбухание достигаются при использовании ПЭВД в количестве, превышающем 10 м.ч.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Gurunathan T., Mohanty Smita, Nayak Sanjay K. A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2015, Vol. 77, pp. 1–25 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.06.007>.
2. Malin Brodin, María Vallejos, Mihaela Tanase Opedal, María Cristina Area, Gary Chinga-Carrasco. Lignocellulosics as sustainable resources for production of bioplastics – a review. *Journal of Cleaner Production*, 2017, Vol. 162, pp. 646–664 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.209>.
3. Stokke, D.D., Wu, Q., Han, G.: Introduction to wood and natural fiber composites. Wiley, West Sussex 2014, P. 649.
4. Oktay, S., Kızılcan, N., & Bengü, B. Oxidized cornstarch – Urea wood adhesive for interior particleboard production. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2021. Vol. 110, p. 102947. DOI: [10.1016/j.ijadhadh.2021.102947](https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102947).
5. Singh, N., Rana, A., & Badhotiya, G. K. Raw material particle terminologies for development of engineered wood. *Materials Today: Proceedings*, 2021, Vol. 46(3). DOI: [10.1016/j.matpr.2021.02.616](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.616).
6. Uemura Silva, V., Nascimento, M. F., Resende Oliveira, P., Panzera, T. H., Rezende, M. O., Silva, D. A. L., Christoforo, A. L. Circular vs. linear economy of building materials: A case study for particleboards made of recycled wood and biopolymer vs. conventional particleboards. *Construction and Building Materials*,

2021. vol. 285. p.122906. DOI:[10.1016/j.conbuildmat.2021.122906](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122906).

7. Müller, Uwe; Pretschuh, Claudia; Mitter, Roland; Knappe, Stephan. Dielectric analysis as a cure monitoring system for UF particle boards. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2017. Vol. 73, pp. 45–50. DOI:[10.1016/j.ijadhadh.2016.07.016](https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.07.016).

8. Yanglun Yu, Xianai Huang, Wenji Yu A novel process to improve yield and mechanical performance of bamboo fiber reinforced composite via mechanical treatments. *Composites Part B: Engineering*, 2014. Vol. 56, pp. 48–53 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.08.007>.

9. Fu F., Lin L., Xu E. Functional pretreatments of natural raw materials. *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction* 2017, pp. 87–114. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100411-1.00004-2>.

10. Eyitayo Olatunde Olakanmi, Moses J. Strydom, Critical materials and processing challenges affecting the interface and functional performance of wood polymer composites (WPCs). *Materials Chemistry and Physics*, 2016. Vol. 171, pp. 290–302. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.01.020>.

11. Changtong Mei, Xiuxuan Sun, Minli Wan, Qinglin Wu, Sang-Jin Chun & Sunyoung Lee. Coextruded Wood Plastic Composites Containing Recycled Wood Fibers Treated with Micronized Copper-Quat: Mechanical, Moisture Absorption, and Chemical Leaching Performance, *Waste and Biomass Valorization*, 2018. Vol. 9, pp. 2237–2244. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-017-9992-z>.

12. Michael P. Wolcott, Karl Englund, A technology review of wood-plastic composites. *33rd International Particleboard. Composite Materials Symposium*, 1999.

13. Yongfeng Li. Wood-Polymer Composites. In book: *Advances in Composite Materials – Analysis of Natural and Man-Made Materials*, 2011. pp. 229–284. DOI: [10.5772/17579](https://doi.org/10.5772/17579).

14. El-Haggar, Salah M. and Kamel, Mokhtar A. Wood Plastic Composites. In book: *Advances in Composite Materials – Analysis of Natural and Man-Made Materials*, 2011. pp. 325–344. DOI: [10.5772/18172](https://doi.org/10.5772/18172).

15. Halvarsson Sören; Edlund Håkan; Norgren Magnus. Manufacture of non-resin wheat straw fibreboards. *Industrial Crops and Products*, 2009. Vol. 29 (2-3). pp. 437–445. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.08.007>.

16. German Quintana, Jorge Velasquez, Santiago Betancourt, Piedad Gan. Binderless fiberboard from steam exploded banana bunch *Industrial Crops and Products*, 2009. Vol. 29(1). pp. 60–66. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.007>.

17. Angl' esa M.N., Ferrandob F., Farriola X., Salvad J. Suitability of steam exploded residual softwood for the production of binderless panels. Effect of the pretreatment severity and lignin addition. *Biomass and Bioenergy*, 2001. Vol. 21. pp. 211–224.

18. Ewanick, S. and Bura, R. Hydrothermal pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioalcohol Production. Biochemical Conversion of Lignocellulosic*

Biomass. A volume in Woodhead Publishing Series in Energy. 2010. pp. 3–23. DOI: <http://dx.doi.org/10.1533/9781845699611.1.3>.

19. Mason W.H. Low-temperature explosion process of disintegrating wood and the like *US Patent* 1586159 (USA). 1926.

20. Mason W.H. Process and apparatus for disintegration of wood and the like. *US Patent* 1578609 (USA). 1926.

21. Startsev O. V., Salin B. N., Skurydin Yu. G. Barothermal hydrolysis of wood in presence of mineral acids // Доклады Академии наук. 2000. Т. 370. № 5. С. 638–641. [Startsev O.V. Salin B.N., Skurydin Yu.G. Barothermic Hydrolysis of Wood in the Presence of Mineral Acids [Reports of the Academy of Sciences. Chemical Technology] 2000. T. 370, no. 5. pp. 638–641].

