

ISSN 1993-0135

ХВОЙНЫЕ

БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ



2023

Том XLI
Номер 2

<http://www.sibsau.ru>

Красноярск

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

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XLI
№ 2

Красноярск
2023

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XLI, № 2

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

Выходит 6 раз в год

Главный редактор

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

Ответственный секретарь

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

CONIFERS of the BOREAL AREA

Theoretical and Applied Research Journal

Volume XLI, № 2

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

Issued 6 times a year

Editor-In-Chief

Dr. Natalia P. Bratilova, Professor

Executive secretary

Cand. Aleksandr A. Korotkov, Associate Professor

EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

Учредитель и издатель

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

Адрес учредителя и издателя

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

Адрес редакции

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

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

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

Подписано в печать 24.04.2023. Дата выхода в свет 28.04.2023. Формат 70×108/8.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 10,7. Уч.-изд. л. 13,6. Тираж 700 экз.
Заказ С 701/23. Цена свободная.

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

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

Содержание

БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ, ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Безруких В. А., Авдеева Е. В., Лигаева Н. А., Кузнецова О. А., Иванов Д. В. Экологический императив бореальной зоны в развитии Красноярского края	109
Безруких В. А., Авдеева Е. В., Лигаева Н. А., Кузнецова О. А., Коротков А. А. Особенности формирования природопользования бореальной зоны Приенисейской Сибири	113
Вышегородцев А. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Широков А. И. Видоспецифичность регенеративной способности черенков тиса при интродукции в Нижегородскую область	118
Гаврилова О. И., Грязькин А. В., Пак К. А., Лубинь Го, Тун Чэн. Особенности структуры молодняков, сформировавшихся на участках лесных культур	133
Ерохина З. В., Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф., Мурашко Н. В. Показатели культур кедра сибирского (<i>Pinus sibirica</i> du tour) в Таштыпском лесничестве Республики Хакасия	139
Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф., Щерба Ю. Е., Дырдин С. Н., Комаров И. В., Коростелев А. С. Изменчивость показателей 17-летних модельных деревьев сосны кедровой сибирской	145
Оплетаев А. С., Жигулин Е. В., Залесов С. В. Опыт многоротационного выращивания контейнерного посадочного материала для искусственного лесовосстановления в теплицах с регулируемым микроклиматом	151
Ступакова О. М., Аксянова Т. Ю. Видовое разнообразие, композиция и состояние искусственных хвойных насаждений скверов города Красноярска	157
Тарасов П. А., Иванов В. А., Иванова Г. А., Безкоровайная И. Н. Постпирогенная динамика агрохимических показателей песчаных подзолов в сосняках южной тайги	161
Усольцев В. А., Цепордей И. С., Норицин Д. В. Ранжирование лесообразующих родов Евразии по сбежистости (относительной высоте) ствола	175

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Цаплин П. В., Межов В. Г., Кустов А. В., Заболотская Е. А., Гончарова Я. С. Исследование влияния силы трения на шероховатость поверхности древесностружечных плит и на износ инструмента	185
Авторская ссылка	194

Contents

BIOLOGY AND ECOLOGY, FORESTRY

Bezrukikh V. A., Avdeeva E. V., Ligaeva N. A., Kuznetsova O. A., Ivanov D. V. Environmental imperative of the boreal zone in the development of the Krasnoyarsk territory	109
Bezrukikh V. A., Avdeeva E. V., Ligaeva N. A., Kuznetsova O. A., Korotkov A. A. Features of natural management in the boreal zone of the Yenisei Siberia	113
Vyshegorodtsev A. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Shirokov A. I. Species specificity of the regenerative ability of yew cuttings during introduction to the Nizhny Novgorod region	118
Gavrilova O. I., Gryaskin A. V., Pak K. A., Lubin Go, Tun Then. Peculiarities of the structure of young stands formed on forest plantation plots	133
Erokhina Z. V., Matveeva R. N., Butorova O. F., Murashko N. V. Indicators of siberian cedar cultures (<i>Pinus sibirica</i> du tour) in the tashtypsky forestry in the Republic of Khakassia	139
Matveeva R. N., Butorova O. F., Shcherba Yu. E., Dyrdin S. N., Komarov I. V., Korostelev A. S. Variability of 17-year-old model trees indicators of siberian cedar pine	145
Opletaev A. S., Zhigulin E. V., Zalesov S. V. Experience of multi-rotation cultivation of container planting material for artificial reforestation in greenhouses with controlled microclimate	151
Stupakova O. M., Aksyanova T. Yu. Species diversity, composition and condition of artificial coniferous plantations of squares in Krasnoyarsk	157
Tarasov P. A., Ivanov V. A., Ivanova G. A., Bezkorovaynaya I. N. Post-fire changes in nutritional characteristics of sandy podzol in pine forests of the southern taiga	161
Usoltsev V. A., Tsepordey I. S., Noritsin D. V. Ranking of the forest-forming genera of Eurasia by the slenderness (relative height) of the stem	175

TECHNOLOGY OF HARVESTING AND MECHANICAL PROCESSING OF WOOD

Tsaplin P. V., Mezhev V. G., Kustov A. V., Zabolotskaya E. A., Goncharova Ya. S. Study of the influence of the friction force on the surface roughness of wood particle boards and on tool deterioration	185
Author's link	194

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИМПЕРАТИВ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ В РАЗВИТИИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

В. А. Безруких¹, Е. В. Авдеева², Н. А. Лигаева³, О. А. Кузнецова³, Д. В. Иванов²

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

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

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

В настоящее время в стране принимаются обязательства соблюдения экологических нормативов в переходный период становления в России рыночных отношений. В статье рассматриваются вопросы экологического императива на территории Красноярского края. Даются характеристика экологической ситуации в регионе степень негативных воздействий – механического, химического и физического загрязнения. Особенности экологической обстановки региона обусловлены местными природными условиями и характером воздействия на них промышленности, транспорта, коммунального сельского хозяйства. «Индекс категоричности» экологического императива дифференцируется как для отдельных территорий, так и для отраслей производства. Он определяется геополитическим и природно-экономическим положением региона, экологической емкостью отрасли, а также способом, видом и реципиентом отрасли загрязнения или воздействия. Наиболее жестким он должен быть в отраслях, на производствах, где реципиентом воздействия является человек, причем не столько в процессе производства, сколько в процессе жизнедеятельности. Соблюдение категорического императива возможно лишь при полном восстановлении производственного потенциала отраслей на новом организационно-технологическом и техническом уровне, а также при обеспечении экологических требований сопредельных территорий. В крае расположены природные зоны от арктических пустынь лесостепей и степей с выраженной широтной зональностью и высотной поясностью, в каждой из которых имеются свои особенности экологического развития. При этом Красноярский край входит в список территорий с чрезвычайно опасными загрязнениями почв техногенными металлами особенно никелем и медью, тяжелые металлы участвуют в биологических процессах, входя в состав многих ферментов, и оказывают токсическое воздействие на организм человека.

Ключевые слова: экологический императив, Красноярский край, природные зоны, аграрное природопользование, горнодобывающая промышленность, экология, минеральные ресурсы.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 2, P. 109–112

ENVIRONMENTAL IMPERATIVE OF THE BOREAL ZONE IN THE DEVELOPMENT OF THE KRASNOYARSK TERRITORY

V. A. Bezrukhikh¹, E. V. Avdeeva², N. A. Ligaeva³, O. A. Kuznetsova³, D. V. Ivanov²

¹Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafyev
89, A. Lebedeva str., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

²Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

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

Currently, the country is taking obligations to comply with environmental standards during the transitional period of the formation of market relations in Russia. The article deals with the issues of the ecological imperative on the Krasnoyarsk Territory. The environmental situation in the region is characterized by the degree of negative impacts –

mechanical, chemical and physical pollution. Features of the ecological situation in the region are determined by local natural conditions and the impact of industry, transport, utilities and agriculture on them. The "categorical index" of the environmental imperative is differentiated both for individual territories and for industries. It is determined by the geopolitical and natural-economic position of the region, the ecological capacity of the industry, as well as the method, type and recipient of the pollution or impact industry. It should be the most stringent in industries, in manufactures where the recipient of the impact is a person, and not so much in the production process but as in the life process. Compliance with the categorical imperative is possible only with the full restoration of the production potential of industries at a new organizational, technological and technical levels, as well as with the provision of environmental requirements of adjacent territories. The region has natural zones ranging from arctic deserts to forest-steppes and steppes with defined latitudinal and altitudinal zonality, each of which has its own characteristics of ecological development. At the same time, the Krasnoyarsk Territory is included in the list of territories with extremely dangerous soil pollution by technogenic metals, especially nickel and copper. Heavy metals are involved in biological processes, being part of many enzymes, and have a toxic effect on the human body.

Keywords: *environmental imperative, Krasnoyarsk Territory, natural zones, agricultural nature management, mining industry, ecology, mineral resources.*

Принимая на КОСР в Рио-де-Жанейро «Повестку дня на XXI век», государства-участники брали на себя обязательства соблюдения определенных экологических обязательств или экологического императива развития. Императив (от лат. *imperialivus* – повелительный) означает требование, приказ, закон [5]. Выделяется гипотетический императив, который имеет силу лишь при определенных условиях, и категорически императив – безусловный принцип поведения. Экологический императив означает приоритет экологических требований при разработке долговременной стратегии развития региона [4].

В переходный период становления в России рыночных отношений, формирования предприятий разных форм собственности и преодоления экономического кризиса – наиболее характерен гипотетический императив. При восстановлении экономического потенциала и создании полноценной рыночной инфраструктуры возможен переход на более жесткий категорический императив. Гипотетический экологический императив предполагает соблюдение экологических нормативов с небольшой долей допуска, которая объясняется сложностями становления производства и отработкой экологически приемлемых технологий. Восстановление производств, особенно ресурсоемких, необходимо осуществлять на новом технико-технологическом уровне с необходимым соблюдением экологических требований.

Соблюдение категорического императива возможно лишь при полном восстановлении производственного потенциала отраслей на новом организационно-технологическом и техническом уровне, а также при обеспечении экологических требований сопредельных территорий. То есть это не так называемые вредные производства, а предприятия отраслей, выбрасывающие свои загрязнения (механические, химические, физические, национально-психологические) непосредственно в природные объекты конкретного населенного пункта, района дислокации.

Обеспечить внедрение категорического экологического императива в процесс развития региона такого ранга, как Красноярский край полностью невозможно. В настоящее время необходимо учитывать трансграничные переносы загрязнения, которые имеют существенное значение в формировании экологи-

ческой ситуации в регионе, а с развитием производств нового типа, будет возрастать. Степень негативных воздействий механического, химического, частично физического загрязнения, на современном этапе изучена недостаточно, но найдены технические и технологические решения их нейтрализации либо предотвращения, следует также учитывать возможность усиления роли отдельных известных, но мало учитываемых видов загрязнения (физические – шумовые, электромагнитные, радиационные; биологические – биотические, микробиологические, психические и др.), а также ныне неизвестные виды, действие которых со временем может и усилиться.

Несмотря на значимость экологических ограничений для любого региона, обеспечить устойчивое развитие в условиях практически постоянного дефицита материальных и финансовых ресурсов (для современной России – еще и в условиях экономического, скорее далее системного, кризиса) можно лишь поэтапно, через постепенный переход от гипотетического к категорическому императиву разной степени жесткости с учетом значимости той или иной территории для: а) населения региона (высокая концентрация населения в пределах городских агломераций и крупных городов); б) наличия объектов всероссийского и регионального наследия и сохранения биоразнообразия (уникальные природные объекты, края: регламентированного хозяйствования и др.). Поэтому необходим комплексный географический анализ территории, учитывающий уровень экономического и социально-демографического развития, экологическую емкость, а также природную предрасположенность к проявлению чрезвычайных ситуаций и других экологических опасностей, и рисков.

К числу отраслей, требующих первоочередного внедрения жесткого категорического экологического императива следует отнести сельскохозяйственное производство, как по реципиенту воздействия – человеку, так и по широте охваченного экономического пространства и природных ресурсов. При этом предлагается рассматривать не сельское хозяйство, как отрасль экономики, а значительно шире, а именно аграрное природопользование, как особый вид (фоновый в отличие от локального либо точечного) взаимодействия человека в процессе своей жизнедеятельно-

сти с окружающей природной средой. Региональные системы природопользования, их организации являются предметом нашего исследования [1].

Из всех форм деградации природной среды Красноярского края наиболее опасной в настоящее время остается загрязненность атмосферы вредными веществами, оказывающими отрицательное воздействие на здоровье людей и биоту. Особенности экологической обстановки региона обусловлены местными природными условиями и характером воздействия на них промышленности, транспорта, коммунального и сельского хозяйства. Наибольший вклад и выбросы загрязняющих веществ в атмосферу вносят следующие предприятия: ЗАО «Камарчагское» (Манский район) – 1670 тыс. тонн, ООО ПФ «Сибирская губерния» (Березовский район) – 952 тыс. тонн, ЗАО «Назаровский» (Назаровский район) – 562 тыс. тонн, ОАО «Шушенская птицефабрика» (Шушенский район) – 474 тыс. тонн [3].

Красноярский край располагают уникальными по масштабам и разнообразию природными ресурсами. В их числе – крупнейшие в России массивы таежных лесов, общая площадь которых (без Таймырского и Эвенкийского муниципальных районов) достигает 58,4 млн га, с высокоценной древесиной в 0,6 млрд м³. В крае имеются значительные запасы полезных ископаемых, из которых разрабатываются медно-никелевые, свинцово-цинковые, железные руды, золото, медь, и многие другие. На изучаемой территории действуют крупнейшие гидроэлектростанции, ГРЭС и ТЭЦ.

Все это определяет широкие возможности региона в развитии промышленности и сельского хозяйства. В силу сложившихся условий в крае преобладают добывающие отрасли производства. Развитая структура промышленного производства характерна для крупных и средних городов края. Из отраслей сельскохозяйственного производства наиболее развиты зерновое хозяйство и скотоводство (Ачинский, Назаровский, Боготольский, Ужурский, Балахтинский, Новоселовский, Минусинский районы и др.).

Многие промышленные предприятия Красноярска, Норильска, Ачинска и Канска являются крупнейшими в России и относятся к группе энергоемких отраслей производства с большими объемами выбросов и сбросов образующихся отходов. На промышленные центры приходится около 90 % массы общекраевых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. По этим показателям Красноярский край прочно удерживает одно из первых мест среди территорий Российской Федерации на протяжении последних лет. Своеобразное «лидерство края» обеспечивается деятельностью Норильского горно-металлургического комбината. В список городов России с высоким уровнем загрязнения входит и Красноярск. Вещества, определяющие высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха бенз(а)пирен, взвешенные вещества и хлор. По данным природоохранных и санитарных служб вода в реках региона не пригодна для питья. Енисей загрязнен радиоактивными отходами Красноярского горно-химического комбината. Край входит в список территорий с чрезвычайно опасными загрязнениями почв техногенными металлами особенно никелем и

медью. Тяжелые металлы участвуют в биологических процессах, входя в состав многих ферментов, и оказывают токсическое воздействие на организм человека.

Горнодобывающий комплекс представляет собой опасный источник разрушения и загрязнения природной среды. Особенно это хорошо видно на примере крупных разработок. Районы добывающей промышленности часто являются территориями экологического бедствия. Красноярский край в связи с разработками и добычей каменных и бурых углей (Минусинский, Канско-Ачинский, Таймырский бассейны) относится к регионам с высоким показателем нарушенных земель [2]. Большинство промышленных предприятий Красноярска, Ачинска и Канска построены 50–60 лет назад, не имеют санитарно-защитных зон и не соответствуют современным требованиям по защите окружающей среды. Проблема требует кардинальных решений – перепрофилирование производства, выноса опасных объектов за пределы жилых районов, перевод ТЭЦ на использование природного газа и т. д. Эти капиталоемкие мероприятия включены в первоочередные мероприятия по экологическому оздоровлению крупных промышленных центров Красноярского края, одобренных Постановлением Правительства РФ от 19.09.1995 г. № 940. Но они крайне медленно реализуются из-за недостатка средств.

Экологическая ситуация в Красноярском крае при рассмотрении ее на фоне России в целом не может быть оценена однозначно. С одной стороны, благодаря огромным пространствам и низкой освоенности региона, большие территории слабо затронуты хозяйственной деятельностью является практически не нарушенными. В то же время территории промышленных центров и прилегающая к ним земли характеризуются высокими уровнями антропогенной нарушенности и загрязнения компонентов природной среды. Так, города: Красноярск, Норильск, Канск и Минусинск – оказались в списке городов с максимальными концентрациями загрязняющих веществ в атмосферном воздухе выше 10 ПДК. Два первых города много лет подряд входят в список городов России с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха. Тяжелая экологическая ситуация в регионе связана также с лесными пожарами. Не уменьшается воздействие на поверхностный и подземные воды.