22. Parveen Kumar, Diane M. Barrett, Michael J. Delwiche, and Pieter Stroeve. Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2009. Vol. 48 (8). pp. 3713–3729. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ie801542g>.

23. Shijie Liu. A synergetic pretreatment technology for woody biomass conversion. *Applied Energy*, 2015. Vol. 144. pp. 114–128. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.021>.

24. Muhammad Muzamal, Kerstin Jedvert, Hans Theliander and Anders Rasmuson. Structural changes in spruce wood during different steps of steam explosion pretreatment. *Holzforschung*, 2015. Vol. 69(1). pp. 61–66. DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/hf-2013-0234>.

25. Tanahashi Mitsuhiro. Characterization and degradation mechanisms of wood components by steam explosion and utilization of exploded wood. *Wood research: bulletin of the Wood Research Institute Kyoto University*, 1990. Vol. 77. pp. 49–117. URL: <http://hdl.handle.net/2433/53271>.

26. Harifara Rabemanolontsoa and Shiro Saka. Various Pretreatments of Lignocellulosics. *Bioresource Technology*, 2016. Vol. 199. pp. 83–91. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.029>.

27. Kudakasseril Kurian Jiby, Raveendran Nair Gopu, Hussain Abid, Vijaya Raghavan G.S. Feedstocks, logistics and pre-treatment processes for sustainable lignocellulosic biorefineries: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier*, 2013. Vol. 25(C), pp. 205–219. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.019>.

28. Скурыдин Ю. Г. Строение и свойства композиционных материалов, полученных из отходов древесины после взрывного гидролиза: дисс. ... канд. техн. наук. Барнаул, 2000. 135 с. [Skurydin Yu.G. The Structure and Properties of Composite Materials Obtained From Waste Wood After Explosive Hydrolysis [Diss. ... cand. tech. sciences. : 05.23.05. [Barnaul] 2000. 147 p].

29. ГОСТ 10633–2018. Плиты древесно-стружечные и древесно-волоконистые. Общие правила подготовки и проведения физико-механических испытаний – Wood-shaving and wood-fiber plates. General regulations in testing physical and mechanical properties М.: Стандартинформ, 2018. 12 с.

30. Скурыдина Е.М. Разработка технологии композиционных материалов на основе древесины и полимерных наполнителей: дис. ... канд. техн. наук. Барнаул, 2006. 170 с. [Skuridin E.M. Development of the Technology of Composite Materials Based on Wood and Polymer Fillers [Dis. ... cand. tech. sciences. [Barnaul] 2006. 170 p].

31. Silu Huang, Qiuni Fu, Libo Yan, Bohumil Kasal Characterization of interfacial properties between fibre and polymer matrix in composite materials –A critical review. *Journal of Materials Research and Technology*, 2021, Vol. 13, pp. 1441–1484 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.076>.

REFERENCES

1. Gurunathan T., Mohanty Smita, Nayak Sanjay K. A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2015, Vol. 77, pp. 1–25 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.06.007>.

2. Malin Brodin, María Vallejos, Mihaela Tanase Opedal, María Cristina Area, Gary Chinga-Carrasco. Lignocellulosics as sustainable resources for production of bioplastics – a review. *Journal of Cleaner Production*, 2017, Vol. 162, pp. 646–664 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.209>.

3. Stokke, D.D., Wu, Q., Han, G.: Introduction to wood and natural fiber composites. Wiley, West Sussex 2014, P. 649.

4. Oktay, S., Kızılcın, N., & Bengü, B. Oxidized cornstarch – Urea wood adhesive for interior particleboard production. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2021. Vol. 110, p. 102947. DOI: [10.1016/j.ijadhadh.2021.102947](https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102947).

5. Singh, N., Rana, A., & Badhotiya, G. K. Raw material particle terminologies for development of engineered wood. *Materials Today: Proceedings*, 2021, Vol. 46(3). DOI: [10.1016/j.matpr.2021.02.616](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.616).

6. Uemura Silva, V., Nascimento, M. F., Resende Oliveira, P., Panzera, T. H., Rezende, M. O., Silva, D. A. L., Christoforo, A. L. Circular vs. linear economy of building materials: A case study for particleboards made of recycled wood and biopolymer vs. conventional particleboards. *Construction and Building Materials*, 2021. vol. 285. p. 122906. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2021.122906](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122906).

7. Müller, Uwe; Pretschuh, Claudia; Mitter, Roland; Knappe, Stephan. Dielectric analysis as a cure monitoring system for UF particle boards. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2017. Vol. 73, pp. 45–50. DOI: [10.1016/j.ijadhadh.2016.07.016](https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.07.016).

8. Yanglun Yu, Xianai Huang, Wenji Yu A novel process to improve yield and mechanical performance of bamboo fiber reinforced composite via mechanical treatments. *Composites Part B: Engineering*, 2014. Vol. 56, pp. 48–53 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.08.007>.