ВЫВОДЫ

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод в том, что первоочередной задачей природоохранных программ должна быть стабилизация экологической обстановки в регионе, а расширение производства, связанное с ожидаемым оживлением экономики, не должно привести к увеличению антропогенных нагрузок на окружающую среду. Экологический императив – обязательное условие регионального развития – означает приоритет экологических требований при разработке долговременной стратегии развития региона. Экологическому императиву регионального развития присущи отраслевые и пространственно-временные, геологические аспекты,

характеризующие приоритеты экологизированного развития отдельных отраслей и территорий. Территориальная организация природопользования – это пространственно-временная дифференциация региональных систем для обеспечения экономически эффективного и экологического развития. Управление региональными системами природопользования обеспечивается их внутренними свойствами и адаптацией к изменяющимся природно-экологическим и социально-экономическим условиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Безруких В. А. Территориальная организация аграрного природопользования в условиях Приенисейской Сибири : монография / Краснояр. гос. пед. ун-т им. В. П. Астафьева. Красноярск, 2008. 204 с.
2. Безруких В. А. Агроприродный потенциал Приенисейской Сибири – оценка и использование : монография / Краснояр. гос. пед. ун-т им. В. П. Астафьева. Красноярск, 2010. С. 119–140.
3. О состоянии и охране окружающей среды Красноярского края в 2005 году : Государственный доклад. Красноярск, 2007. С. 197.
4. Красноярова Б. И. Географические основы устойчивого развития аграрного природопользования в Сибирских регионах : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Барнаул, 2005. 40 с.

5. Советский энциклопедический словарь / гл. ред. А. М. Прохоров. 4-изд. М. 1989. С. 491.

REFERENCES

1. Bezrukikh V. A. Territorial organization of agrarian nature management in the conditions of the Yenisei Siberia : monograph / Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafiev. Krasnoyarsk, 2008. 204 p.
2. Bezrukikh V. A. Agro-natural potential of the Yenisei Siberia – assessment and use : monograph / Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafiev. Krasnoyarsk, 2010. P. 119–140.
3. On the state and protection of the environment of the Krasnoyarsk Territory in 2005 : State report. Krasnoyarsk, 2007. P. 197.
4. Krasnoyarova B. I. Geographical bases of sustainable development of agrarian nature management in the Siberian regions: Abstract of the thesis. ... doctor of geographic sciences. Barnaul, 2005. 40 p.
5. Soviet Encyclopedic Dictionary / Ed. A. M. Prokhorov. 4th ed. M. : Сов. энциклопедия, 1989. С. 491.

© Безруких В. А., Авдеева Е. В., Лигаева Н. А.,
Кузнецова О. А., Иванов Д. В., 2023

Поступила в редакцию 18.12.2022
Принята к печати 04.04.2023

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ

В. А. Безруких¹, Е. В. Авдеева², Н. А. Лигаева³, О. А. Кузнецова³, А. А. Коротков²

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

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

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

Изучение вопросов природопользования было и остается одной из основных задач современной географии. В Приенисейской Сибири, протянувшейся с севера на юг на 30°, формируются разнообразные ландшафты от тундры, лесотундры до лесостепей, степей и горных лесов. В статье дается характеристика факторов формирования и функционирования природопользования на территории Сибири. Рассматриваются вопросы взаимодействия природы и общества, влияние на него деятельности человека, которая связана с эксплуатацией природно-ресурсного потенциала территории региона, его охраняют и воспроизводства природных ресурсов. Природопользование рассматривается в широком и узком смысле, говорится о факторах экономического развития во время перехода к рыночной экономике, анализируются вопросы демографии, структура населения, исторические и экологические факторы, а также промышленные и сельскохозяйственные производства. Авторами рассматривается региональное природопользование, то есть конкретный процесс взаимодействия, экономики и населения данного региона с природными факторами своей среды обитания. Региональное природопользование как система формируется и функционирует под воздействием внутренних и внешних факторов. К внешним относятся геополитическое положение изучаемого региона – наличие внешних границ, связи – исторические экономические, и другие с сопредельными государствами, и территорий, не имеющих общих с регионом границ, а также место региона во внутригосударственном разделении труда. К внутренним факторам формирования и функционирования региональной системы относятся природные социально-экономические исторические национальные этнические которые дифференцируют отдельные территории региона. Приведенный анализ природопользования позволил выявить особенности того, что основу развития современной экономики составляют процессы взаимодействия природы и общества, которые, осуществляются в процессе регионального природопользования характеризующиеся следующими чертами: природно-историческое единство и/или целостность; индивидуальность; привнесенность воздействия.

Ключевые слова: природопользование, объект, черты и факторы формирования, региональная система, экология, природные ресурсы, функционирование региональной системы, урбанизация.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 2, P. 113–117

FEATURES OF NATURAL MANAGEMENT IN THE BOREAL ZONE OF THE YENISEI SIBERIA

V. A. Bezrukikh¹, E. V. Avdeeva², N. A. Ligaeva³, O. A. Kuznetsova³, A. A. Korotkov²

¹Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafyev
89, A. Lebedeva str., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

²Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

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

The study of nature management issues has been and remains one of the main tasks of modern geography. In the Yenisei Siberia, stretching from north to south for 30°, various landscapes are formed from tundra, forest-tundra to forest-steppes, steppes and mountain forests. The article characterizes the factors of formation and functioning of nature management in Siberia. The issues of interaction between nature and society, the impact on it of human activity, which is associated with the exploitation of the natural resource potential of the territory of the region, its protection

and the reproduction of natural resources are considered. Nature management is studied in a broad and narrow sense, it points the factors of economic development during the transition to the market economy, analyzes demographic issues, population structure, historical and environmental factors, as well as industrial and agricultural production. The authors consider regional nature management, that is, a specific process of interaction between the economy and the population of a given region with the natural factors of the habitat. Regional nature management as a system is formed and functions under the influence of internal and external factors. The external ones include the geopolitical position of the region under study, the presence of external borders, historical and economic ties with certain states, and territories that do not have common borders with the region, as well as the place of the region in the intrastate division of labor. The internal factors of the formation and functioning of the regional system include natural, socio-economic, historical, national and ethnic factors that differentiate individual territories of the region. The above analysis of nature management made it possible to identify the features of the fact that the basis for the development of the modern economy is the processes of interaction between nature and society, which are carried out in the process of regional nature management and are characterized by the following features: natural-historical unity and/or integrity; individuality; implication of influence.

Keywords: *nature management, object, features and factors of formation, regional system, ecology, natural resources, functioning of the regional system, urbanization.*

Вопросы взаимодействия природы и общества стоят в центре внимания учёных разных областей знаний с древнейших времен: от общих теоретических проблем мироздания (диалектика и причинно-следственные связи) и общественного развития до узких вопросов взаимодействия отдельных компонентов природной среды или воздействия разных отраслей и видов деятельности на природные комплексы, отдельных компонентов взаимодействия. Однако природопользование, как самостоятельная научная дисциплина сформировалась лишь во второй половине XX столетия. Теоретические основы были сформулированы Ю. Н. Куражковским, основные задачи данной дисциплины он видел в «разработке общих принципов осуществления всякой деятельности, связанные либо с непосредственным использованием природой и ее ресурсами, либо с изменяющимися воздействиями на неё» [7].

Изучение вопросов природопользования было и остается одной из основных задач современной географии. По мнению некоторых ученых, «природопользование – специально-географический, т. е. привязанный к местности, аспект взаимодействия природы, общества и хозяйства, формирующий распределение населения по Земле, его расселение (экистику) основные системы жизнеобеспечения, закономерности и эволюции так называемых территориальных общностей людей» [4]. Оно представляет собой особую сферу деятельности людей, отражает связь между хозяйством, расселением производственной и социальной инфраструктурами и природной средой. В. С. Преображенский [11] считает, что природопользование – это процесс взаимодействия человека (общества) и природной среды или сфера деятельности, направленная на комплексное решение трех основных задач: ресурсообеспечения, сохранение среды жизни людей, охраны разнообразия природы. Другие ученые С. Б. Потахин, [10] рассматривают природопользование более узко, как процесс потребления человеком естественного (ландшафтного) потенциала территории. В настоящее время в природопользовании взаимодействуют два направления: 1) ресурсопользование – использование, освоение, воспроизводство, улучшение

природных ресурсов; 2) охрана окружающей среды и природных систем, т. е. сохранение и улучшение качества окружающей среды, охрана генофонда, богатства и разнообразия природы.

Авторы считают, что природопользование – это активно формирующаяся сфера деятельности человека, связанная с эксплуатацией природно-ресурсного потенциала территории региона, его охраной и воспроизводством природных ресурсов. Надо отметить, что природопользование с позиции определения его роли и месте в процессе общественного воспроизводства относится как к сфере материального производства, так и к инфраструктуре производственного и социального назначения, для целей удовлетворения экологических, материальных и культурных потребностей общества. В зарубежной литературе «природопользование», обозначаемое термином «land use» сегодня все чаще объясняется как «nature management» – управление природой. Природопользование – процесс использования природных ресурсов обществом для данного исторического момента.

В формулировке автора термина Ю. Н. Куражковского «...задачи природопользования, как науки сводятся к разработке общих принципов осуществления всякой деятельности, связанные либо с непосредственным использованием природы и её ресурсов, либо с изменяющимися ее воздействиями, конечные цель этой разработки – обеспечить единый подход к природе как всеобщей основе труда» [7].

Объектом природопользования, как науки служит комплекс взаимоотношений между природными ресурсами, естественными условиями жизни общества и его социально-экономическим развитием. Предметом природопользования можно считать оптимизацию этих отношений, стремление к их сохранению и воспроизводству среды жизни [12]. В настоящее время природопользование находится на таком этапе своего развития, когда «проявляются качественно новые тенденции во взаимоотношениях общественного производства со средой. Охрана природы становится необходимым, но недостаточным условием гармоничного освоения природы», требуется широкое внедрение в практику природопользования воспроизводства

природных благ, т. е. целенаправленной деятельности по поддержанию или увеличению экологического или природного потенциала среды [8].

Природопользование рассматривается в широком и узком смысле этого слова. Мы не будем останавливаться подробно на категории «природопользования» как общесистемную сферу деятельности, понятийный аппарат которой сложный, и понимание этой дефиниции зависит от области интересов исследователя и объекта конкретного изучения. Авторы рассматривают региональное природопользование, то есть конкретный процесс взаимодействия, экономики и населения данного региона с природными факторами своей среды обитания. Поэтому в региональном природопользовании выделяются основные черты:

- каждая региональная система, развиваясь, испытывает на себе воздействие природно-историческое единство как целостность – регион как результат эволюции природной среды территории и проживающего на ней населения, претерпевает ряд изменений, в силу природно-экономических и национально-этнических причин;

- индивидуальность – каждый регион индивидуален по своим физико-географическим характеристикам (регион совокупность природных комплексов, отличающихся определенным набором природных компонентов (условий и ресурсов) и характеру их использования (извлечение, пользование, воспроизводство), и по уровню социально-экономического развития и национально-этническим особенностям формирования и развития;

- привнесенность воздействия региональных систем более высокого ранга и соседних регионов – трансграничные переносы – материальные и информационные. Характер воздействия может быть самый разнообразный – экономический, экологический, национально-этнический и политический и др. [5]. О региональном характере природопользования говорит и Б. М. Ишмуратов с авторами [4]. Они определяют региональное природопользование как «совокупность алгоритмов (или стереотипов) использования как воспроизводства природных и социально-экономических ресурсов, объединенных принадлежностью к конкретной территории, служащих основанием образования локальных общностей людей, в том числе формирования, развития и воспроизводства этносов (народностей) [4].

Региональное природопользование как система формируется и функционирует под воздействием внутренних и внешних факторов. К внешним относятся геополитическое положение изучаемого региона – наличие внешних границ, связи – исторические экономические, и другие с сопредельными государствами, и территорий, не имеющих общих с регионом границ, а также место региона во внутригосударственном разделении труда.

К внутренним факторам формирования и функционирования региональной системы относятся природные социально-экономические исторические национальные этнические которые дифференцируют отдельные территории региона. Эти факторы имеют систему образующие и структурирующий характер их

роль меняется во времени и пространстве. например природные факторы в прошлом и настоящем имели значимое системно-образующее значение, при этом их роль в разные периоды хозяйственного освоения разных отраслей – различны. Наиболее высокая роль природных факторов в отраслях, связанных с природной средой (природно-ресурсные и отрасли ландшафтопользования). Эта роль имеет как прямой, так и как косвенный характер. Прямое воздействие природных факторов предусматривает извлечение природных ресурсов и использование их в хозяйственном обороте. Косвенное или опосредованное влияние природных факторов осуществляется либо через использование тех или иных явлений или сил природы в технологических цепочках без их прямого потребления, либо через загрязнение природных сред путем сброса (выброса) вредных веществ и не переработанных отходов. Значимость природных факторов зависит также от уровня развития производительных сил в том или ином регионе, от характера и интенсивности воздействия (экстенсивный либо интенсивный тип) на окружающую среду.

Экономические факторы формирования и функционирования региональной системы и ее отдельных подсистем также определяются уровнем и направлением экономического развития; территориально-отраслевой структурой производства и инфраструктурным обустройством территории; степенью и характером освоенности, урбанизации региона; обеспеченностью ресурсами – природными, экономическими, трудовыми, интеллектуальными и т. д. Экономические факторы имеют разнонаправленное и интенсивное действие. На каждом этапе развития производительных сил и производственных отношений роль этих факторов различна в зависимости от временных приоритетов и целевых установок. В настоящее время для большинства российских регионов к числу наиболее значимых экономических факторов следует отнести сложившуюся территориально-отраслевую структуру хозяйственного комплекса, возможности ее адаптации к рыночной экономике или диверсификации с учетом накопленного ранее потенциала – материального и интеллектуального, экономического и социального.

Одним из важнейших факторов экономического развития во время перехода к рыночной экономике является формирование современной рыночной инфраструктуры, которая имеет множественный характер. Ее устройство направлено на создание современных транспортных и информационных коммуникаций, инженерно-технического обустройства территории, создание сети финансовых институтов. Важное место в системе рыночной инфраструктуры занимает создание сети организаций, занимающихся оказанием маркетинговых услуг отечественным и зарубежным производителям, обеспечивая материально-техническое снабжение и организацию рынков сбыта произведенной продукции [1].

К социальным факторам функционирования региональной системы относятся различные индикаторы демографического развития: половозрастная структура населения; соотношение рождаемости и

смертности, в том числе по возрастам, с выделением детской смертности и смертности лиц в трудоспособном возрасте по разным причинам – различные категории заболеваний, в том числе имеющих социальный характер. К социальным факторам относятся также показатели наличия и качества трудовых ресурсов – количество лиц трудоспособного возраста и экономическая нагрузка на них, учитывающая, сколько лиц моложе – старше трудоспособного возраста приходится на одного работающего, социальная и квалификационная структура населения. Важную дифференцирующую роль при этом имеют национально-этническая структура населения и особенности заселения территории, которые накладывают свой отпечаток на весь последующий характер развития региона – национальные приоритеты образа жизни, деятельности и т. п. В числе социальных факторов общественного развития рассматриваются также параметры, отражающие развитость социальной инфраструктуры – наличие объектов соцкультбыта, потребительский спрос на услуги подобного рода, территориальные аспекты размещения объектов инфраструктуры. При этом следует отметить, что если в современной России наблюдается некоторый всплеск в развитии рыночной инфраструктуры, включающей производственное, информационное, финансовое обслуживание, оказание услуг при реализации продукции, то рынок социальных услуг находится в еще более глубоком кризисе, чем экономика в целом.

Исторические факторы имеют важное значение на стадии формирования, так функционирования региональных систем. Они характеризуют состояние хозяйственного освоения и заселения территории. При этом роль тех или иных факторов не одинакова на разных этапах исторического развития территории [3; 6].

Экологические факторы формирования региональных систем связаны в основном с выявлением и необходимостью учета параметров, характеризующих экологическую емкость [2; 9] или, в иной редакции, несущую способность территории. Этот показатель постоянно отождествляют с самоочищающей способностью территории, что на наш взгляд не правомерно, так как последний – определяется способностью данной территории восстанавливаться или воспроизводить самое себя, свои физические и потребительские свойства. Экологическая емкость или несущая способность территории, это категория более высокого порядка, позволяющая определить, какую антропогенную нагрузку данная территория способна выдерживать, переработать без своего качественного изменения. Для определения численного значения величины экологической емкости Н. Б. Поповой предложена категория «экологической техноёмкости, представляющая собой максимальную техногенную нагрузку, численно не превышающую вариации компонентов природной среды в естественных условиях и функционирования» и алгоритм ее определения на основе энергетического подхода [9]. Все названные экологические параметры определяются природной составляющей территории, индивидуальным для нее сочетанием природных условий и ресурсов. К числу экологических факторов относятся также показатели раз-

вития региона, связанные с размещением экологически чистых отраслей, эффектами концентрации населения, суммации и синергизма различного вида загрязнений, а это уже результат хозяйственного, привнесенного воздействия на окружающую среду.

Региональное природопользование эффективно, если в результате ее функционирования достигается максимальная результативность при осуществлении экономически и экологически приемлемых затрат. В качестве критерия экономической приемлемости затрат предлагается рассматривать опережающие темпы прироста объемов продукции против темпов прироста ресурсных затрат на ее производство. Критерии экологической приемлемости затрат на осуществление мероприятий, связанных с использованием природных ресурсов, различаются в зависимости от воспроизводимости какого либо ресурса, вовлеченного в оборот, а также возможности использования вторичного сырья. Для воспроизводимых природных ресурсов таковым показателем может быть соотношение темпов их использования и воспроизводства, для невоспроизводимых – соотношение темпов извлечения природных ресурсов и производства из них готовой продукции. Региональное природопользование состоит из отдельных подсистем: наиболее распространенными, присущими всем региональным системам являются – аграрное и индустриальное природопользование, лесо- и водопользование и другие. Роль данных подсистем изменяется в различных региональных системах в зависимости от сочетания природно-экологических и социально-экономических условий их развитие.

ВЫВОДЫ

Приведенный анализ природопользования позволил выявить особенности того, что основу развития современной экономики составляют процессы взаимодействия природы и общества, которые, осуществляются в процессе регионального природопользования характеризующиеся следующими чертами: природно-историческое единство и/или целостность; индивидуальность; привнесенность воздействия. Территориальная организация природопользования – это пространственно-временная дифференциация региональных систем для обеспечения экономически эффективного и экологического развития. Управление региональными системами природопользования обеспечивается их внутренними свойствами и адаптацией к изменяющимся природно-экологическим и социально-экономическим условиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Безруких В. А. Агроприродный потенциал Приенисейской Сибири: оценка и использование : монография / Краснояр. гос. пед. ун-т им. В. П. Астафьева. Красноярск, 2010. 168 с.
2. Акимов Т. А., Хаскин Г. А. Основы экоразвития : монография. М. : Изд-во Российской экономической академии, 1994. С. 321.
3. Винокуров Ю. И. Красноярская Б. А. Региональное природопользование: основные черты и факторы формирования // Проблемы региональной экологии.

Вып. 8 : материалы II Всерос. конф. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2000. С. 74–76.

4. Региональное природопользование и география общества / Б. М. Ишмуратов, Л. А. Безруков, А. В. Гарашченко и др. // География и природные ресурсы. Иркутск : Изд-во ин-та географии, 2004. С. 18–28.

5. Краснаярова Б. А. Экологические программы. Определение путей перехода экономики Алтайского края к устойчивому развитию с учетом экологического императива : материалы к Гос. докл. о состоянии окружающей среды Алтайского края в 1999 году. Барнаул : Изд-во ОАО «Алт. полигр. комбинат», 2000а.

6. Краснаярова Б. А. Экологический императив в аграрном природопользовании // Наш общий дом : материалы междунар. конф. по соц.-ориент. экологич. пробл. сопред. террит. Алтае-Саянского региона. Барнаул : 2000б. С. 40–42.

7. Куражковский Ю. Н. Очерки природопользования. М. : Мысль, 1969. С. 270.

8. Мазуров Ю. Л. Экономика природопользования : учеб. пособие. Донецк : ДонГУ, 1981. С. 109.

9. Попова Н. Б. Эколого-географические условия природопользования в зоне влияния Транссибирской магистрали (Западная Сибирь) Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2001. С. 182.

10. Потахин С. Б. Этнические традиции природопользования // Изв. РГО. 2000. Т. 132. Вып. 4. С. 76–79.

11. Подходы к использованию понятий и терминов в географии / В. С. Преображенский, Т. Д. Александрова, А. Д. Арманд и др. // Известия академии СССР. Серия географическая. 1974. № 5.

12. Реймерс Н. Ф. Природопользование : словарь-справочник. М. : Мысль, 1990. С. 637.

REFERENCES

1. Bezrukh V. A. Agroprirodnyy potentsial Priyeni-seyskoy Sibiri: otsenka i ispol'zovaniye : monografiya / Krasnoyar. gos. ped. un-t im. V. P. Astaf'yeva. Krasnoyarsk, 2010. 168 s.

2. Akimova T. A., Khaskin G. A. Osnovy ekorazvitiya : monografiya. M. : Izd-vo Rossiyskoy ekonomicheskoy akademii, 1994. S. 321.

3. Vinokurov Yu. I. Krasnoyarova B. A. Regional'noye prirodopol'zovaniye: osnovnyye cherty i faktory formirovaniya // Problemy regional'noy ekologii. Vypusk 8 : materialy II Vserossiyskoy konferentsii. Novosibirsk : Izd-vo SO RAN, 2000. S. 74–76.

4. Regional'noye prirodopol'zovaniye i geografiya obshchestva / B. M. Ishmuratov, L. A. Bezrukov, A. V. Garashchenko i dr. // Geografiya i prirodnnyye resursy. Irkutsk : Izd-vo instituta Geografii, 2004. S. 18–28.

5. Krasnoyarova B. A. Ekologicheskiye programmy. Opredeleniye putey perekhoda ekonomiki Altayskogo kraya k ustoychivomu razvitiyu s uchetom ekologicheskogo imperativa : materialy k Gosudarstvennomu dokladu o sostoyanii okruzhayushchey sredy Altayskogo kraya v 1999 godu. Barnaul : Izd-vo ОАО "Alt. Poligr. Kombinat", 2000a.

6. Krasnoyarova B. A. Ekologicheskiy imperativ v agrarnom prirodopol'zovanii // Nash obshchiy dom: materialy mezhdun. konf. po sots.-orient. ekologich. probl. sopred. territ. Altaye-Sayanskogo regiona. Barnaul. 2000b. S. 40–42.

7. Kurazhkovskiy Yu. N. Ocherki prirodopol'zovaniya. M. : Mysl', 1969. S. 270.

8. Mazurov Yu. L. Ekonomika prirodopol'zovaniya: uchebnoye posobiye. Donetsk : DonGU, 1981. S. 109.

9. Popova N. B. Ekologo-geograficheskiye usloviya prirodopol'zovaniya v zone vliyaniya Transsibirskoy magistrali (Zapadnaya Sibir'). Novosibirsk : Izd-vo SGUPSa, 2001. S. 182.

10. Potakhin S. B. Etnicheskiye traditsii prirodopol'zovaniya // Izv. RGO. 2000. T. 132. Vyp. 4. S. 76–79.

11. Podkhody k ispol'zovaniyu ponyatiy i terminov v geografii / V. S. Preobrazhenskiy, T. D. Aleksandrova, A. D. Armand i dr. // Izvestiya akademii SSSR. Seriya geograficheskaya. 1974. № 5.

12. Reymers N. F. Prirodopol'zovaniye : slovar'-spravochnik. M. : Mysl', 1990. S. 637.

© Безруких В. А., Авдеева Е. В., Лигаева Н. А.,
Кузнецова О. А., Коротков А. А., 2023

Поступила в редакцию 17.01.2023

Принята к печати 04.04.2023

ВИДОСПЕЦИФИЧНОСТЬ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ СПОСОБНОСТИ ЧЕРЕНКОВ ТИСА ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В НИЖЕГОРОДСКУЮ ОБЛАСТЬ

А. В. Вышегородцев¹, Н. Н. Бессчетнова¹, В. П. Бессчетнов¹, А. И. Широков²

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

²Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского
Российская Федерация, 603022, г. Нижний Новгород, просп. Гагарина, 23

Исследовали видоспецифичность представителей рода Тис (*Taxus L.*) по регенеративной способности черенков и реакция на применение различных субстратов и биологически активных препаратов при интродукции в Нижегородскую область. Актуальность работы обусловлена потребностью в расширении перечня видов древесных и кустарниковых растений, используемых в городских насаждениях различного функционала. Объект исследования – типичные особи тиса канадского (*Taxus canadensis Marshall*) и тиса ягодного (*Taxus baccata L.*), а также декоративные формы: золотисто-кончиковая (*Taxus baccata L., f. Capitata Aurea*) и элегантная (*Taxus baccata L., f. Elegantissima*). Все учетные растения дислоцированы на участке с координатами 56°15'19.9"N 44°00'24.2"E и высотой над уровнем моря 173 м. Предметом исследования выступали процессы каллусогенеза и ризогенеза, а также темпы пострегенеративного развития надземной части. Черенки размещали по единым схемам в идентичных по конструкции и размерам вегетационных сооружениях с автоматизированной системой орошения, в которых поддерживались одинаковые для всех вариантов и повторностей опыта условия. Субстрат представлен крупнозернистым речным песком или агроперлитом М-150. Биостимуляторами выступали водные растворы гетероауксина и корневина. Установлена специфика видов и декоративных форм тиса по интенсивности каллусо- и ризогенеза, линейным параметрам корневых систем и надземной части стеблевых черенков. Наиболее активно каллусообразование в песке с применением в качестве стимулятора гетероауксина и протекало у тиса канадского (84,20±2,93 %). Труднее регенерация проходила у элегантной формы тиса ягодного (18,33±1,51 %). Преимущества тиса канадского выявлено по количеству придаточных корней (12,66±0,61 шт.). Наименьшим их общим числом обладала золотисто-кончиковая форма тиса ягодного (2,96±0,25 шт.). Дисперсионный анализ подтвердил существенность межвидовых различий по всем показателям регенерационной способности черенков и пострегенерационного развития их корневых систем и надземной части.

Ключевые слова: тис канадский, тис ягодный, черенки, каллусогенез, ризогенез.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 2, P. 118–132

SPECIES SPECIFICITY OF THE REGENERATIVE ABILITY OF YEW CUTTINGS DURING INTRODUCTION TO THE NIZHNY NOVGOROD REGION

A. V. Vyshegorodtsev¹, N. N. Besschetnova¹, V. P. Besschetnov¹, A. I. Shirokov²

¹Nizhny Novgorod state agricultural Academy
97, Gagarina av., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation
E-mail: lesfak@bk.ru

²Nizhny Novgorod State University named after N. I. Lobachevsky
23, Gagarin av., Nizhny Novgorod, 603022, Russian Federation

The species specificity of representatives of the genus Yew (*Taxus L.*) was studied by the regenerative ability of cuttings and reactions to the use of various substrates and biologically active preparations during introduction to the Nizhny Novgorod region. The relevance of the work is due to the need to expand the list of types of woody and shrubby plants used in urban plantings of various functions. The object of the study is typical specimens of the Canadian yew (*Taxus canadensis Marshall*) and European yew (*Taxus baccata L.*), as well as decorative forms: golden-tipped (*Taxus baccata, f. Capitata Aurea*) and elegant (*Taxus baccata, f. Elegantissima*). All studing plants are located on the site with coordinates 56°15'19.9"N 44°00'24.2"E and 173 m above sea level. The subject of the study was the processes of callusogenesis and rhizogenesis, as well as the rates of post-regenerative development of the aboveground part. Cuttings were placed according to uniform schemes in vegetation structures identical in design and size with an automated

irrigation system, in which the same conditions were maintained for all variants and repetitions of the experiment. The substrate is represented by coarse-grained river sand or agro-perlite M-150. Bio-stimulants were aqueous solutions of heteroauxin and kornevin. The specificity of species and decorative forms of yew has been established in terms of the intensity of callus formation and roots induction, linear parameters of root systems and the aboveground part of stem cuttings. Callus formation in sand with the use of heteroauxin as a stimulant was most active in Canadian yew (84.20 ± 2.93 %). Regeneration was more difficult in the elegant form of European yew (18.33 ± 1.51 %). The advantages of the Canadian yew were revealed by the number of subordinate roots (12.66 ± 0.61 pcs.). The golden-tipped form of European yew had the smallest total number of them (2.96 ± 0.25 pcs.). The ANOVA confirmed the significance of inter-specific differences in all indicators of the regenerative ability of cuttings and the post-regenerative development of their root systems and the aboveground part.

Keywords: Canadian yew, European yew, cuttings, callusogenesis, rhizogenesis.

ВВЕДЕНИЕ

Расширение перечня видов древесных и кустарниковых растений, используемых в городских насаждениях различного функционала, будет способствовать оптимизации их ассортимента, что в свою очередь обеспечит успешное решение задач по стабилизации экологической обстановки урбанизированных систем [11; 14; 19; 20] и минимизации рисков негативных климатических изменений вследствие углеродного загрязнения атмосферы [10; 17; 18; 40; 52; 53]. Означенные проблемы не новы и в последние десятилетия успели приобрести поистине глобальный характер [32; 36; 38]. В сложившейся ситуации немаловажную роль могут сыграть представители инорайонной флоры, в число которых на территории Среднего Поволжья включают различные виды тиса (*Taxus* L.) с его многочисленными декоративными формами [3; 4; 8; 9]. Совершенствование технологий их вегетативного размножения в количественном и качественном аспектах служит залогом успешного расселения интродуцентов в новых местах обитания [5; 12; 13; 21]. Одним из наиболее результативных его приемов выступает укоренение черенков, которое в настоящий момент успешно адаптировано для обширного списка хвойных и лиственных деревьев и кустарников [23; 25; 30; 41; 45; 58; 60–64]. В этой в связи исследуются зависимости регенерационных процессов от генетической конституции [45; 54], физиологического статуса [61], фазы онтогенеза [30; 50], и фенологического состояния растений [1], изучаются реакции черенков на укоренение в разных типах субстратов [24; 28] и введение в их состав биологически активных компонентов [28; 60], анализируются процессы каллусогенеза и ризогенеза [62; 63], рост надземной части и корневых систем [29; 59; 64], в том числе, на фоне применения регуляторов роста и стимуляторов регенерационных процессов [4; 16; 46; 56]. Этому во многом способствует последовательное развитие современных производственных практик, ориентированных на применение высокотехнологичных вегетационных сооружений с инновационными свето-трансформирующими материалами укрытий [26; 27; 33–35; 37; 39; 43; 48; 57], оснащенных прогрессивными системами орошения и климат-контроля [12; 13; 21; 55].

Цель исследований – оценка видоспецифичности тиса по регенеративной способности черенков и реакциям на применение различных субстратов и биологически активных препаратов при интродукции в Нижегородскую область.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили типичные особи тиса канадского (*Taxus canadensis* Marshall) и тиса ягодного (*Taxus baccata* L.), а также декоративные формы последнего: золотисто-кончиковая (*Taxus baccata* L., f. *Capitata Aurea*) и элегантная (*Taxus baccata* L., f. *Elegantissima*). Все учетные растения дислоцированы на одном участке в Ботаническом саду Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского с координатами $56^{\circ}15'19.9''N$ $44^{\circ}00'24.2''E$ и высотой над уровнем моря 173 м. Предметом исследования выступали процессы каллусогенеза и ризогенеза, происходящие на нижних срезах черенков при укоренении в летних вегетационных сооружениях, а также темпы пострегенеративного развития их надземной части. Работы проведены полевым стационарным и лабораторными методами. Нормально развитые стеблевые черенки без признаков повреждения биотическими и абиотическими факторами одновременно готовили в периферийной зоне среднего яруса хорошо освещенного участка кроны растений. Их размещали по единым схемам (5×10 см) в идентичных по конструкции и размерам вегетационных сооружениях с автоматизированной системой орошения, в которых поддерживались одинаковые для всех вариантов и повторностей опыта условия: влажность, температурный фон, освещенность и пр. Контроль параметров среды вели с помощью автоматической метеостанции METEOSCAN PRO 929 RST02929. Формировали двухслойный субстрат: дренирующий слой из известкового щебня крупной фракции, верхний слой (варианты опыта) представлен крупнозернистым речным песком или агроперлитом М-150. Между слоями устилали нетканый иглопробивной агротекстиль (Дорнит 150 г/м²). Биостимуляторами (повторности опыта) выступали водные растворы гетероауксина (0,02 %) и корневина (0,01 %) при экспозиции 18 часов. Тестировали основные показатели регенерации и последующего развития корневых систем и надземной части стеблевых черенков типичных представителей т. канадского и т. ягодного, а также декоративных форм последнего (табл. 1).

Первичная единица выборки представляла собой разовый учет каждого из анализируемых показателей по вариантам и повторностям опыта (см. табл. 1), их общее число в базе данных составило 6706 дата-единиц. Высоту надземной части и диаметр корневой шейки черенков измеряли электронным штангенцир-

кулем Colt Electronic Digital Caliper – G06064731 (точность до 0,1 мм) [44]. Образование каллуса оценивали глазомерно в долях от замкнутой окружности (0 – 100 %), количество придаточных корней – визуальным подсчетом, их длину – линейкой (точность до 0,5 мм). Статистический и дисперсионный анализы

выполнены с учетом существующих методических разработок [31; 42; 47; 49; 65]. Параллельно с параметрами непосредственного учета исследовали производные признаки, которые часто фигурируют в лесоводственных и биологических исследованиях [2; 3; 6; 7; 15; 22; 51].

Таблица 1

Показатели регенерации и пострегенеративного развития корневых систем и надземной части стеблевых черенков тиса

Категории показателей регенерации и развития	Показатели активности регенерации и пострегенеративного развития черенков	Условное обозначение
Эффективность регенерации – регенерационные процессы, развивающиеся на нижнем срезе черенков	эффективность каллусогенеза – формирование недифференцированной образовательной ткани (каллуса) на нижнем срезе черенка	признак 1
	активность корнеобразования – количество придаточных корней, образовавшихся на нижнем срезе одного черенка	признак 2
Эффективность пострегенеративного развития корневых систем черенков	длина лидирующего корня	признак 3
	общая протяженность корневых систем	признак 4
	общая средняя длина придаточных корней	признак 5
	суммарная длина боковых корневых корней	признак 6
	средняя длина боковых корней	признак 7
	доля длины осевого корня в суммарной протяженности корневых систем	признак 8
	доля длины боковых корней в суммарной протяженности корневых систем	признак 9
	индекс равномерности развития корневых систем как отношение длины осевого корня к средней длине боковых корней	признак 10
Эффективность пострегенеративного развития надземной части черенков	индекс сбалансированности развития корневых систем как отношение длины осевого корня к общей средней длине придаточных корней	признак 11
	высота надземной части черенков	признак 12
	диаметра корневой шейки черенков	признак 13
	сбалансированность развития надземной части как отношение высоты черенка к его диаметру	признак 14

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На момент учета стеблевые черенки испытываемых видов и декоративных форм тиса обладали спецификой по интенсивности каллусо- и ризогенеза, линейным параметрам корневых систем и надземной части (табл. 2–4).