9. Fu F., Lin L., Xu E. Functional pretreatments of natural raw materials. *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction* 2017, pp. 87–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100411-1.00004-2>.

10. Eytayo Olatunde Olakanmi, Moses J. Strydom, Critical materials and processing challenges affecting the interface and functional performance of wood polymer composites (WPCs). *Materials Chemistry and Physics*, 2016. Vol. 171, pp. 290–302. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.01.020>.
11. Changtong Mei, Xiuxuan Sun, Minli Wan, Qinglin Wu, Sang-Jin Chun & Sunyoung Lee. Coextruded Wood Plastic Composites Containing Recycled Wood Fibers Treated with Micronized Copper-Quat: Mechanical, Moisture Absorption, and Chemical Leaching Performance, *Waste and Biomass Valorization*, 2018. Vol. 9, pp. 2237–2244. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-017-9992-z>.
12. Michael P. Wolcott, Karl Englund, A technology review of wood-plastic composites. *33rd International Particleboard. Composite Materials Symposium*, 1999.
13. Yongfeng Li. Wood-Polymer Composites. In book: *Advances in Composite Materials – Analysis of Natural and Man-Made Materials*, 2011. pp. 229–284. DOI: 10.5772/17579.
14. El-Haggar, Salah M. and Kamel, Mokhtar A. Wood Plastic Composites. In book: *Advances in Composite Materials – Analysis of Natural and Man-Made Materials*, 2011. pp. 325–344. DOI: 10.5772/18172.
15. Halvarsson Sören; Edlund Håkan; Norgren Magnus. Manufacture of non-resin wheat straw fibreboards. *Industrial Crops and Products*, 2009. Vol. 29 (2-3). pp. 437–445. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.08.007>.
16. German Quintana, Jorge Velasquez, Santiago Betancourt, Piedad Gan. Binderless fiberboard from steam exploded banana bunch *Industrial Crops and Products*, 2009. Vol. 29(1). pp. 60–66. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.007>.
17. Angl' esa M.N., Ferrandob F., Farriola X., Salvad J. Suitability of steam exploded residual softwood for the production of binderless panels. Effect of the pre-treatment severity and lignin addition. *Biomass and Bioenergy*, 2001. Vol. 21. pp. 211–224.
18. Ewanick, S. and Bura, R. Hydrothermal pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioalcohol Production. Biochemical Conversion of Lignocellulosic Biomass. A volume in Woodhead Publishing Series in Energy*. 2010. pp. 3–23. DOI: <http://dx.doi.org/10.1533/9781845699611.1.3>.
19. Mason W.H. Low-temperature explosion process of disintegrating wood and the like *US Patent* 1586159 (USA). 1926.
20. Mason W.H. Process and apparatus for disintegration of wood and the like. *US Patent* 1578609 (USA). 1926.
21. Startsev O. V., Salin B. N., Skurydin Yu. G. Barothermal hydrolysis of wood in presence of mineral acids // *Doklady Akademii nauk*. 2000. T. 370. № 5. S. 638–641.
22. Parveen Kumar, Diane M. Barrett, Michael J. Delwiche, and Pieter Stroeve. Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2009. Vol. 48 (8). pp. 3713–3729. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ie801542g>.
23. Shijie Liu. A synergetic pretreatment technology for woody biomass conversion. *Applied Energy*, 2015. Vol. 144. pp. 114–128. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.021>.
24. Muhammad Muzamal, Kerstin Jedvert, Hans Theliander and Anders Rasmuson. Structural changes in spruce wood during different steps of steam explosion pretreatment. *Holzforschung*, 2015. Vol. 69(1). pp. 61–66. DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/hf-2013-0234>.
25. Tanahashi Mitsuhiko. Characterization and degradation mechanisms of wood components by steam explosion and utilization of exploded wood. *Wood research: bulletin of the Wood Research Institute Kyoto University*, 1990. Vol. 77. pp. 49–117. URL: <http://hdl.handle.net/2433/53271>.
26. Harifara Rabemanolontsoa and Shiro Saka. Various Pretreatments of Lignocellulosics. *Bioresource Technology*, 2016. Vol. 199. pp. 83–91. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.029>.
27. Kudakasseril Kurian Jiby, Raveendran Nair Gopu, Hussain Abid, Vijaya Raghavan G. S. Feedstocks, logistics and pre-treatment processes for sustainable lignocellulosic biorefineries: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier*, 2013. Vol. 25(C), pp. 205–219. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.019>.
28. Skurydin Yu. G. Stroenie i svojstva kompozicionnyh materialov, poluchennyh iz othodov drevesiny posle vzryvnogo gidroliza: diss. ... kand. tekhn. nauk. Barnaul, 2000. 135 s.
29. GOST 10633-2018 Plity drevesno-struzhechnye i drevesno-voloknistye. Obshchie pravila podgotovki i provedeniya fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy. M.: Standartinform, 2018. 12 s.
30. Skurydin E.M. Razrabotka tekhnologii kompozicionnyh materialov na osnove drevesiny i polimernyh napolnitelej: diss. ... kand. tekhn. nauk. Barnaul, 2006. 170 s.
31. Silu Huang, Qiuni Fu, Libo Yan, Bohumil Kasal Characterization of interfacial properties between fibre and polymer matrix in composite materials –A critical review. *Journal of Materials Research and Technology*, 2021, Vol. 13, pp. 1441–1484 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.076>.