Ключевыми характеристиками регенерационных процессов, происходящих на черенках при их укоренении, выступают каллусогенез и количество образовавшихся в его результате придаточных корней (см. табл. 2, 3).

Таблица 2

Основные статистики интенсивности каллусообразования*

Виды и декоративные формы	M±m	СКО	Cv, %	t	P, %
Укоренение в песке с применением гетероауксина					
<i>Taxus baccata</i>	60,00±8,63	36,62	61,04	6,95	14,39
<i>Taxus canadensis</i>	84,20±2,93	17,36	20,62	28,69	3,49
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Capitata Aurea</i>	26,97±2,40	13,60	50,43	11,22	8,92
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Elegantissima</i>	18,33±1,51	6,42	35,00	12,12	8,25
Total _f (итог по гетероауксину)	50,68±3,34	33,90	66,88	15,17	6,59
Укоренение в песке с применением корневина					
<i>Taxus baccata</i>	50,00±6,32	34,64	69,28	7,91	12,65
<i>Taxus canadensis</i>	91,43±2,65	15,65	17,12	34,56	2,89
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Capitata Aurea</i>	59,55±2,68	15,38	25,83	22,24	4,50
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Elegantissima</i>	61,55±4,97	26,78	43,50	12,38	8,08
Total _к (итог по корневину)	66,54±2,54	28,59	42,97	26,23	3,81
Укоренение в перлите с применением гетероауксина					
<i>Taxus baccata</i>	66,15±3,90	19,90	30,07	16,95	5,90
<i>Taxus canadensis</i>	91,86±2,10	12,43	13,53	43,71	2,29
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Capitata Aurea</i>	37,00±4,14	22,65	61,22	8,95	11,18
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Elegantissima</i>	54,22±3,71	20,96	38,66	14,63	6,83
Total _f (итог по гетероауксину)	63,25±2,53	28,02	44,30	25,03	3,99

Окончание таблицы 2

Виды и декоративные формы	M±m	СКО	Cv, %	t	P, %
Укоренение в перлите с применением корневины					
<i>Taxus baccata</i>	42,00±4,14	22,65	53,93	10,16	9,85
<i>Taxus canadensis</i>	93,61±1,54	9,23	9,86	60,86	1,64
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Capitata Aurea</i>	61,00±4,00	21,91	35,92	15,25	6,56
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Elegantissima</i>	25,00±2,49	13,65	54,58	10,03	9,97
Total _к (итог по корневину)	57,22±2,80	31,42	54,90	20,44	4,89
Обобщенное по вариантам субстрата значение					
Total _{песок}	59,43±2,11	32,00	53,84	28,17	3,55
Total _{перлит}	60,20±1,89	29,88	46,64	31,79	3,15
Обобщенное по всем вариантам опыта значение					
Total _{Общее}	59,83±1,41	30,89	51,62	42,40	2,36

Примечания. * Статистические показатели: M – среднее арифметическое, %; ±m – ошибка репрезентативности выборочного среднего, %; СКО – среднее квадратическое отклонение, %; Cv – коэффициент вариации, %; t – критерий Стьюдента; P – точность опыта, %.

Достаточно хорошо каллусообразование шло в песке с применением в качестве стимулятора гетероауксина (см. табл. 2) и наиболее активно протекало у т. канадского (84,20±2,93 %). Труднее регенерация проходила у элегантной формы т. ягодного (18,33±1,51 %). Это создало превышение больших оценок среднего над меньшими на 65,867 % или в 4,593 раза. Соотношение абсолютных лимитов в этом случае составило 1 : 10, а обобщенное по гетероауксину среднее достигло уровня 50,68±3,34 %. Укоренение в том же субстрате, но с использованием корневины, в целом, обеспечило более интенсивное образование каллуса (см. табл. 2). При этом, т. канадский сохранил лидирующие позиции (91,43±2,65 %), а типичная форма т. ягодного замыкала ранжированный ряд (50,00±6,32 %). Их оценки сгенерировали превышение на 41,429 % или в 1,829 раза. На фоне обобщенного по данному стимулятору значения (66,54±2,54 %) соотношение лимитов также составило 1 : 10. Укоренение в перлите, в общем, оказалось более результативным (см. табл. 2), и при использовании гетероауксина каллусогенез, как и в песке, интенсивнее протекал у т. канадского (91,86±2,10 %). Медленнее этот процесс развивался у золотисто-кончиковой формы т. ягодного, оценки которой (37,00±4,14 %) были ниже на 54,857 % или в 2,483 раза. В этом случае обобщенное значение достигло 63,25±2,53 %, а соотношение лимитов – 1 : 5. Применение корневины в сочетании с указанным субстратом вызвало некоторое снижение общей регенеративной активности – до 57,22±2,80 % (Total_к) при сохранении в той или иной мере общих тенденций. Наиболее высокие оценки, как и во всех ранее рассмотренных вариантах, принадлежали т. канадскому (93,61±1,54 %), а низкие – соответствовали элегантной форме т. ягодного (25,00±2,49 %). Их разница составила 68,611 %, что дало превышение в 3,744 раза. Соотношение лимитов в этом случае представлено как 1 : 10. Сопоставление результатов применения для укоренения черенков тиса песка и перлита позволило признать несколько большую эффективность последнего на этапе каллусогенеза. Обобщенные по каждому из типов субстрата средние соответственно составили 59,43±2,11 % и 60,20±1,89 % с расхождением на 0,77 % или в 1,013 раза.

Весьма важным показателем ризогенеза служит количество придаточных корней, образовавшихся на черенках. В этом плане испытываемые виды и декоративные формы достаточно разнородны (см. табл. 3). Применение в опыте песка и гетероауксина выявило преимущества т. канадского: 12,66±0,61 шт. Наименьшим общим числом придаточных корней обладала золотисто-кончиковая форма т. ягодного: 2,96±0,25 шт. Таким образом, возникло превышение на 9,697 шт. или в 4,276 раза. При обобщенном для данного стимулятора значении 7,88±0,55 шт. абсолютные лимиты соотносились как 1 : 9. Замена стимулятора на корневины несколько повысила результативность укоренения черенков тиса в песке, и обобщенное для указанного варианта опыта среднее значение стало 8,58±0,49 шт.

При этом лучший результат оказался у т. канадского (13,61±0,82 шт.), а наименьшим общим числом придаточных корней обладала золотисто-кончиковая форма т. ягодного: 4,73±0,55 шт. Последняя оценка на 8,875 шт. или в 2,876 раза превышена соответствующим максимальным показателем. В данном варианте соотношение абсолютных величин составило 1 : 17. При укоренении черенков тех же видов и форм тиса в перлите результаты возросли, и обобщенные по стимуляторам средние значения составили: 9,22±0,56 шт. (гетероауксин) и 9,10±0,57 шт. (корневины). В варианте с применением гетероауксина наибольшее число придаточных корней образовал т. канадский (16,77±0,71 шт.), а наименьшим общим числом придаточных корней обладала золотисто-кончиковая форма т. ягодного (5,23±0,55 шт.). Такое соотношение оценок сформировало их превышение на 11,538 шт. или в 3,205 раза. Баланс абсолютных величин приобрел вид 23 : 0. Увеличение общего числа придаточных корней при размещении черенков в перлите с применением корневины в большей мере проявилось у того же т. канадского (15,47±0,30 шт.). Наименьшим общим числом придаточных корней обладала элегантная форма т. ягодного (3,50±0,18 шт.), и преимущество т. канадского над ней было на 11,972 шт. или в 4,421 раза. Соотношение их пределов составило 1 : 18.

Одним из наиболее надежных индикаторов успешной регенерации при укоренении черенков является общая протяженность развившихся в их базальной части придаточных корней (см. табл. 4). По дан-

ному показателю зафиксированы весьма контрастные расхождения в средних значениях сравниваемых между собой видов и декоративных форм тиса. Также наблюдалась специфика их реакции на использование

различающихся по водно-физическим свойствам субстратов и применение стимуляторов ростовых процессов, обладающих присущей каждому из них биологической активностью.

Таблица 3

Общее количество придаточных корней на черенках тиса *

Виды и декоративные формы	M±m	СКО	Cv, %	t	P, %
Укоренение в песке с применением гетероауксина					
<i>Taxus baccata</i>	11,00±0,30	1,04	9,50	36,48	2,74
<i>Taxus canadensis</i>	12,66±0,61	3,58	28,29	20,91	4,78
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Capitata Aurea</i>	2,96±0,25	1,24	41,92	11,93	8,38
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Elegantissima</i>	3,33±0,11	0,49	14,55	29,15	3,43
Total _Г (итог по гетероауксину)	7,88±0,55	5,17	65,67	14,45	6,92
Укоренение в песке с применением корневина					
<i>Taxus baccata</i>	6,67±0,64	2,70	40,51	10,47	9,55
<i>Taxus canadensis</i>	13,61±0,82	4,74	34,81	16,50	6,06
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Capitata Aurea</i>	4,73±0,55	2,81	59,36	8,59	11,64
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Elegantissima</i>	7,52±0,65	3,50	46,58	11,56	8,65
Total _К (итог по корневину)	8,58±0,49	5,07	59,07	17,43	5,74
Укоренение в перлите с применением гетероауксина					
<i>Taxus baccata</i>	7,54±0,93	4,73	62,70	8,13	12,30
<i>Taxus canadensis</i>	16,77±0,71	4,23	25,22	23,46	4,26
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Capitata Aurea</i>	5,23±0,55	3,02	57,80	9,48	10,55
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Elegantissima</i>	6,06±0,65	3,66	60,42	9,36	10,68
Total _Г (итог по гетероауксину)	9,22±0,56	6,22	67,42	16,45	6,08
Укоренение в перлите с применением корневина					
<i>Taxus baccata</i>	4,28±1,13	4,81	112,48	3,77	26,51
<i>Taxus canadensis</i>	15,47±0,30	1,81	11,71	51,22	1,95
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Capitata Aurea</i>	8,75±0,53	2,57	29,43	16,65	6,01
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Elegantissima</i>	3,50±0,18	0,88	25,28	19,38	5,16
Total _К (итог по корневину)	9,10±0,57	5,73	62,97	16,04	6,23
Обобщенное по вариантам субстрата значение					
Total _{песок}	8,26±0,37	5,15	61,95	22,60	4,42
Total _{перлит}	9,64±0,39	5,76	59,74	24,49	4,08
Обобщенное по всем вариантам опыта значение					
Total _{Общее}	8,98±0,27	5,50	61,22	33,07	3,02

Примечания. * Статистические показатели: М – среднее арифметическое, шт.; ±m – ошибка репрезентативности выборочного среднего, шт.; СКО – среднеквадратическое отклонение, шт.; Cv – коэффициент вариации, %; t – критерий Стьюдента; P – точность опыта, %.

Таблица 4

Общая суммарная длина придаточных корней *

	M±m	СКО	Cv, %	t	P, %
Укоренение в песке с применением гетероауксина					
<i>Taxus baccata</i>	47,25±0,23	0,78	1,66	208,95	0,48
<i>Taxus canadensis</i>	76,41±7,46	44,13	57,75	10,24	9,76
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Capitata Aurea</i>	6,42±0,97	4,85	75,57	6,62	15,11
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Elegantissima</i>	5,60±0,95	4,04	72,20	5,88	17,02
Total _Г (итог по гетероауксину)	38,92±4,52	42,86	110,12	8,61	11,61
Укоренение в песке с применением корневина					
<i>Taxus baccata</i>	39,28±15,90	67,44	171,70	2,47	40,47
<i>Taxus canadensis</i>	93,64±7,92	48,58	11,83	8,46	7,21
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Capitata Aurea</i>	11,71±1,72	75,02	6,80	14,71	27,76
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Elegantissima</i>	25,65±3,69	77,53	6,95	14,40	10,67
Total _К (среднее по корневину)	45,71±4,97	111,91	9,20	10,87	12,30
Укоренение в перлите с применением гетероауксина					
<i>Taxus baccata</i>	24,75±5,21	26,56	107,31	4,75	21,05
<i>Taxus canadensis</i>	80,53±4,88	28,86	35,84	16,51	6,06
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Capitata Aurea</i>	14,11±1,80	8,84	62,63	7,82	12,79
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Elegantissima</i>	18,02±2,84	14,74	81,78	6,35	14,74
Total _Г (итог по гетероауксину)	38,28±3,42	36,23	94,66	11,18	8,94

Окончание таблицы 4

	M±m	СКО	Cv, %	t	P, %
Укоренение в перлите с применением корневина					
<i>Taxus baccata</i>	12,17±4,09	17,34	142,53	2,98	33,60
<i>Taxus canadensis</i>	95,67±5,62	33,70	35,23	17,03	5,87
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Capitata Aurea</i>	33,75±2,85	13,96	41,37	11,84	8,44
<i>Taxus baccata</i> f. <i>Elegantissima</i>	6,43±1,35	6,60	102,75	4,77	20,97
Total _к (среднее по корневину)	45,36±4,42	44,60	98,32	10,27	9,73
Обобщенное по вариантам субстрата значение					
Total _{песок}	42,59±3,40	47,53	111,59	12,55	7,97
Total _{перлит}	41,66±2,77	40,50	97,22	15,05	6,65
Обобщенное по все вариантам опыта значение					
Total _{Общее}	42,10±2,17	43,95	104,38	19,40	5,15

Примечания. * Статистические показатели: М – среднее арифметическое, см; ±m – ошибка репрезентативности выборочного среднего, см; СКО – среднее квадратическое отклонение, см; Cv – коэффициент вариации, %; t – критерий Стьюдента; P – точность опыта, %.

Опираясь на предшествующий результат (см. табл. 2, 3), несложно предположить более высокие темпы развития придаточных корней у т. канадского, в целом, что нашло свое подтверждение во всех вариантах опыта (см. табл. 4). Так, при укоренении черенков в песке и активации процессов образования и роста корневых систем с помощью гетероауксина его результат (76,41±7,46 см) на 70,81 см или в 13,66 раза больше минимальной оценки (5,60±0,95 см), зафиксированной у элегантной формы т. ягодного. Обобщенное по данному сочетанию факторов опыта (субстрата и стимулятора) среднее вполне логично достигло уровня 38,92±4,52 см. Замена гетероауксина на корневин в том же субстрате, в целом, вызвало незначительное увеличение показателя. При этом, т. канадский усилил ранее отмеченные преимущества (93,64±7,92 см) и превзошел оценки декоративной золотисто-кончиковой формы т. ягодного (11,71±1,72 см) на 18,44 см или в 1,25 раза. Обобщенное среднее по данной повторности составило 45,71±4,97 см.

Перевод укоренения на другой субстрат (перлит) принципиально не изменил картину соотношения видов и декоративных форм по параметрам корневых систем их черенков. Лучшие результаты, как и раньше, наблюдались у т. канадского (80,53±4,88 см), худшие (14,11±1,80 см) – у золотисто-кончиковой форм т. ягодного. В отмеченной ситуации превышение первой оценки над второй было на 62,51 см или в 4,47 раза, обобщенное среднее составило 38,28±3,42 см, а отношение абсолютного максимума к минимуму – 82,65. Аналогичный эффект наблюдался при посадке черенков в перлит с применением корневина: превышение на 89,24 см или в 14,879 раза линейных параметров корневых систем тиса канадского (95,67±5,62 см) по сравнению с элегантной формой тиса ягодного (6,43±1,35 см). На фоне обобщенного среднего по данному блоку опыта (45,36±4,42 см) соотношение лимитов составило 1 : 1535. Притом что обобщенные оценки указанного признака в рассматриваемых вариантах опыта достаточно близки по своим величинам, в целом, можно заметить их некоторое возрастание при использовании в качестве субстрата крупнозернистого речного песка. По остальным характеристикам процессов каллусо- и ризогенеза, включая отно-

сительные признаки, также наблюдалась выраженная видоспецифичность представителей изучавшихся таксономических подразделений рода Тис при хорошо заметных преимуществах т. канадского. Зафиксированные различия между сравниваемыми видами и декоративными формами тиса проявились на выровненном фоне экологических условий, что дало основание признать их обусловленными внутренними особенностями самих растений, определяемыми спецификой генотипа. Подтверждение этому было получено в ходе выполнения дисперсионного анализа по всем показателям регенерационной способности черенков и пострегенерационного развития их корневых систем и надземной части при использовании песка и перлита в качестве субстратов с применением гетероауксина и корневина как стимуляторов указанных процессов (табл. 5–8).