© Скурыдин Ю. Г., Скурыдина Е. М., 2022

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ НА КАРКАС ТЕПЛИЦЫ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ С ЗКС В SOLIDWORKS*

Д. В. Черник, Е. В. Авдеева, А. К. Логачев, К. Н. Черник, Н. Л. Ровных

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский Рабочий», 31
E-mail: dionisu2@mail.ru

Развитие компьютерных технологий оказывает значительное влияние на все сферы деятельности человека, упрощая его жизнь. При этом совершенствуется не только аппаратная составляющая, но и программное обеспечение, в том числе и системы автоматизированного проектирования, способные облегчить труд инженера не только по разработке проектной документации, но и по выполнению трудоемких прочностных расчетов любой сложности. Программа SolidWorks предназначена для решения подобных задач. Кроме того, использование специализированных инструментов структурного анализа SolidWorks Simulation, SolidWorks Motion и других позволит значительно разгрузить умственный труд инженера, исключив монотонные арифметические вычисления.

Объектом исследования данной научной работы является каркас теплицы для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой. Предмет исследования – напряжения, возникающие в конструкции теплицы под воздействием снеговой нагрузки и собственной силы тяжести. Цель работы – обоснование параметров конструкции каркаса теплицы для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой (ЗКС) на основе анализа нагрузок и напряжений, возникающих в ее элементах под действием веса элементов конструкции и снеговых воздействий для обеспечения необходимой и достаточной прочности методом твердотельного моделирования.

В процессе работы проводилось исследование модели каркаса теплицы для выращивания сеянцев с ЗКС с целью оптимизации конструкции. В результате исследования определены: максимальные напряжения, возникающие на каркасе теплицы под действием снеговой нагрузки; наиболее нагруженные места конструкции. Даны рекомендации по оптимизации конструкции.

Ключевые слова: лесовосстановление, теплица, твердотельное моделирование, анализ нагрузок.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 4, P. 333–337

STUDY OF THE EFFECT OF SNOW LOAD ON THE FRAMEWORK OF GREENHOUSES FOR GROWING SEEDLINGS WITH ROOT-BALLED TREE SYSTEM IN SOLIDWORKS

D. V. Chernik, E. V. Avdeeva, A. K. Logachev, K. N. Chernik, N. L. Rovnykh

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: dionisu2@mail.ru

The Fourth Industrial Revolution, or “Industry 4.0”, is a concept of technological development of computer technology has a significant impact on all areas of human activity, simplifying his life. At the same time, not only the hardware component is being improved, but also the software, including computer-aided design systems that can facilitate the engineer's work not only in developing design documentation, but also in performing time-consuming strength calculations of any complexity. SolidWorks is designed to solve such problems. In addition, the use of specialized structural analysis tools SolidWorks Simulation, SolidWorks Motion and others will significantly relieve the engineer's mental work by eliminating monotonous arithmetic calculations.

The object of research of this scientific work is the frame of a greenhouse for growing seedlings with a closed root system. The subject of research is stresses arising in the structure of the greenhouse under the influence of snow load and gravity. The purpose of the work is to substantiate the design parameters of the greenhouse frame for growing seedlings with a root-balled tree system based on the analysis of loads and stresses arising in its elements under the influence of the weight of structural elements and snow impacts to ensure the necessary and sufficient strength by the method of solid modeling.

* Проект «Разработка импортозамещающего комплекса оборудования точного высева семян для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой, оптимизация параметров модульной теплицы для условий лесничеств Красноярского края», № 2022030508374 поддержан Красноярским краевым фондом науки.

During the work, a study of the model of the greenhouse frame for growing seedlings with ZKS was carried out in order to optimize the design. As a result of the study, the following were determined: maximum stresses arising on the greenhouse framework under the influence of snow load; the most loaded points of the structure. Recommendations for design optimization are given.

Keywords: reforestation, greenhouse, solid-state modeling, load analysis.

ВВЕДЕНИЕ

Основами государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 г. и Лесным кодексом Российской Федерации предусматривается дальнейшее развитие работ по воспроизводству лесов. Законодательно определено, что лесовосстановление осуществляется в целях восстановления вырубленных, погибших, поврежденных лесов и должно обеспечивать восстановление лесных насаждений, сохранение биологического разнообразия лесов, сохранение полезных функций лесов. Способы восстановления лесов определены частью 1 статьи 62 Лесного кодекса: естественный, искусственный и комбинированный. Искусственное восстановление лесов осуществляется путем посадки саженцев или посева семян лесных растений. Посадка сеянцев и саженцев осуществляется с открытой и закрытой корневой системой (ЗКС) [1].

Исследования по выращиванию сосны с закрытой корневой системой показали, что несмотря на отставание в росте на первых этапах по сравнению с открытой корневой системой, культуры с закрытой корневой системой уже на четвертый год выращивания дают отрыв в приросте в высоту по сравнению с открытой корневой системой. Данный фактор показывает, что культуры с ЗКС быстрее наращивают высоту и в последующие годы будут превосходить культуры с открытой корневой системы по диаметру [2].

Неоднократные обрушения зданий, в том числе теплиц, из-за снеговой нагрузки привели к тому, что задача нормирования снеговых нагрузок на покрытия сооружений стала весьма актуальной. Эта задача является трудной и обширной, и ее решение по ряду причин оказывается недостаточным и ещё далеким от исчерпания. Формирование снега на покрытии зависит от геометрических характеристик теплицы и его положения относительно направления ветра. Снеговые нагрузки на покрытия отапливаемых и неотапливаемых теплиц отличаются в 3–4 раза [3]. Исходя из этого оптимизация конструкции каркаса теплицы на

основе анализа воздействия снеговой нагрузки с использованием высокоточных интеллектуальных систем автоматизированного проектирования является актуальной темой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перед проведением анализа нагрузок и напряжений, возникающих в элементах конструкции теплицы под действием внутренних и внешних сил с использованием инструментов твердотельного моделирования необходимо произвести расчет снеговой нагрузки, которая, в свою очередь, зависит от территориального расположения теплицы (см. таблицу).

Нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия следует определять по формуле [4]

$$S_0 = c_e c_t \mu S_g, \quad (1)$$

где c_e – коэффициент, учитывающий снос снега с покрытий зданий под действием ветра или иных факторов; c_t – термический коэффициент; μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие; S_g – нормативное значение веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли, кПа.

Алгоритм проведения анализа в SolidWorks [5]:

- 1) создание нового статического исследования;
- 2) определение материала элементов конструкции теплицы с помощью инструментов редактирования материала;
- 3) наложение внешних связей, ограничивающих перемещение модели теплицы в пространстве;
- 4) наложение внешних нагрузок и силы тяжести на каркас теплицы согласно вышеприведенным расчетам на снеговую и ветровую нагрузки;
- 5) создание сетки модели;
- 6) запуск анализа исследования;
- 7) оценка прочности конструкции каркаса теплицы на основе полученных результатов.

Исходные данные для проведения научно-исследовательской работы

№	Параметр	Значение
1	Территориальное расположение теплицы	Красноярский край
2	Снеговой район	V
4	Размеры площади участка под теплицу, м	30×17,3
5	Форма торцевых и рядовых конструкций теплицы	арочная
6	Количество торцевых конструкций	2
7	Количество рядовых конструкций	14
8	Шаг между арками, м	2
9	Максимальное расстояние между осями верхнего и нижнего пояса арки, мм	465
10	Марка стали элементов конструкции теплицы	Ст3

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе исходных данных разработана трехмерная модель теплицы для исследования и обоснования параметров конструкции (рис. 1).

Для анализа полученной модели каркаса теплицы в системе автоматизированного проектирования создаем новое статическое исследование и задаем характеристики материала, соответствующие характеристикам стали Ст3 [6].

На модель теплицы накладываем внешние связи, ограничивающие перемещение модели теплицы в пространстве. В качестве фундамента теплицы планируется установить железобетонные сваи, фиксируем плоскость каждой сваи на уровне опорной поверхности.

Определив предварительно снеговую нагрузку и эквивалентные силы, соответствующие данной нагрузке, прикладываем их к каркасу теплицы вместе с силой тяжести (рис. 2). Эквивалентные силы ассиметричной снеговой нагрузки равны 442,5 кН и 737,5 кН [4; 7].

Создаем сетку модели. Для автоматической адаптации размера элемента к локальной кривизне геометрии и для создания плавного массива сетки воспользуемся сеткой на основе смешанной кривизны, при этом плотность сетки установим максимальной, что обеспечивает максимальную точность расчетов.

Анализ исследования: по результатам расчета получена эпюра нагрузок в виде ленты с цветовой индикацией, где красный цвет – максимальные напряжения, синий – минимальные (рис. 3).

Максимальные напряжения, возникающие на каркасе теплицы под снеговой нагрузкой равны 1038 МПа, что в 4,15 раз превышает допустимые напряжения (250 МПа). Пятно максимальной концентрации напряжений находится на сгибе внутреннего пояса с боковой стороны седьмой арки (рис. 4). Это объясняется тем, что арки, расположенные ближе к середине конструкции теплицы, испытывают наибольшие напряжения, так как не имеют дополнительных опор внутри конструкции.