Дисперсионный анализ уверенно опроверг нулевую гипотезу (см. табл. 5). Расчетные величины F-критерия в подавляющем числе случаев превышают допустимые табличные пределы, принимая значения от 3,71 по отношению высоты надземной части к диаметру черенка (признак 14) до 111,00 по количеству образовавшихся придаточных корней (признак 2). Исключение составили показатели доли длины боковых корней (признак 8) и осевого корня (признак 9), по которым существенные различия зафиксированы не были. Оценки силы влияния межвидовых различий на разброс значений показателей каллусо- и ризогенеза в расчетах по алгоритму Плотинского при подтвержденной существенности различий составили от 8,29±2,24 % по отношению высоты надземной части к диаметру черенка (признак 14) до 79,47±0,72 % по количеству образовавшихся придаточных корней (признак 2). Вычисление тех же оценок по алгоритму Снедекора дало вполне адекватный результат. Оценки существенности различий (НСР₀₅ и D₀₅) позволили установить, между какими именно вариантами опыта (в нашем случае между представителями видов и декоративных форм) разность средних значений каждого тестируемого показателя укоренения черенков соответствует уровню существенности (см. табл. 5). Так, по степени завершенности каллусогенеза (см. табл. 1) в оценках по наименьшей существенной

разности (HCP_{05}) все сравниваемые виды и сортообразцы имели существенные различия между собой. При этом три из четырех (типичная и декоративные формы т. ягодного) не имели существенных отличий от обобщенного среднего значения, а один образец (т. канадский) существенно отличался от него. Оценка по более строгому в статистическом плане критерию Тьюки (D_{05}) показала, что в варианте попарного сопоставления величин без участия обобщенного для всего массива среднего значения типичные формы т. ягодного и т. канадского существенно отличались от трех остальных каждая, а декоративные формы т. ягодного – только от двух. Повторение опыта с при-

менением гетероауксина как биостимулятора, но с использованием в качестве субстрата агроперлита (см. табл. 6) позволило подтвердить ранее обнаруженные тенденции (см. табл. 5) в формировании оценок существенности различий в укоренении черенков рассматриваемых видов и декоративных форм тиса.

Как и в предыдущем опыте (см. табл. 5), нулевая гипотеза уверенно опровергается (см. табл. 6). Удастся заметить, что на фоне применения корневина расчетные величины F-критерия почти по всем рассматриваемым признакам каллусо- и ризогенеза превышают допустимые табличные пределы, принимая значения от 5,11 (признак 10) до 64,33 (признак 6).

Таблица 5

Существенность различий между видами и формами тиса по укоренению черенков в песке с гетероауксином (критические значения: $F_{05} = 2,71$; $F_{01} = 3,98$)^{*}

Признаки	F _{оп}	Доля влияния фактора (h ² ±s _h ²)						Критерии различий	
		по Плохинскому			по Снедекору				
		h ²	±s _h ²	F _h ²	h ²	±s _h ²	F _h ²	HCP ₀₅	D ₀₅
Признак 1	64,95	0,6631	0,0102	64,95	0,7193	0,0085	84,56	11,194	14,791
Признак 2	111,00	0,7947	0,0072	111,00	0,8370	0,0057	147,25	1,443	1,906
Признак 3	20,25	0,4139	0,0204	20,25	0,4733	0,0184	25,76	2,174	2,872
Признак 4	41,22	0,5898	0,0143	41,22	0,6525	0,0121	53,84	16,897	22,327
Признак 5	22,95	0,4446	0,0194	22,95	0,5061	0,0172	29,38	1,167	1,542
Признак 6	39,26	0,5780	0,0147	39,26	0,6411	0,0125	51,22	15,759	20,823
Признак 7	53,63	0,6517	0,0122	53,63	0,7108	0,0101	70,45	0,952	1,258
Признак 8	96,98	0,7718	0,0080	96,98	0,8176	0,0064	128,48	0,079	0,104
Признак 9	96,98	0,7718	0,0080	96,98	0,8176	0,0064	128,48	0,079	0,104
Признак 10	8,27	0,2239	0,0271	8,27	0,2534	0,0260	9,73	2,671	3,529
Признак 11	2,17	0,0703	0,0324	2,17	0,0517	0,0331	1,56	0,321	0,424
Признак 12	19,28	0,3198	0,0166	19,28	0,3657	0,0155	23,63	2,508	3,315
Признак 13	22,75	0,3569	0,0157	22,75	0,4069	0,0145	28,12	0,368	0,486
Признак 14	3,71	0,0829	0,0224	3,71	0,0787	0,0225	3,50	0,538	0,711

Примечания. * Показатели: $F_{оп}$ – опытное значение критерия Фишера; h^2 – доля влияния организованного фактора; $\pm s_h^2$ – ошибка доли влияния фактора; F_h^2 – достоверность влияния фактора; HCP_{05} – наименьшая существенная разность; D_{05} – критерий Тьюки.

Таблица 6

Существенность различий между видами и формами тиса по укоренению черенков в перлите с гетероауксином (критические значения: $F_{05} = 2,69$; $F_{01} = 3,94$)^{*}

Признаки	F _{оп}	Доля влияния фактора (h ² ±s _h ²)						Критерии различий	
		по Плохинскому			по Снедекору				
		h ²	± s _h ²	F _h ²	h ²	± s _h ²	F _h ²	HCP ₀₅	D ₀₅
Признак 1	47,38	0,5443	0,0115	47,38	0,6022	0,0100	60,06	9,690	12,804
Признак 2	61,50	0,6079	0,0099	61,50	0,6639	0,0085	78,34	1,994	2,634
Признак 3	19,96	0,3567	0,0179	19,96	0,4055	0,0165	24,56	1,667	2,203
Признак 4	62,25	0,6336	0,0102	62,25	0,6879	0,0087	79,34	11,811	15,607
Признак 5	37,46	0,5099	0,0136	37,46	0,5674	0,0120	47,23	0,608	0,803
Признак 6	64,33	0,6412	0,0100	64,33	0,6950	0,0085	82,03	10,694	14,131
Признак 7	45,86	0,5602	0,0122	45,86	0,6175	0,0106	58,11	0,568	0,751
Признак 8	27,73	0,4351	0,0157	27,73	0,4902	0,0142	34,62	0,062	0,082
Признак 9	27,73	0,4351	0,0157	27,73	0,4902	0,0142	34,62	0,062	0,082
Признак 10	5,11	0,1244	0,0243	5,11	0,1290	0,0242	5,33	0,486	0,642
Признак 11	0,76	0,0206	0,0272	0,76	-0,0089	0,0280	-0,32	0,246	0,325
Признак 12	38,15	0,4760	0,0125	38,15	0,5337	0,0111	48,06	2,269	2,998
Признак 13	26,33	0,3853	0,0146	26,33	0,4383	0,0134	32,77	0,228	0,302
Признак 14	31,67	0,4299	0,0136	31,67	0,4858	0,0122	39,68	0,637	0,842

Примечания. * Показатели: $F_{оп}$ – опытное значение критерия Фишера; h^2 – доля влияния организованного фактора; $\pm s_h^2$ – ошибка доли влияния фактора; F_h^2 – достоверность влияния фактора; HCP_{05} – наименьшая существенная разность; D_{05} – критерий Тьюки.

Исключение ($F_{оп} = 0,76$) составило отношение длины лидирующего корня к общей средней длине корней (признак 11). Такой исход первого этапа дисперсионного анализа позволил продолжить его выполнение в части определения доли факториальной дисперсии в структуре её общей величины. Влияние межвидовых различий на разброс значений показателей каллюсо- и ризогенеза в расчетах по алгоритму Плохинского составили от $12,44 \pm 2,43$ % по отношению длины лидирующего корня к средней длине боковых корней (признак 10) до $63,36 \pm 1,02$ % по общей суммарной протяженности придаточных корней (признак 4) и даже до $64,12 \pm 1,00$ % по суммарной длине боковых корней (признак 6). Расчеты по алгоритму Снедекора дали принципиально сопоставимый результат. Критерии существенности различий (HCP_{05} и D_{05}) указали на варианты рассматриваемого опыта, в которых разность средних значений каждого тестируемого показателя укоренения черенков в парном сопоставлении достигает уровня существенности (см. табл. 6). В частности, по одному из наиболее информативных признаков – общей суммарной протяженности придаточных корней (признак 5) – т. канадский в оценках по наименьшей существенной разности (HCP_{05}) имел существенные различия с типичной и декоративными формами тиса, ягодного. Другие объекты имели только по 1 существенному различию. Более строгая в статистическом плане оценка по критерию Тьюки (D_{05}) показала аналогичный результат.

Применение в качестве стимулятора корневина, в целом, позволило констатировать общую неизменность ранее отмеченных тенденций в процессах укоренения и последующего развития черенков тиса (см. табл. 7).

Однако при укоренении черенков в песке (см. табл. 7) в дисперсионном анализе наблюдалась несколько иная картина распределения оценок критерия

Фишера и доли влияния организованного фактора. Оценки F-критерия укладывались в интервал от 5,69 (признак 7) и 3,97 (признак 11) до 44,44 (признак 14), чем подтвердили наличие существенных различий в комплексе сравниваемых между собой видов и форм тиса. Это в свою очередь обеспечило возможность продолжения проведения дисперсионного анализа на уровне вычисления оценок доли влияния межвидовых различий на формирование общего фона фенотипической дисперсии показателей регенерационной способности черенков. В расчетах по алгоритму Плохинского величины оценок были от $14,33 \pm 2,52$ % ($F_h^2 = 5,69$; $F_{05/01} = 2,69/3,94$) по средней длине боковых корней (признак 7) и $10,45 \pm 2,63$ % ($F_h^2 = 3,97$; $F_{05/01} = 2,69/3,94$) по отношению длины лидирующего корня к общей средней длине корней (признак 11) до $52,01 \pm 1,17$ % ($F_h^2 = 44,44$; $F_{05/01} = 2,69/3,94$) по отношению высоты надземной части черенка к диаметру его корневой шейки (признак 14). Вычисление соответствующих оценок по алгоритму Снедекора дало вполне сопоставимый результат. Варианты парного сравнения средних значений анализируемых признаков в исследуемой совокупности видов и декоративных форм тиса, в которых фактическая разность значений превысила порог существенности были выявлены с помощью критериев HCP_{05} и D_{05} (см. табл. 7). Например, по суммарной протяженности придаточных корней (см. табл. 4), как по наиболее информативному показателю ризогенеза, т. канадский в оценках по наименьшей существенной разности (HCP_{05}) имел существенные различия с тремя другими видами и формами тиса, участвующими в испытании. В то же время, элегантная декоративная форма т. ягодного демонстрировала различия такого уровня только с одним видом (т. канадским), а оставшиеся объекты дисперсионного комплекса (типичная и золотисто-кончиковая формы т. ягодного) – с двумя.

Таблица 7

Существенность различий между видами и формами тиса по укоренению черенков в песке с применением корневина (критические значения: $F_{05} = 2,69$; $F_{01} = 3,94$)*

Признак	F _{оп}	Доля влияния фактора (h ² ±s _h ²)						Критерии различий	
		по Плохинскому			по Снедекору				
		h ²	± s _h ²	F _h ²	h ²	±s _h ²	F _h ²	HCP ₀₅	D ₀₅
Признак 1	18,67	0,3129	0,0168	18,67	0,3580	0,0157	22,86	11,931	15,766
Признак 2	32,41	0,4880	0,0151	32,41	0,5460	0,0134	40,88	2,017	2,665
Признак 3	20,60	0,3772	0,0183	20,60	0,4286	0,0168	25,51	1,935	2,556
Признак 4	25,69	0,4304	0,0168	25,69	0,4859	0,0151	32,14	21,463	28,361
Признак 5	7,52	0,1812	0,0241	7,52	0,1998	0,0235	8,49	2,044	2,702
Признак 6	24,44	0,4182	0,0171	24,44	0,4730	0,0155	30,51	20,253	26,761
Признак 7	5,69	0,1433	0,0252	5,69	0,1522	0,0249	6,10	2,361	3,120
Признак 8	16,53	0,3272	0,0198	16,53	0,3729	0,0184	20,22	0,118	0,156
Признак 9	16,53	0,3272	0,0198	16,53	0,3729	0,0184	20,22	0,118	0,156
Признак 10	8,71	0,2071	0,0238	8,71	0,2308	0,0231	10,00	1,511	1,997
Признак 11	3,97	0,1045	0,0263	3,97	0,1020	0,0264	3,86	0,309	0,408
Признак 12	22,07	0,3500	0,0159	22,07	0,3994	0,0146	27,26	1,920	2,537
Признак 13	26,97	0,3968	0,0147	26,97	0,4504	0,0134	33,60	0,310	0,410
Признак 14	44,44	0,5201	0,0117	44,44	0,5782	0,0103	56,20	0,548	0,724

Примечания. * Показатели: $F_{оп}$ – опытное значение критерия Фишера; h^2 – доля влияния организованного фактора; $\pm s_h^2$ – ошибка доли влияния фактора; F_h^2 – достоверность влияния фактора; HCP_{05} – наименьшая существенная разность; D_{05} – критерий Тьюки.

Таблица 8

Существенность различий между видами и формами тиса по укоренению черенков в перлите с корневином (критические значения: $F_{05} = 2,71$; $F_{01} = 3,98$)*

Признаки	F _{оп}	Доля влияния фактора (h ² ±s _h ²)						Критерии различий	
		по Плохинскому			по Снедекору				
		h ²	± s _h ²	F _h ²	h ²	± s _h ²	F _h ²	HCP ₀₅	D ₀₅
Признак 1	94,28	0,6986	0,0074	94,28	0,7480	0,0062	120,70	8,720	11,522
Признак 2	126,80	0,7951	0,0063	126,80	0,8345	0,0051	164,77	1,476	1,950
Признак 3	35,96	0,5240	0,0146	35,96	0,5836	0,0127	45,78	2,033	2,687
Признак 4	97,68	0,7494	0,0077	97,68	0,7949	0,0063	126,62	12,709	16,793
Признак 5	65,72	0,6680	0,0102	65,72	0,7218	0,0085	84,77	0,821	1,084
Признак 6	141,05	0,7762	0,0055	141,05	0,8167	0,0045	181,21	9,340	12,342
Признак 7	85,70	0,7240	0,0084	85,70	0,7725	0,0070	110,94	0,744	0,984
Признак 8	74,51	0,6952	0,0093	74,51	0,7467	0,0078	96,27	0,097	0,128
Признак 9	74,58	0,6954	0,0093	74,58	0,7469	0,0077	96,38	0,097	0,128
Признак 10	22,44	0,4391	0,0196	22,44	0,5076	0,0172	29,55	1,043	1,378
Признак 11	6,28	0,1613	0,0257	6,28	0,1748	0,0253	6,92	0,342	0,452
Признак 12	43,98	0,5196	0,0118	43,98	0,5776	0,0104	55,62	1,735	2,292
Признак 13	2,59	0,0598	0,0231	2,59	0,0480	0,0234	2,05	0,267	0,353
Признак 14	41,67	0,5061	0,0121	41,67	0,5641	0,0107	52,63	0,432	0,571

Примечания. *Показатели: $F_{оп}$ – опытное значение критерия Фишера; h^2 – доля влияния организованного фактора; $\pm s_h^2$ – ошибка доли влияния фактора; F_h^2 – достоверность влияния фактора; HCP_{05} – наименьшая существенная разность; D_{05} – критерий Тьюки.

Критерий Тьюки (D_{05}), который признан более строгим индикатором в статистическом плане, позволил установить факт превышения существенных различий т. канадского с тремя другими объектами опыта, в то время как остальные виды смогли продемонстрировать подобные различия только с одним видом каждый.

В опыте с корневином укоренение черенков исследуемых представителей рода тис в перлите в основных чертах сохранило ранее обнаруженную картину соотношения оценок, полученных в дисперсионном анализе (см. табл. 8).

Удается заметить (см. табл. 8), что по большинству показателей регенерационной способности исследуемых видов тиса различия были существенными. За исключением диаметра корневой шейки (признак 13) опытные критерии Фишера уверенно превышали соответствующие табличные значения для заданного числа степеней свободы как на 5-процентном, так и на 1-процентном уровне значимости. Влияние факториальной дисперсии (в нашем случае – различия между видами и формами тиса) наиболее контрастно проявилось по количеству образовавшихся придаточных корней (признак 2): $h^2 \pm s_h^2 = 79,51 \pm 0,63$ %. Чуть слабее оно выражено по суммарной длине боковых корней (признак 6): $h^2 \pm s_h^2 = 77,62 \pm 0,55$ %. Наименьшие из числа полученных в данном дисперсионном анализе достоверные оценки обнаружены по отношению длины лидирующего корня к общей средней длине корней (признак 11): $h^2 \pm s_h^2 = 16,13 \pm 2,57$ %. Большая часть оставшихся признаков, существенность различий по которым была подтверждена, имела средние по величине оценки: высота надземной части (признак 12) – $51,96 \pm 1,18$ %; её отношение к диаметру корневой шейки (признак 14) – $h^2 \pm s_h^2 = 50,61 \pm 1,21$ %; длина лидирующего корня (признак 3) – $h^2 \pm s_h^2 = 52,40 \pm 1,46$ %; или в той или иной мере близкие

к ним: каллусогенез (признак 1) – $h^2 \pm s_h^2 = 69,86 \pm 0,74$ %; отношение длины лидирующего корня к средней длине боковых корней (признак 10) – $h^2 \pm s_h^2 = 43,91 \pm 1,96$ %. Эффект влияния во всех указанных случаях достоверен, поскольку оценивающие его критерии Фишера превышали минимально допустимый порог (см. табл. 8). Так же, как и во всех предыдущих вариантах проводимого дисперсионного анализа (см. табл. 5, 6, 7) показатели наименьшей существенной разности (HCP_{05}) и критерия Тьюки (D_{05}) обозначили рубеж, преодолев который фактическая разность средних попарно сравниваемых видов и форм тиса приобретает статус существенной. По количеству образовавшихся придаточных корней (см. табл. 2) в оценках по наименьшей существенной разности (HCP_{05}) типичная форма т. канадского и золотисто-кончиковая форма т. ягодного имели существенные различия с тремя другими объектами каждая. В то же время типичная форма т. ягодного и его элегантная форма смогли продемонстрировать существенные различия только с двумя другими каждая. Использование более строгого в статистическом плане критерия Тьюки (D_{05}) не изменило полученный результат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Представители рода Тис, в частности, типичные особи тиса канадского и тиса ягодного, а также декоративные формы последнего, неоднородны по регенерационной способности черенков: характеристикам каллусо- и ризогенеза, показателям развития надземной части. Различия в интенсивности процессов образования каллуса в базальной части черенков, количестве образовавшихся придаточных корней и их протяженности, а также в линейных параметрах надземной части проявились на выровненном экофоне и при прочих равных условиях произрастания. Это служит достаточным основанием для признания эндогенного

характера причин указанной дифференциации и позволяет признать её преимущественно генотипическую обусловленность, что нашло подтверждение в результатах дисперсионного анализа. Способность интродуцентов формировать при вегетативном размножении жизнестойкое потомство рассматривается как один из основных индикаторов их адаптированности к новым местам существования, выступает надежным критерием достижения главных целей процедуры введения представителей рода Тис в места, лежащие за границами его естественного ареала, служит одним из наиболее значимых показателей успешности её завершения на уровне, обеспечивающем результативность хозяйственного использования экзотов в Нижегородской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бессчетнов В.П., Кентбаев Е.Ж. Опыт зеленого черенкования облепихи крушиновидной в условиях юго-востока Казахстана // Известия Высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 4. С. 56–62. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.56.
2. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Есичев А.О. Оценка физиологического состояния представителей рода лиственница (*Larix* Mill.) в условиях Нижегородской области // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 1. С. 9–17. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.9.
3. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Изменчивость морфометрических признаков хвои на клоновой плантации плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Том 21, № 2. С. 198–206. DOI: 10.18699/VJ17.237.
4. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Вышегородцев А.В., Широков А.И. Пигментный состав хвои тиса при интродукции в Нижегородской области // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. Матер. XIII Междунар. науч.-тех. конф.: Екатеринбург, 02-04 февраля 2021 г. Екатеринбург: УГЛТУ, 2021. С. 55–59.
5. Бессчетнова Н.Н., Кулькова А.В., Вышегородцев А.В., Широков А.И. Укореняемость черенков тиса канадского (*Taxus canadensis* Marshall) в экологических условиях Нижегородского Поволжья // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии. Матер. Междунар. науч.-практ. конф.: Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под общ. ред. Бессчетновой Н.Н. Нижний Новгород: Нижегородская ГСХА, 2019. С. 139–145.
6. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Ершов П.В. Генотипическая обусловленность пигментного состава хвои плюсовых деревьев ели европейской // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 1. С. 63–76. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.63.
7. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кулькова А.В., Мишукова И.В. Содержание крахмала в тканях побегов разных видов ели (*Picea* A. Dietr.) в условиях интродукции // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017. № 4. С. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57.
8. Вышегородцев А.В. Содержание жиров в тканях побегов тиса канадского при интродукции в нижегородскую область // Роль аграрной науки в развитии лесного и сельского хозяйства Дальнего востока. Матер. V Междунар. науч.-практ. конф. Уссурийск, 06–07 декабря 2021 г. В 3-х частях, Ч. 1 / отв. ред. И.И. Бородин. Уссурийск: Приморская ГСХА, 2021. С. 19–28.
9. Вышегородцев А.В. Содержание крахмала в побегах тиса канадского при интродукции в Нижегородскую область // Вестник Нижегород. гос. сельскохозяйств. акад. 2021. № 4 (32). С. 14–26.
10. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Замолотчиков Д.Г., Пряжников А.А. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. Москва: Центр экологической политики России. 1995. 156 с.
11. Коммонер Б. Замыкающийся круг: Природа, человек, технология. Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. 279 с.
12. Котынова М.Ю., Бессчетнов В.П., Регенерационная способность представителей рода туя при укоренении черенков в теплицах // Современное лесное хозяйство – проблемы и перспективы. Матер. Всеросс. науч.-практ. конф., посвященной 50-летию «ВНИИЛГИСбиотех»: г. Воронеж, 3–4 декабря 2020 г. Воронеж: Истоки. 2020. С. 40–43.
13. Котынова М.Ю., Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Укоренение черенков декоративных форм туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в теплицах // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Матер. XVIII Междунар. науч.-тех. конф. Вологда, 1 декабря 2020 г. / отв. ред. С.М. Хамитова. Вологда: ВолГУ, 2020. С. 147–149.
14. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. Москва: Наука, 1974. 125 с.
15. Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Многопараметрический анализ в оценке видоспецифичности представителей рода ель (*Picea*) // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 6. С. 23–38. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.23.
16. Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Применение стимулирующей обработки в укоренении черенков ели Коники // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. С. 79–91. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.79-91.
17. Курбанов Э.А. Углероддепонизирующие насаждения Киотского протокола. Йошкар-Ола: Марийский государственный технологический университет, 2007. 184 с.
18. Лабутин А.Н., Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Эффективность лесных культур сосны и ели, созданных в Нижегородской области в рамках реализации проекта «Леса Киото» // Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Матер. XVIII Междунар. науч.-тех. конф.: Вологда, 1 декабря 2020 г. / отв. ред. С.М. Хамитова. Вологда: ВоГУ, 2020. С. 72–74.
19. Ляховенко О.И., Чулков Д.И. Основные экологические проблемы российских городов и стратегия

их разрешения // Русская политология - Russian political science. 2017. № 3 (4). С. 21–26.

20. Ньюмен А. Легкие нашей планеты. Москва: Мир, 1989. 335 с.

21. Оганян Т.А., Бессчетнов В.П. Эффективность черенкования видов из рода можжевельник в защищенном грунте // Актуальные проблемы лесного комплекса / Под общ. ред. Е.А. Памфилова. Сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф.: Брянск, 1–30 ноября 2020 г. Выпуск 58. Брянск: БГИТУ, 2020. С. 120–124.

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

23. Bishop B.H., Nelson S.H. Propagation and transplanting of saskatoon (*Amelanchier alnifolia* Nutt.) softwood cuttings // Canadian Journal of Plant Science. 1980. Vol. 15. Is 6. Pp. 1172–1176 DOI:10.4141/cjps80-129.

24. Block R.M.A., Knight J.D., Booth N.W.H., Van Rees K.C.J. Nursery stock type, nitrogen fertilization and shoot pruning effects on the growth of juvenile hybrid poplar in Saskatchewan. // Canadian Journal of Plant Science. 2009. Vol. 89. Is. 2. Pp. 289–301 DOI: 10.4141/CJPS08092.

25. Bloomberg W.J. Root formation of black cottonwood cuttings in relation to region of parent shoot // The Forestry Chronicle. 1959. Vol. 35. Is. 1. Pp. 13–18. DOI: 10.5558/tfc35013-1.

26. Brown R.P. Polymers in agriculture and horticulture // Rapra Review Reports. 2004. Vol. 15, Is. 2. Pp. 1–103. ISBN 1-85957-460-2.

27. Brown, C.S., Schuerger A.C., Sager J.C. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting-diodes with supplemental blue or far-red lighting. // Journal of the American Society for Horticultural Science. 1995. Vol. 120, Is. 5. Pp. 808–813. DOI: 10.21273/JASHS.120.5.808.

28. Chong C., Hamersma B., Bellamy K.L. Comparative rooting of deciduous landscape shrub cuttings in media amended with paper mill biosolids from four different sources // Canadian Journal of Plant Science. 1998. Vol. 78. Is 4. Pp 519–526 DOI: 10.4141/P97-111.

29. Corpuz O.S., Abas E.L., Adam Z.M. Root growth potentials of selected hardwood tree Species in the Philippines // Direct Research Journal of Agricultural and Food Science. 2013. Vol. 1, Is. 4. Pp. 48–51.

30. Dale A., Galić D. Repetitive vegetative propagation of first-year sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) cuttings. // Canadian Journal of Plant Science. 2018. Vol. 98. Is. 3. Pp 609–615 DOI:10.1139/cjps-2017-0039.

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

32. Di Filippo A., Alessandrini A., Biondi F., Blasi S., Portoghesi L., Piovesan G. Climate change and oak growth decline: Dendroecology and stand productivity of a Turkey oak (*Quercus cerris* L.) old stored coppice in Central Italy // Annals of Forest Science. 2010. Vol. 67,

Is. 7, Article Numb. 706. Pp. 1–14. DOI: 10.1051/forest/2010031.

33. Edser C. Light manipulating additives extend opportunities for agricultural plastic films // Plastics, Additives and Compounding. 2002. Vol. 4, Is. 3. Pp. 20–24. DOI: 10.1016/S1464-391X(02)80079-4.

34. Espi E., Salmeron A., Fontecha A., Real A.I. New Ultrathermic Films for Greenhouse Covers // Journal of Plastic Film & Sheeting. 2006. Vol. 22, Is. 1. Pp. 59–68. DOI: 10.1177/8756087906062764.

35. Espi E., Salmeron A., Fontecha A., Garcia Y., Real A.I. Plastic films for agricultural applications // Journal of Plastic Film and Sheeting. 2006. Vol. 22, Is. 2. Pp. 85–102. DOI:10.1177/8756087906064220/.

36. Franke A.K., Aatsinki P., Hallikainen V., Huhta E., Hyppönen M., Juntunen V., Mikkola K., Neuvonen S., Rautio P. Quantifying changes of the coniferous forest line in Finnish Lapland during 1983–2009 // Silva Fennica. 2015. Vol. 49. Is 4, article id 1408. Pp. 1–18. DOI: 10.14214/sf.1408.

37. Garcia-Alonso Y., Espi E., Salmeron A., Fontecha A., Gonzalez A. Viral Diseases Control with UV-Blocking Films in Greenhouses of Southern Spain // ISHS Acta Horticulturae 659. VII International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Production, Pest Management and Global Competition: Kissimmee, Florida, USA, 25 November 2004. Acta Horticulturae (ISHS). 2004. Vol. 659. Pp. 331–338. DOI: 10.17660/ActaHortic.2004.659.43.

38. Gimmi U., Wohlgemuth T., Rigling A., Hoffmann C.W., Bürgi M. Land-use and climate change effects in forest compositional trajectories in a dry Central-Alpine valley // Annals of Forest Science. 1994. Vol. 51, Is. 6. Pp. 529–551. DOI: 10.1051/forest:19940601.

39. González Benavente-García A., Rodríguez R., Bañón S., Franco J.A., Fernández J.A. The influence of photoselective plastic films as greenhouse cover on sweet pepper yield and on insect pest levels // ISHS Acta Horticulturae 559. V International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Current Trends for Sustainable Technologies: Cartagena, Spain, 18 October 2001. Acta Horticulturae (ISHS). 2001. Vol. 559. Pp. 233–238. DOI:10.17660/ActaHortic.2001.559.34.

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

41. Harmer R. Production and Use of Epicormic Shoots for the Vegetative Propagation of Mature Oak // Forestry. An International Journal of Forest Research. 1988. Vol. 61, Is. 4. Pp. 305–316 DOI:10.1093/forestry/61.4.305-a.

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

43. Khranov R., Martynova N., Besschetnova N., Besschetnov V., Luponosov Y. The effectiveness of agro-textile cover with organic photoluminophore in rooting cuttings of Hungarian lilac (*Syringa josikaea* J. Jacq. ex

Rchb.) // BIO Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference "Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy" (SDGE 2021). Section Agrobiotechnology in Crop and Livestock Production. 2022. Vol. 42. Article Number 01017. Is. 7. Pp. 01017.1–01017.7. DOI: 10.1051/bioconf/20224201017.

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

45. López-Villamor A., Míguez-Soto B., Fernández-López J. Adventitious root formation in Castanea sp. semi-hard cuttings is under moderate genetic control caused mainly by non-additive genetic variance // Canadian Journal of Forest Research. 2017. Vol. 47, Is. 7. Pp. 946–956. DOI:10.1139/cjfr-2016-0397.

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

47. Mason R.L., Gunst R. F., Hess J.L. Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science. 2nd. Edition. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2003. 752 p.

48. Max J.F.J., Schurr U., Tantau H.-J., Mutwiwa U.N., Hofmann T., Ulbrich A. Greenhouse Cover Technology // Horticultural Reviews. 2012. Vol. 40, (Horticultural Reviews; Book 108). Pp. 259–396. ISBN 978-1-118-34583-2.

49. Mead R., Curnow R. N., Hasted A.M. Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology. 3rd ed. New York: Chapman and Hall/CRC, 2003. 488 p.

50. Moon H.K., Yi J.S. Cutting propagation of Quercus acutissima clones after rejuvenation through serial grafting // Annals of Forest Science. 1993. Vol. 50, Nu. Supplement. Pp. 314–318. DOI:10.1051/forest:19930732M

51. Noll F., Lyons C.K. A novel method for manually falling trees // The Forestry Chronicle. 2010. Vol. 86, Is. 5. Pp. 608–613. DOI: 10.5558/tfc86608-5.

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

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

54. Panetsos K., Scaltsoyiannes A., Alizoti P. Effect of genotype and cutting type on the vegetative propagation of the pine hybrid (*Pinus brutia* (Ten) × *Pinus hale-*

pensis (Mill)) // Annals of Forest Science. 1994. Vol. 51, Is. 5. Pp. 447–454. DOI: 10.1051/forest:19940502.

55. Scarratt J.B. Greenhouse Managers: Beware Combustion Fumes in Container Greenhouses // The Forestry Chronicle. 1985. Vol. 61. Is. 4. Pp. 308–311. DOI: 10.5558/tfc61308-4.

56. Sedaghatthoor S., Kayghobadi S., Tajvar Y. Rooting of Mugo pine (*Pinus mugo*) cuttings as affected by IBA, NAA and planting substrate // Forest Systems. 2016. Vol. 25, Is. 2, eSC08. Pp. 1–4. DOI:10.5424/fs/2016252-09087.

57. Wael M., Semida P., Hadley W., Sobeih N. El-Sawah A., Barakat M.A.S. The Influence of Thermic Plastic Films on Vegetative and Reproductive Growth of Iceberg Lettuce 'Dublin' // International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering. 2013. Vol. 7, Is. 7. Pp. 661–616.

58. Smith N.G., Wareing P.F. The Effect of Gravity on Root Emergence from Cuttings of Some Tree Species // Forestry. An International Journal of Forest Research. 1971. Vol. 44, Is. 2. Pp. 177–187 DOI:10.1093/forestry/44.2.177.

59. Smith N.G., Wareing P.F. The Distribution of Latent Root Primordia in stems of *Populus×robusta*, and factors affecting the Emergence of Preformed Roots from Cuttings // Forestry: An International Journal of Forest Research. 1972. Vol. 45, Is. 2. Pp. 197–209 DOI:10.1093/forestry/45.2.197.

60. Spethmann W., Harms P. Influence of fertilized substrate on rooting and growth of oak cuttings // Annals of Forest Science. 1993. Vol. 50, Nu Supplement. Pp. 308–313. DOI:10.1051/forest:19930731.

61. Tousignant D., Richer C., Rioux J.-A., Brassard N., Mottard J.-P. Vegetative propagation of sugar maple: Relating stem water content and terminal bud developmental stage to adventitious rooting of stem cuttings // Canadian Journal of Plant Science. 2003. Vol. 83, Is. 4. Pp. 859–867. DOI:10.4141/P02-178.

62. Wise F.C., Blazich F.A., Hinesley L.E. Propagation of *Abies fraseri* by softwood stem cuttings // Canadian Journal of Forest Research. 1985. Vol. 15, Is. 6. Pp. 1172–1176. DOI: 10.1139/x85-190.

63. Wiese A.H., Zalesny J.A., Donner D.M., Zalesny R.S. Bud Removal Affects Shoot, Root, and Callus Development of Hardwood Populus Cuttings // Silvae Genetica. 2006. Vol. 55, Is. 3. Pp. 141–148. DOI: 10.1515/sg-2006-0020.

64. Yang G., Li X., Xu Q., Ling J., Yin T. Effects of cutting size on the growth and wood property traits of short-rotation coppice willows // Canadian Journal of Forest Research. 2020. Vol. 50, Is. 12. Pp. 1365–1372. DOI: 10.1139/cjfr-2020-0113.

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

REFERENCES

1. Besschetnov V.P., Kentbaev E.ZH. Opyt zelenogo cherenkovaniya oblepihi krushinovidnoj v usloviyah yugo-vostoka Kazakhstana // *Izvestiya Vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2018. № 4. Pp. 56–62. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.56. (In Russ.)

2. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Esichev A.O. Ocenka fiziologicheskogo sostoyaniya predstavitelej roda listvennitsa (*Larix Mill.*) v usloviyah Nizhegorodskoj oblasti // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2018. № 1. Pp. 9–17. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.9. (In Russ.)

3. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Izmenchivost' morfometricheskikh priznakov hvoi na klonovoj plantacii plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy (*Pinus sylvestris L.*) // *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*. 2017. Tom 21, № 2. Pp. 198–206. DOI: 10.18699/VJ17.237. (In Russ.)

4. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Vyshegorodcev A.V., Shirokov A.I. Pigmentnyj sostav hvoi tisa pri introdukcii v Nizhegorodskoj oblasti // *Effektivnyj otvet na sovremennye vyzovy s uchedom vzaimodejstviya cheloveka i prirody, cheloveka i tekhnologii: social'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo kompleksa. Materialy XIII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*: g. Ekaterinburg, 02-04 fevralya 2021 g. Ekaterinburg: Ural'skij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet, 2021. Pp. 55–59. (In Russ.)