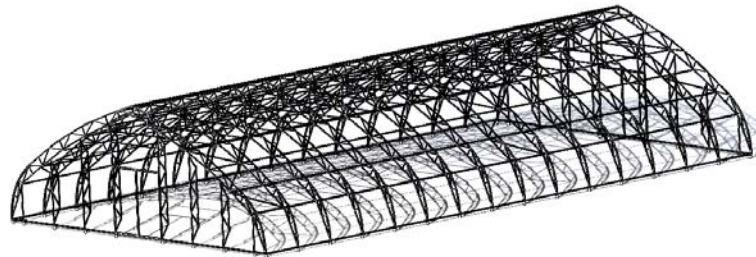


Рис. 1. Трехмерная модель теплицы

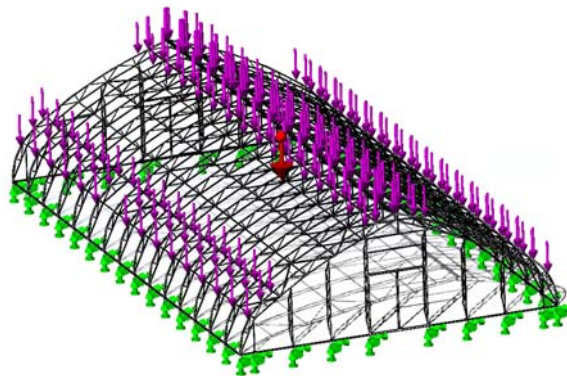


Рис. 2. Приложение эквивалентных сил снеговой нагрузки к каркасу теплицы

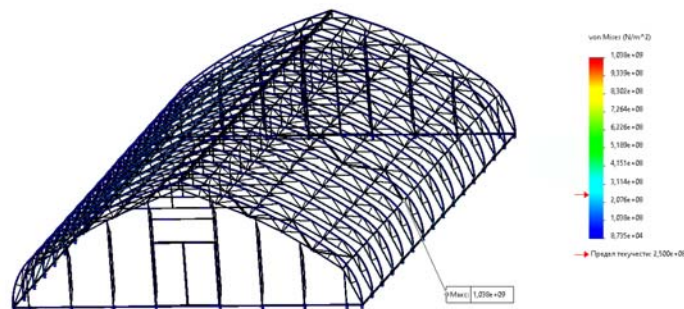


Рис. 3. Эпюра напряжений на каркасе теплицы от снеговой нагрузки

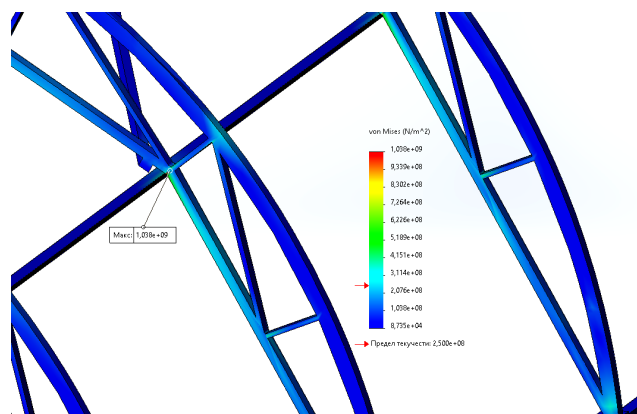


Рис. 4. Пятно максимальной концентрации напряжений от снеговой нагрузки

Полученные данные позволяют сделать вывод о необходимости увеличения расстояния между внутренним и наружным поясами арки в 1,5–2 раза, что увеличит несущую способность нагруженных узлов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам анализа напряжений конструкции каркаса теплицы для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой под действием снеговой нагрузки сделаны следующие выводы:

- максимальные напряжения, возникающие на каркасе теплицы под действием снеговой нагрузки превышают допустимые напряжения в 4,15 раз;
- наиболее нагруженным местом являлся узел на внутреннем поясе арки, где сходятся малый и большой радиусы поясов рядовых конструкций теплицы;
- для существенного повышения прочности конструкции каркаса теплицы необходимо увеличить расстояние между внутренним и наружным поясами арки в 1,5–2 раза;
- рекомендуется заменить сталь конструкции каркаса теплицы на сталь более высокого класса прочности С345 [8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Теория и практика искусственного лесовосстановления : учебник / А. Р. Родин, С. Б. Васильев, С. А. Родин [и др.]. Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. 164 с. ISBN 978-5-7038-5113-5. Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/205838>.
2. Лугинина, Л.И. Применение сосны обыкновенной (*pinus sylvestris* L.), выращенной по контейнерной технологии на вырубках Нижегородской области / Л. И. Лугинина, Н. Н. Иващенко // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 1. С. 25–31. ISSN 2306-8647. Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/313059> (дата обращения: 23.05.2022). Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Ледовской, И. В. Проблемы теории снеговых нагрузок на сооружения : специальность 05.23.17 "Строительная механика" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Ледовской Игорь Васильевич. Санкт-Петербург, 2009. 292 с.

4. СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия: актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*: утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 03.12.2016 № 891/пр : введен 04.06.2017. Москва : ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» при участии ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова».

5. Алямовский, А. А. SOLIDWORKS Simulation и FloEFD. Практика, методология, идеология / А. А. Алямовский. Москва : ДМК Пресс, 2018. 658 с. ISBN 978-5-97060-646-9. Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/131715> (дата обращения: 23.05.2022). Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. ГОСТ 280–2005. Сталь углеродистая обыкновенного качества : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 июля 2007 г. № 185-ст : дата введения : 2008-06-01 / разработан Научно-исследовательским институтом «УкрНИИмет» Украинского государственного научно-технического центра «Энергосталь»; Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 327 «Прокат сортовой, фасонный и специальные профили». Москва : Стандартинформ, 2009. 8 с. Текст непосредственный.

7. Долгушин, В. А. Механика: Сопротивление материалов. Расчёт элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость : учебно-методическое пособие / В. А. Долгушин, С. С. Соляник, А. В. Спирина. Санкт-Петербург : СПбГАУ, 2019. 47 с. Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/162755>.

8. ГОСТ 19281–2014. Прокат повышенной прочности : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 октября 2014 г. № 1430-ст : дата введения : 2015-01-01 / разработан Федеральным государственным унитарным предприятием "Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И. П. Бардина" (ФГУП "ЦНИИчермет им. И. П. Бардина"). Москва : Стандартинформ, 2016. 46 с. Текст непосредственный.

REFERENCES

1. Rodin A. R., Vasil'ev S. B., Rodin S. A. [and others]. *Teoriya i praktika iskusstvennogo lesovosstanovleniya* [Theory and practice of artificial reforestation]. 2019, 164 p (in Russ.).
2. Luginina L. I., Ivashchenko N. N.. Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. *Primenenie sosny obyknovennoy (pinus sylvestris l.), vyrashchennoy po konteynernoy tekhnologii na vyrubkakh Nizhegorodskoy oblasti.* [The use of Scotch pine (Pinus sylvestris l.), grown by container technology in the clearings of the Nizhny Novgorod region], 2017, no. 1, pp. 25–31 (in Russ.).
3. Ledovskoy, I. V. Problems of the theory of snow loads on structures. *Doctor's thesis*. St. Petersburg, 2009, 292 p (in Russ.).
4. Set of rules. Loads and impacts: updated version of SNiP 2.01.07–85 *: approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated 03.12.2016 No. 891 / pr : introduced on 06.04.2017. Moscow, 2017 (in Russ.).
5. Alyamovskiy, A. A. *SOLIDWORKS Simulation i FloEFD. Praktika, metodologiya, ideologiya.* [SOLID WORKS Simulation and FloEFD. Practice, methodology, ideology]. 2018, 658 p (in Russ.).
6. *Russian State Standard. GOST 280-2005. Carbon steel of ordinary quality.* Moscow, Standartinform, 2009, 8 p (in Russ.).
7. Dolgushin, V. A. *Mekhanika: Soprotivlenie materialov. Raschet elementov konstruktsey na prochnost', zhestkost' i ustoychivost'* [Mechanics: Strength of materials. Calculation of structural elements for strength, rigidity and stability]. 2019, 47 p (in Russ.).
8. *Russian State Standard. GOST 19281-2014. High-strength rolled products.* Moscow, Standartinform, 2016, 46 p (in Russ.).

© Черник Д. В., Авдеева Е. В., Логачев А. К.,
Черник К. Н., Ровных Н. Л., 2022

Поступила в редакцию 12.06.2022
Принята к печати 01.08.2022

АВТОРСКАЯ ССЫЛКА

¹**Авдеева Е. В.** Инвентаризационная оценка объектов озеленения города Красноярск, с. 242–249

²**Авдеева Е. В.** Российский и мировой опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой, с. 250–258

Абаимова Л. Е., см. Каленская О. П.

Авдеева Е. В., см. Черник Д. В.

Бессонова Н. В., см. Выводцев Н. В.

Бессчетнов В. П., см. Бессчетнова Н. Н.

Бессчетнова Н. Н. Изменчивость и корреляция морфометрических показателей клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной на лесосеменной плантации во Владимирской области, с. 259–268

Братилова Н. П., см. Гришлова М. В.

Буторова О. Ф., см. Комарницкий В. В.

Воронина Л. А., см. Ковалевский А. В.

Выводцев Н. В. Особенности роста липы амурской в кедровых лесах Дальнего Востока, с. 269–275

Гашков С. И., см. Ковалевский А. В.

Горелов А. Н., см. Бессчетнова Н. Н.

Гришлова М. В. Влияние густоты посадки на репродуктивное развитие и рост сосны кедровой сибирской, с. 276–279

Данилин И. М., см. Усольцев В. А.

Долматов С. Н. Эффективность лесного комплекса и освоение лесных ресурсов Красноярского края, с. 280–288

Зубко К. С., см. Ковалевский А. В.

Иванов Д. В., см. ¹Авдеева Е. В.

Иванов Д. В., см. ²Авдеева Е. В.

Калагин В. Н., см. Гришлова М. В.

Каленская О. П. Талантливый сибирский учёный и педагог. К 75-летию юбилею Абаимова Анатолия Платоновича, с. 239–241

Каленская О. П., см. Комарницкий В. В.

Калинин М. Д., см. ²Авдеева Е. В.

Ковалев Р. Н., см. Долматов С. Н.

Ковалевский А. В. Биологические основы создания защитных и кормовых условий для животных при лесной рекультивации нарушенных земель бореальной зоны, с. 289–295

Комарницкий В. В. Индивидуальная и географическая изменчивость 15-летнего семенного потомства привитых деревьев сосны кедровой сибирской, с. 296–302

Комаров И. В., см. Комарницкий В. В.

Кулакова Н. Н., см. Шевелев С. Л.

Кухар И. В., см. ¹Авдеева Е. В.

Кухар И. В., см. ²Авдеева Е. В.

Литвинов Д. Ю., см. Лозовой В. А.

Логачев А. К., см. Черник Д. В.

Лозовой В. А. Структурное представление модели дискретно-непрерывной идеализированной поточной линии, с. 318–323

Лучникова Е. М., см. Ковалевский А. В.

Мантулина А. В., см. Гришлова М. В.