5. Besschetnova N.N., Kul'kova A.V., Vyshegorodcev A.V., Shirokov A.I. Ukorenyaemost' cherenkov tisa kanadskogo (*Taxus canadensis Marshall*) v ekologicheskikh usloviyah Nizhegorodskogo Povolzh'ya // *Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo hozyajstva. Lesnoe hozyajstvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*: Nizhnij Novgorod, 26 sentyabrya 2019 g. / pod obshchej redakciej Besschetnovoj N.N. Nizhnij Novgorod: Nizhegorodskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2019. Pp. 139–145. (In Russ.)

6. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Ershov P.V. Genotipicheskaya obuslovlennost' pigmentnogo sostava hvoi plyusovykh derev'ev eli evropejskoj // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2019. № 1. Pp. 63–76. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.63. (In Russ.)

7. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kul'kova, A.V. Mishukova I.V. Soderzhanie krahmala v tkanyah pobegov raznykh vidov eli (*Picea A. Dietr.*) v usloviyah introdukcii // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2017. № 4. Pp. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57. (In Russ.)

8. Vyshegorodcev A.V. Soderzhanie zhirov v tkanyah pobegov tisa kanadskogo pri introdukcii v nizhegorodskuyu oblast' // *Rol' agrarnoj nauki v razvitii lesnogo i sel'skogo hozyajstva Dal'nego vostoka. Materialy V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*: g. Ussurijsk, 06-07 dekabrya 2021 g. V 3-h chastyah, Chast' 1 / Otvetstvennyj redaktor I.I. Borodin. Ussurijsk: Primorskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademii, 2021. Pp. 19–28. (In Russ.)

9. Vyshegorodcev A.V. Soderzhanie krahmala v pobegakh tisa kanadskogo pri introdukcii v Nizhegorodskuyu oblast' // *Vestnik Nizhegorodskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*. 2021. № 4 (32). Pp. 14–26. (In Russ.)

10. Isaev A.S., Korovin G.N., Suhij V.I., Titov S.P., Utkin A.I., Golub A.A., Zamolodchikov D.G., Pryazh-

nikov A.A.. *Ekologicheskie problemy pogloshcheniya uglekislogo gaza posredstvom lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya v Rossii*. Moskva: Centr ekologicheskoy politiki Rossii, 1995. 156 p. (In Russ.)

11. Kommoner B. *Zamykayushchijsya krug: Priroda, chelovek, tekhnologiya*. Leningrad : Gidrometeoizdat, 1974. 279 p. (In Russ.)

12. Kotynova M.Yu., Besschetnov V.P., Regeneracionnaya sposobnost' predstavitelej roda tuya pri ukorenении cherenkov v teplicah // *Sovremennoe lesnoe hozyajstvo – problemy i perspektivy. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 50-letiyu “VNIILGISbiotekh”*: g. Voronezh, 3–4 dekabrya 2020 g. Voronezh : Istoki. 2020. Pp. 40–43. (In Russ.)

13. Kotynova M.Yu., Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. Ukorenenie cherenkov dekorativnykh form tui zapadnoj (*Thuja occidentalis L.*) v teplicah // *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: Materialy XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*: g. Vologda, 1 dekabrya 2020 g. / Otvetstvennyj redaktor S.M. Hamitova. Vologda : Vologodskij gosudarstvennyj universitet. 2020. Pp. 147–149. (In Russ.)

14. Kulagin Yu.Z. *Drevesnye rasteniya i promyshlennaya sreda*. Moskva : Nauka, 1974. 125 p. (In Russ.)

15. Kul'kova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Mnogoparametricheskij analiz v ocenke vidospecifichnosti predstavitelej roda el' (*Picea*) // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2018. № 6. Pp. 23–38. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.23. (In Russ.)

16. Kul'kova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Primenenie stimuliruyushchej obrabotki v ukorenении cherenkov eli *Konika* // *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2020. Vyp. 232. Pp. 79–91. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.79-91. (In Russ.)

17. Kurbanov E.A. *Uglerododeponiruyushchie nasazhdeniya Kiotskogo protokola*. Jashkar-Ola: Marijskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet, 2007. 184 p. (In Russ.)

18. Labutin A.N., Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. Effektivnost' lesnykh kul'tur sosny i eli, sozdannykh v Nizhegorodskoj oblasti v ramkakh realizacii proekta “Les Kito” // *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa. Materialy XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*: Vologda, 1 dekabrya 2020 g. / Otvetstvennyj redaktor S.M. Hamitova. Vologda : Vologodskij gosudarstvennyj universitet, 2020. Pp. 72–74. (In Russ.)

19. Lyahovenko O.I., Chulkov D.I. Osnovnye ekologicheskie problemy rossijskikh gorodov i strategiya ih razresheniya // *Russkaya politologiya – Russian political science*. 2017. № 3 (4). Pp. 21–26. (In Russ.)

20. N'yumen A. *Legkie nashej planety*. Moskva: Mir, 1989. 335 p. (In Russ.)

21. Oganyan T.A., Besschetnov V.P. Effektivnost' cherenkovaniya vidov iz roda *mozhzhevel'nik* v zashchishchenom grunte // *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa / Pod obshchej redakciej E.A. Pamfilova. Sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*: Bryansk, 1–30 noyabrya 2020 g. Vypusk 58. Bryansk: BGITU, 2020. Pp. 120–124. (In Russ.)

22. Ulitin M.M., Besschetnov V.P. Sravnitel'naya ocenka taksacionnyh pokazatelej lesnyh kul'tur listvennicy sibirskoj (*Larix sibirica*) pri introdukcii v Nizhegorodskoj oblasti // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2020. № 6. Pp. 33–41. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-33-41. (In Russ.)
23. Bishop B.H., Nelson S.H. Propagation and transplanting of saskatoon (*Amelanchier alnifolia* Nutt.) softwood cuttings // *Canadian Journal of Plant Science*. 1980. Vol. 15. Is 6. Pp. 1172–1176 DOI:10.4141/cjps80-129.
24. Block R.M.A., Knight J.D., Booth N.W.H., Van Rees K.C.J. Nursery stock type, nitrogen fertilization and shoot pruning effects on the growth of juvenile hybrid poplar in Saskatchewan. // *Canadian Journal of Plant Science*. 2009. Vol. 89. Is. 2. Pp. 289–301 DOI: 10.4141/CJPS08092.
25. Bloomberg W.J. Root formation of black cottonwood cuttings in relation to region of parent shoot // *The Forestry Chronicle*. 1959. Vol. 35. Is. 1. Pp. 13–18 DOI: 10.5558/tfc35013-1.
26. Brown R.P. Polymers in agriculture and horticulture // *Rapra Review Reports*. 2004. Vol. 15, Is. 2. Pp. 1–103. ISBN 1-85957-460-2.
27. Brown, C.S., Schuerger A.C., Sager J.C. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting-diodes with supplemental blue or far-red lighting. // *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1995. Vol. 120, Is. 5. Pp. 808–813. DOI: 10.21273/JASHS.120.5.808.
28. Chong C., Hamersma B., Bellamy K.L. Comparative rooting of deciduous landscape shrub cuttings in media amended with paper mill biosolids from four different sources // *Canadian Journal of Plant Science*. 1998. Vol. 78. Is 4. Pp 519–526 DOI: 10.4141/P97-111.
29. Corpuz O.S., Abas E.L., Adam Z.M. Root growth potentials of selected hardwood tree Species in the Philippines // *Direct Research Journal of Agricultural and Food Science*. 2013. Vol. 1, Is. 4. Pp. 48–51.
30. Dale A., Galić D. Repetitive vegetative propagation of first-year sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) cuttings. // *Canadian Journal of Plant Science*. 2018. Vol. 98. Is 3. Pp 609–615 DOI:10.1139/cjps-2017-0039.
31. Dean A., Voss D., Draguljić D. Design and Analysis of Experiments (Springer Texts in Statistics) 2nd Edit., Kindle Edition. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag GmbH, 2017. 865 p.
32. Di Filippo A., Alessandrini A., Biondi F., Blasi S., Portoghesi L., Piovesan G. Climate change and oak growth decline: Dendroecology and stand productivity of a Turkey oak (*Quercus cerris* L.) old stored coppice in Central Italy // *Annals of Forest Science*. 2010. Vol. 67, Is. 7, Article Numb. 706. Pp. 1–14. DOI: 10.1051/forest/2010031.
33. Edser C. Light manipulating additives extend opportunities for agricultural plastic films // *Plastics, Additives and Compounding*. 2002. Vol. 4, Is. 3. Pp. 20–24. DOI: 10.1016/S1464-391X(02)80079-4.
34. Espi E., Salmeron A., Fontecha A., Real A.I. New Ultrathermic Films for Greenhouse Covers // *Journal of Plastic Film & Sheeting*. 2006. Vol. 22, Is. 1. Pp. 59–68. DOI: 10.1177/8756087906062764.
35. Espi E., Salmeron A., Fontecha A., Garcia Y., Real A.I. Plastic films for agricultural applications // *Journal of Plastic Film and Sheeting*. 2006. Vol. 22, Is. 2. Pp. 85–102. DOI:10.1177/8756087906064220/.
36. Franke A.K., Aatsinki P., Hallikainen V., Huhta E., Hyppönen M., Juntunen V., Mikkola K., Neuvonen S., Rautio P. Quantifying changes of the coniferous forest line in Finnish Lapland during 1983–2009 // *Silva Fennica*. 2015. Vol. 49. Is 4, article id 1408. Pp. 1–18. DOI: 10.14214/sf.1408.
37. Garcia-Alonso Y., Espi E., Salmeron A., Fontecha A., Gonzalez A. Viral Diseases Control with UV-Blocking Films in Greenhouses of Southern Spain // *ISHS Acta Horticulturae* 659. VII International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Production, Pest Management and Global Competition: Kissimmee, Florida, USA, 25 November 2004. Acta Horticulturae (ISHS). 2004. Vol. 659. Pp. 331–338. DOI: 10.17660/ActaHortic.2004.659.43.
38. Gimmi U., Wohlgemuth T., Rigling A., Hoffmann C.W., Bürgi M. Land-use and climate change effects in forest compositional trajectories in a dry Central-Alpine valley // *Annals of Forest Science*. 1994. Vol. 51, Is. 6. Pp. 529–551. DOI: 10.1051/forest:19940601.
39. González Benavente-García A., Rodríguez R., Bañón S., Franco J.A., Fernández J.A. The influence of photoselective plastic films as greenhouse cover on sweet pepper yield and on insect pest levels // *ISHS Acta Horticulturae* 559. V International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Current Trends for Sustainable Technologies: Cartagena, Spain, 18 October 2001. Acta Horticulturae (ISHS). 2001. Vol. 559. Pp. 233–238. DOI:10.17660/ActaHortic.2001.559.34.
40. H. Hager, R. Haslinger, H. Schume. Productivity and LAI of floodplain forest sites in relationships to water supply // *Ecology (Bratislava). Journal for ecological problem of the biosphere*. 1999. Vol. 18, Supplement 1/1999. Pp. 5–14.
41. Harmer R. Production and Use of Epicormic Shoots for the Vegetative Propagation of Mature Oak // *Forestry. An International Journal of Forest Research*. 1988. Vol. 61, Is. 4. Pp. 305–316 DOI:10.1093/forestry/61.4.305-a.
42. Hinkelmann K., Kempthorne O. Design and Analysis of Experiments, Volume 1: Introduction to Experimental. 2nd edition. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2008. 631 p.
43. Khramov R., Martynova N., Besschetnova N., Besschetnov V., Luponosov Y. The effectiveness of agro-textile cover with organic photoluminophore in rooting cuttings of Hungarian lilac (*Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rchb.) // BIO Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference “Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy” (SDGE 2021). Section Agrobiotechnology in Crop and Livestock Production. 2022. Vol. 42. Article Number 01017. Is. 7. Pp. 01017.1–01017.7. DOI: 10.1051/bioconf/20224201017.
44. Kul'kova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kentbaev Y.Zh., Kentbaeva B.A. Growth of Schrenk's Spruce (*Picea schrenkiana*) Seedlings Related

to the Pre-Sowing Stimulating Seed Treatment // *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*. 2022. № 4. Pp. 39–51. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-39-51.

45. López-Villamor A., Míguez-Soto B., Fernández-López J. Adventitious root formation in *Castanea* sp. semi-hard cuttings is under moderate genetic control caused mainly by non-additive genetic variance // *Canadian Journal of Forest Research*. 2017. Vol. 47, Is. 7. Pp. 946–956. DOI:10.1139/cjfr-2016-0397.

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

47. Mason R.L., Gunst R. F., Hess J.L. Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science. 2nd. Edition. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2003. 752 p.

48. Max J.F.J., Schurr U., Tantau H.-J., Mutwiwa U.N., Hofmann T., Ulbrich A. Greenhouse Cover Technology // *Horticultural Reviews*. 2012. Vol. 40, (Horticultural Reviews; Book 108). Pp. 259–396. ISBN 978-1-118-34583-2.

49. Mead R., Curnow R. N., Hasted A.M. Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology. 3rd ed. New York: Chapman and Hall/CRC, 2003. 488 p.

50. Moon H.K., Yi J.S. Cutting propagation of *Quercus acutissima* clones after rejuvenation through serial grafting // *Annals of Forest Science*. 1993. Vol. 50, Nu. Supplement. Pp. 314–318. DOI: 10.1051/forest:19930732m.

51. Noll F., Lyons C.K. A novel method for manually falling trees // *The Forestry Chronicle*. 2010. Vol. 86, Is. 5. Pp. 608–613. DOI: 10.5558/tfc86608-5.

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

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

54. Panetsos K., Scaltsoyiannes A., Alizoti P. Effect of genotype and cutting type on the vegetative propagation of the pine hybrid (*Pinus brutia* (Ten) × *Pinus halepensis* (Mill)) // *Annals of Forest Science*. 1994. Vol. 51, Is. 5. Pp 447–454. DOI: 10.1051/forest:19940502.

55. Scarratt J.B. Greenhouse Managers: Beware Combustion Fumes in Container Greenhouses // *The For-*

estry Chronicle. 1985. Vol. 61. Is 4. Pp. 308–311. DOI: 10.5558/tfc61308-4.

56. Sedaghathoor S., Kayghobadi S., Tajvar Y. Rooting of Mugo pine (*Pinus mugo*) cuttings as affected by IBA, NAA and planting substrate // *Forest Systems*. 2016. Vol. 25, Is. 2, eSC08. Pp. 1–4. DOI:10.5424/fs/2016252-09087.

57. Wael M., Semida P., Hadley W., Sobeih N. El-Sawah A., Barakat M.A.S. The Influence of Thermic Plastic Films on Vegetative and Reproductive Growth of Iceberg Lettuce ‘Dublin’ // *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*. 2013. Vol. 7, Is. 7. Pp. 661–616.

58. Smith N.G., Wareing P.F. The Effect of Gravity on Root Emergence from Cuttings of Some Tree Species // *Forestry. An International Journal of Forest Research*. 1971. Vol. 44, Is. 2. Pp. 177–187. DOI:10.1093/forestry/44.2.177.

59. Smith N.G., Wareing P.F. The Distribution of Latent Root Primordia in stems of *Populus×robusta*, and factors affecting the Emergence of Preformed Roots from Cuttings // *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 1972. Vol. 45, Is. 2. Pp. 197–209 DOI:10.1093/forestry/45.2.197.

60. Spethmann W., Harms P. Influence of fertilized substrate on rooting and growth of oak cuttings // *Annals of Forest Science*. 1993. Vol. 50, Nu Supplement. Pp. 308–313. DOI:10.1051/forest:19930731.

61. Tousignant D., Richer C., Rioux J.-A., Brassard N., Mottard J.-P. Vegetative propagation of sugar maple: Relating stem water content and terminal bud developmental stage to adventitious rooting of stem cuttings // *Canadian Journal of Plant Science*. 2003. Vol. 83, Is. 4. Pp. 859–867. DOI:10.4141/P02-178.

62. Wise F.C., Blazich F.A., Hinesley L.E. Propagation of *Abies fraseri* by softwood stem cuttings // *Canadian Journal of Forest Research*. 1985. Vol. 15, Is. 6. Pp. 1172–1176. DOI: 10.1139/x85-190.

63. Wiese A.H., Zalesny J.A., Donner D.M., Zalesny R.S. Bud Removal Affects Shoot, Root, and Callus Development of Hardwood *Populus* Cuttings // *Silvae Genetica*. 2006. Vol. 55, Is. 3. Pp. 141–148 DOI: 10.1515/sg-2006-0020.

64. Yang G., Li X., Xu Q., Ling J., Yin T. Effects of cutting size on the growth and wood property traits of short-rotation coppice willows // *Canadian Journal of Forest Research*. 2020. Vol. 50, Is. 12. Pp. 1365–1372. DOI: 10.1139/cjfr-2020-0113.

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

© Вышегородцев А. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Широков А. И., 2023

Поступила в редакцию 18.08.2022

Принята к печати 04.04.2023

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ МОЛОДНЯКОВ, СФОРМИРОВАВШИХСЯ НА УЧАСТКАХ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР

О. И. Гаврилова¹, А. В. Грязькин², К. А. Пак¹, Лубинь Го², Тун Чэн²

¹Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ)
Российская Федерация, Республика Карелия, г. Петрозаводск, просп. Ленина, 33
E-mail ogavril@mail.ru

²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Институтский переулок, 5, корп. 1

Исследование особенностей структуры молодняков, сформировавшихся на участках лесных культур сосны, проведено спустя 8–10 лет после их создания. Учет и оценка структуры молодняков производились выборочно-статистическим методом. Все характеристики сформировавшихся фитоценозов определялись на круговых учетных площадках площадью 10 м². Для лесных культур сосны устанавливали численность, высоту, текущий прирост за 3 года. Для других пород, входящих в состав молодняков, были определены численность и высота. Кроме этого, на каждой учетной площадке учитывали подлесок и живой напочвенный покров. Для подлеска определяли видовой состав, высоту и численность, а для живого напочвенного покрова – видовой состав, встречаемость и проективное покрытие. Установлено, что приживаемость и сохранность культур сосны, созданных посадочным материалом с открытой корневой системой, оказались выше по сравнению с культурами, созданными из посадочного материала с закрытой корневой системой. Все таксационные характеристики молодняков на опытных участках различаются. Общая численность достигает 6 тыс. экз./га. Наиболее выражена дифференциация по высоте. Максимальная высота – у лесных культур сосны. Средние значения на участках изменяются от 1,77 до 3,54 м. Средняя высота березы на лесокультурных участках составляет 2,41–3,07 м. Кроме сосны и березы, в состав молодняков входят ель, осина и сосна естественного возобновления. Общая численность этих лесобразующих пород не превышает 350 экз./га. Исключение составляет подрост сосны, численность которого достигает около 1 тыс./га. На лесокультурных участках восстанавливается подлесок. В составе живого напочвенного покрова встречается до 26 видов, преобладают 3–4 вида: брусника, вереск и лишайники. Почвы на участках лесных культур – супесчаные дерново-подзолистые.

Ключевые слова: лесные культуры, сосна, естественное возобновление, смешанные молодняки, ход роста.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 2, P. 133–138

PECULIARITIES OF THE STRUCTURE OF YOUNG STANDS FORMED ON FOREST PLANTATION PLOTS

O. I. Gavrilova¹, A. V. Gryaskin², K. A. Pak¹, Lubin Go², Tun Then²

¹Petrozavodsk State University (PetrSU)
33, Lenin av., Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russian Federation
E-mail ogavril@mail.ru

²St. Petersburg State Forest Engineering University
5, build. 1, Institutskiy Pereulok, Saint Petersburg, Russian Federation

The study of the structural peculiarities of young stands formed on the forest plantations of pine was carried out 8–10 years after their creation. Accounting and evaluation of the structure of young stands were carried out by a selective statistical method. All the characteristics of the formed phytocenoses were determined on circular discount area of 10 m². For pine forest crops, the number, height, and current growth for 3 years were established. For other species that make up the young plantations, the number and height were determined. In addition, undergrowth and living ground cover were taken into account at each discount area. Species composition, height and abundance were determined for the undergrowth, and species composition, occurrence and projective coverage were determined for the living ground cover. It was found that the survival and preservation of pine crops created by planting material with an open root system were higher compared to crops created from planting material with a closed root system. All the taxation characteristics of young stands in the experimental areas differ. The total number reaches 6 thousand pieces/ha. The differentiation in height is the most clear. The pine forest culture has the maximum height. The average values on the areas vary from 1.77 to 3.54 m. The average height of the birch tree in the forest-cultivated areas is 2.41–3.07 m. In addition to pine and birch, the young stands include spruce, aspen and pine of natural renewal. The total number of

these forest-forming species does not exceed 350 pieces/ha. The exception is the undergrowth of pine, the number of which reaches about 1 thousand pieces/ha. Undergrowth is being restored on forest-cultivated areas. Up to 26 species are found in the living ground cover, while 3-4 species predominate: cowberry, heather and lichens. The soils on the areas of forest crops are sandy loam sod-podzolic.

Keywords: forest crops, pine, natural regeneration, mixed young stands, growth course.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии со Стратегией развития лесного комплекса до 2030 года (утв. Распоряжением Правительства РФ № 312-р от 11 февраля 2021 г.), лесовосстановление является одной из основных стратегических задач лесной отрасли страны. Предполагается значительное увеличение доли искусственных лесов за счет внедрения интенсивных технологий лесовыращивания, в том числе перспективных видов посадочного материала из качественных семян известного происхождения [1; 3; 6]. Необходимым условием интенсификации лесовосстановительных работ является исследование существующих насаждений искусственного происхождения и особенностей их роста и развития [5; 11]. Часто лесные культуры остаются продуктом незавершенного производства. В этой связи следует особое внимание уделять анализу причин неудовлетворительного состояния искусственных лесов, по которым они не всегда достигают запланированных показателей [7; 8]. Значительная доля участков лесных культур не переводится в покрытую лесом площадь из-за несоответствия установленным нормативам. Нередки случаи повторного создания культур на тех же участках. На площадях лесных культур в абсолютном большинстве случаев формируются молодняки смешанного состава [4; 9; 10]. Из-за этого возникают затруднения при таксации подобных молодняков, когда происходит смена преобладающей породы и изменение других характеристик, таких, как возраст, численность, высота и т.д.

Согласно действующих Правил лесовосстановления, (введены в действие с 01.01.2020 г.), в период с 01.01.2022 г. по 01.01.2025 г. не менее 20 % площадей искусственного и комбинированного лесовосстановления будет создаваться с использованием посадочного материала с закрытой корневой системой. Впоследствии это соотношение будет увеличивается, и составит 30 % – до 2030 года и 45 % – в последующие годы. Многие публикации свидетельствуют о перспективности создания культур сеянцами с закрытой корневой системой, которые имеют более высокую приживаемость, более длинный период посадки и множество других преимуществ [1; 7; 12].

Целью работы является оценка структурных особенностей молодняков на участках лесных культур сосны, а также сравнение биометрических характеристик растений искусственного (посадочный материал с открытой корневой системой и закрытой корневой системой), и естественного происхождения (подрост последующего и предварительного возобновления).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследований послужили участки лесных культур сосны обыкновенной – *Pinus sylvestris* L., которые были созданы на вырубках (после сплошных

рубок сосняков брусничных, проведенных ЗАО «Шуялес»). Эти объекты – арендованные территории, по договору аренды № 97-а, относятся к Пряжинскому центральному лесничеству, Сямозерскому участковому лесничеству, находящиеся к южной части республики Карелия. Обработка почвы была проведена осенью или весной в год посадки форвардером «John Deere» в агрегате с плугом «TTS-20», глубина обработки почвы 10–15 см. Ширина борозд – 0,6 м, а расстояние между ними – 3,0 м. Лесные культуры сосны с открытой корневой системой созданы посадочным материалом двухлетнего возраста из полей лесного питомника «Вилга», а с закрытой – однолетнего, тепличного выращивания. Размер кома сеянца с закрытой корневой системой составляет 72 см³ (3×3×8 см). Культуры созданы вручную под меч Колесова и под посадочную трубу. На момент исследования возраст лесных культур составил 8 и 10 лет. На трех участках культуры созданы осенью (объекты 2, 4, 6 – все в возрасте 8 лет, посадочный материал с закрытой корневой системой), а на других – весной (объекты 1, 3, 5 – все в возрасте 10 лет, с открытой корневой системой). На всех опытных участках были определены следующие характеристики молодняков: численность по породам, распределение по группам высот и жизненному состоянию (по виталитету).

Кроме исследования молодняков, оценивали состояние подлеска и живого напочвенного покрова. Для подлесочных пород устанавливали вид, высоту и численность. Для живого напочвенного покрова определяли видовой состав, проективное покрытие и встречаемость. На каждом участке лесных культур определяли морфологические характеристики почвы не менее, чем на трех почвенных прикопках.

Характеристики всех выделенных компонентов леса определяли с использованием выборочно-статистического метода. С этой целью на каждом опытном объекте закладывали не менее 30 круговых учетных площадок по 10 м² (в соответствии с патентом № 2084129).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общая характеристика опытных объектов представлена в табл. 1. На территории Сямозерского участкового лесничества (по лесоустройству – Сямозерское) в квартале 86 выделах 10, 14, квартале 87 выделах 7, 10, 14 и квартале 88 выдел 4 были заложены пробные площади с целью исследования роста лесных культур и естественного возобновления. Лесные культуры из посадочного материала с открытой корневой системой (ОК) были созданы на участках большой площади – от 10 до 14 га, а из посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗК) – от 2 до 4 га.

Густота созданных культур с открытой корневой системой – 4200 экз./га, а с закрытой – 3300. К момен-

ту инвентаризации густота снизилась на 600–900 посадочных мест.

Общий вид лесных культур на опытном участке № 1 представлен на рис. 1.

Как видно на рис. 1, даже на сравнительно бедных почвах происходит дифференциация культур по высоте. Преобладают растения, высота которых превышает 2,5 м. Установлено, что размах варьирования высот на данном участке составляет от 1,1 до 3,4 м. Из 4200 растений зк сохранилось около 2200 экземпляров (сохранность на момент обследования составила 55 %). Структура лесных культур по виталитету выглядит следующим образом: жизнеспособных 70 %, нежизнеспособных 21 %, усохших 9 %. Основная часть сухостоя (из 45 % выпавших из состава культур растений) не сохранилась.

На всех исследуемых участках в составе лесных культур имеется примесь и других пород. В целом на участках лесных культур, примесь других лесобразующих пород представлена разным соотношением. В составе молодняков береза занимает до 50, а осина и ель представлены единично.



Рис. 1. Лесные культуры на пробной площади № 1

За 8–10-летний период после создания лесных культур на этих участках сформировались смешанные молодняки. Таксационная характеристика молодняков, сформировавшихся на участках лесных культур, представлена в табл. 2.

Таблица 1
Основные характеристики объектов исследования

Показатели	Номер участка исследования					
	1 ОК	2 ЗК	3 ОК	4 ЗК	5 ОК	6 ЗК
Квартал, выдел	86-10	86-14	87-7	87-10	87-14	88-4
Площадь, га	13,1	3,6	14,6	2,3	10,1	4,1
Возраст культур, лет	10	8	10	8	10	8
Сезон посадки	Весна 2011	Осень 2013	Весна 2011	Осень 2013	Весна 2011	Осень 2013
Биологический возраст культур, лет	12	9	12	9	12	9
Густота посадки, экз./га	4200	3300	4200	3300	4200	3300
Год инвентаризации культур	2011	2014	2011	2014	2011	2014
Густота культур при инвентаризации, экз./га	3286	2764	3211	2640	3295	2725
Густота культур сосны на момент обследования, экз./га	3110	1840	2870	1680	3150	1710

Таблица 2
Таксационная характеристика молодняков на опытных участках

Показатели	Номер участка исследования					
	1 ОК	2 ЗК	3 ОК	4 ЗК	5 ОК	6 ЗК
Квартал, выдел	86-10	86-14	87-7	87-10	87-14	88-4
Биологический возраст культур, лет	12	9	12	8	12	8
Средняя высота, м	2,91±0,05	1,77±0,02	2,79±0,03	1,93±0,03	3,54±0,02	2,00±0,02
Текущий прирост 2020 года, см	43,67±0,9	35,97±0,66	32,75±0,46	34,95±0,58	53,8±0,66	36,2±0,55
Текущий прирост 2019 года, см	41,87±0,9	33,15±0,64	31,45±0,48	35,65±0,54	49,85±0,65	36,4±0,63
Текущий прирост 2018 года, см	34,87±0,9	27,30±0,57	27,80±0,49	32,4±0,56	45,0±0,86	32,5±0,51
Состав молодняка, %	55C _{культ} 42БЗЕ	50C _{культ} 48Б 2Е	49C _{культ} 21C _{ест} 19Б 7Е4Ос	49C _{культ} 48Б 3Е	62C _{культ} 12C _{ест} 24Б 2Е	41C _{культ} 22C _{ест} 35Б 2Е
Общая густота молодняка, экз./га	5650	3700	5370	3400	5240	4200
Сохранность культур сосны на момент обследования, %	55	50	53	49	60	41

Из материалов, представленных в табл. 2, видно, что приживаемость лесных культур, созданных с открытой корневой системой, на 22–28 % выше, чем с закрытой корневой системой. Это можно объяснить использованием нестандартного посадочного материала с закрытой корневой системой (высота менее 10 см) и тем, что посадка осуществлялась после окончания вегетационного периода, осенью. Сохранность, как и приживаемость лесных культур, созданных посадочным материалом с открытой корневой системой, в целом оказались выше, чем с закрытой. В итоге, средний периодический прирост за последние 3 года у лесных культур, созданных сеянцами с ОК, оказался выше по сравнению с лесными культурами, созданными сеянцами с ЗК, соответственно 40 и 34 см/год. Частично эти различия можно объяснить разным биологическим возрастом лесных культур, который составляет 9 лет (ЗК) и 12 лет (ОК).

Если сравнивать прирост по годам, соответствующим одинаковому возрасту лесных культур, то эти различия проявляются в пользу лесных культур, созданных посадочным материалом с открытой корневой системой. Например, на опытном объекте № 5 (биологический возраст культур 12 лет – ОК) прирост за последние 3 года (2020, 2019, 2018 годы) составил соответственно 54, 50, 45 см/год. Прирост лесных культур на объекте № 2 (биологический возраст 9 лет, ЗК) за эти же годы составил соответственно 36, 33 и 27 см/год. Учитывая разницу в возрасте (3 года), величина прироста при одинаковом возрасте составила на участке 5 (при возрасте 9 лет) 45 см/год, а на участке 2 (при таком же возрасте) – 36 см/год. По другим объектам закономерность аналогичная.

Сравнение средних высот лесных культур и подроста показывает, что сосна естественного происхождения, которая встречается в рядах культур, ниже лесных культур на всех объектах исследования. В первую очередь это связано с тем, что весь подрост сосны имеет возраст около 5 лет, что существенно моложе лесных культур (табл. 3).

Береза, которая в большом количестве входит в состав молодняков, по высоте превышает как куль-

туры сосны, так и все другие породы. Отдельные растения достигают высоты 3,9 м.

Таблица 3
Средняя высота молодняков по породам, м

Номер опытного участка	Сосна ЛК	Сосна ЕВ	Береза	Ель	Осина
1	2,90	1,48	2,53	1,08	–
2	1,77	1,35	2,41	1,61	–
3	2,79	1,85	3,07	1,87	0,92
4	1,93	0,93	2,88	0,93	–
5	3,54	0,99	2,15	0,85	–
6	2,00	1,41	2,81	0,72	–

Подрост ели на объектах исследования относится как к предварительной, так и к последующей генерациям. Средняя высота варьирует от 0,72 до 1,87 м. Осина встречается в небольшом количестве только на объекте №3. Средняя высота существенно ниже по сравнению с березой и сосной. Это связано с регулярным повреждением осины зайцем и лосем.

Таким образом, лесные культуры, созданные с открытой корневой системой в весенний период, оказались более жизнеспособными и показали более высокую сохранность. Приживаемость, сохранность, средний периодический прирост культур, созданных посадочным материалом с ЗК, оказались ниже.

Возраст хвои лесных культур сосны не зависит от вида посадочного материала и составляет, как и у подроста сосны, 2 года. Такой возраст хвои зафиксирован как на центральных, так и на боковых побегах.

На опытных участках появляются и подлесочные породы, преобладают ивы кустарниковые – *Salix sp.**, крушина ломкая – *Frangula alnus* Mill.(Кр), можжевельник обыкновенный – *Juniperus communis* L.(Мж), рябина обыкновенная – *Sorbus aucuparia* L.(Рб). Максимальная численность всех видов подлесочных пород не превышает 360 экз./га, следовательно, значимого влияния подлесок не оказывает на лесные культуры (табл. 4).

Таблица 4
Видовой состав и численность подлеска на опытных объектах

Показатели	Номер участка исследования					
	1 ОК	2 ЗК	3 ОК	4 ЗК	5 ОК	6 ЗК
Квартал, выдел	86-10	86-14	87-7	87-10	87-14	88-4
Состав молодняка, %	55С 42БЗЕ	50С 48Б 2Е	49С _{культ} 21С _{ест} 19Б 7Е4Ос	49С 48Б 3Е	62С _{культ} 12С _{ест} 24Б 2Е	41С _{культ} 22С _{ест} 35Б 2Е
Общая густота молодняка, экз./га	5650	3700	5370	3400	5240	4200
Состав подлеска, %	42Мж 31Кр 27Рб	37Мж28Кр 18Рб 17Ив*	38Кр 29Ив 17Мж 16Рб	33Рб 25Кр 22 Ив 20Мж	46Мж 21Рб 20Кр 13Ив	49Мж 19Рб 18Кр 14Ив
Численность подлеска, экз./га	290	180	360	290	170	210

Примечание. *Ивы ушковая и козья.

Живой напочвенный покров, напротив, хорошо развит. Численность видов на отдельных участках достигает 26. Преобладают лесные виды (рис. 2). Преобладающие виды в составе ЖНП представлены в формуле состава (табл. 5). Формула составлена по величине проективного покрытия и встречаемости каждого вида. Для составления формулы на каждом участке использовали четыре преобладающих вида. Все остальные виды указывали в числе прочих



Рис. 2. Напочвенный покров на пробной площади № 1

Таблица 5
Состав живого напочвенного покрова
и общее количество видов на опытных объектах

Номер опытного объекта	Состав ЖНП, %	Общее количество видов
1	25Кл 21Вр 17Бр 14Ич 23Проч.	16
2	34