Матвеева Р. Н., см. Комарницкий В. В.

Михалюк А. В., см. Бессчетнова Н. Н.

Никончук М. Ю., см. Лозовой В. А.

Орнатский А. Н., см. Бессчетнова Н. Н.

Ровных Н. Л., см. ²Авдеева Е. В.

Ровных Н. Л., см. Черник Д. В.

Скурыдин Ю. Г. Физико-механические характеристики древесно-полимерного композитного материала на основе гидролизованной древесины, с. 324–332

Скурыдина Е. М., см. Скурыдин Ю. Г.

Сомов Е. В., см. Выводцев Н. В.

Сухенко Н. В., см. ²Авдеева Е. В.

Усольцев В. А. Охвоенность побегов сосны обыкновенной в географических градиентах Евразии, с. 303–311

Филиппова А. В., см. Ковалевский А. В.

Цепордей И. С., см. Усольцев В. А.

Черник Д. В. Исследование воздействия снеговой нагрузки на каркас теплицы для выращивания сеянцев с ЗКС в SolidWorks, с. 333–337

Черник К. Н., см. Черник Д. В.

Шевелев С. Л. Особенности депонирования углерода в древостоях лиственницы Нижнего Приангарья, с. 312–317

Шенмайер Н. А., см. Гришлова М. В.

Щерба Ю. Е., см. Комарницкий В. В.

AUTHOR'S LINK

¹**Avdeeva E. V.** Inventory assessment of landscape objects Krasnoyarsk, p. 242–249

²**Avdeeva E. V.** Russian and world experience in growing planting material with a closed root system, p. 250–258

Abaimova L. E., see Kalenskaya O. P.

Avdeeva E. V., see Chernik D. V.

Besschetnov V. P., see Besschetnova N. N.

Besschetnova N. N. Variability and correlation of taxation indicators of plus trees of scots pine on a forest-seed plantation in the Vladimir region, p. 259–268

Bessonova N. V., see Vyvdtsev N. V.

Bratilova N. P., see Grishlova M. V.

Butorova O. F., see Komarnitsky V. V.

Chernik D. V. Study of the effect of snow load on the framework of greenhouses for growing seedlings with root-balled tree system in solidworks, p. 333–337

Chernik K. N., see Chernik D. V.

Danilin I. M., see Usoltsev V. A.

Dolmatov S. N. The efficiency of the forest complex and the development of forest resources in the Krasnoyarsk territory, p. 280–288

Filippova A. V., see Kovalevskiy A. V.

Gashkov S. I., see Kovalevskiy A. V.

Gorelov A. N., see Besschetnova N. N.

Grishlova M. V. The effect of planting density on reproductive development and the growth of siberian cedar pine, p. 276–279

Ivanov D. V., see ¹Avdeeva E. V.

Ivanov D. V., see ²Avdeeva E. V.

Kalagin V. N., see Grishlova M. V.

Kalenskaya O. P. A talented siberian scholar and pedagogue. On the 75-th anniversary of A. P. Abaimova, p. 239–241

Kalinin M. D., see ²Avdeeva E. V.

Kolenskaya O. P., see Komarnitsky V. V.

Komarnitsky V. V. Individual and geographical variability of 15-year-old seed offspring of grafted trees of siberian cedar pine, p. 296–302

Komarov I. V., see Komarnitsky V. V.

Kovalev R. N., see Dolmatov S. N.

Kovalevskiy A. V. Biological foundations for creating protective and feeding conditions for animals during forest reclamation of disturbed lands of the boreal zone, p. 289–295

Kukhar I. V., see ¹Avdeeva E. V.

Kukhar I. V., see ²Avdeeva E. V.

Kulakova N. N., see Shevelev S. L.

Litvinov D. Y., see Lozovoy V. A.

Logachev A. K., see Chernik D. V.

Lozovoy V. A. Structural representation of a discrete-continuous idealized production line model, p. 318–323

Luchnikova E. M., see Kovalevskiy A. V.

Mantulina A. V., see Grishlova M. V.

Matveeva R. N., see Komarnitsky V. V.

Mikhalyuk A. V., see Besschetnova N. N.

Nikonchuk M. Y., see Lozovoy V. A.

Ornatskiy A. N., see Besschetnova N. N.

Rovnykh N. L., see ²Avdeeva E. V.

Rovnykh N. L., see Chernik D. V.

Shcherba Yu. E., see Komarnitsky V. V.

Shenmaier N. A., see Grishlova M. V.

Shevelev S. L. Features of carbon storage in larch stands in the lower Angara region, p. 312–317

Skurydin Yu. G. Physical and mechanical characteristics of wood-polymer composite material based on hydrolyzed wood, p. 324–332

Skurydina E. M., see Skurydin Yu. G.

Somov E. V., see Vyvdtsev N. V.

Sukhenko N. V., see ²Avdeeva E. V.

Tsepordey I. S., see Usoltsev V. A.

Usoltsev V. A. The needle share in tree greenery biomass of scots pine in geographical gradients of Eurasia, p. 303–311

Voronina L. A., see Kovalevskiy A. V.

Vyvdtsev N. V. Features of the growth of amur linden in the cedar forests of the far east, p. 269–275

Zubko K. S., see Kovalevskiy A. V.

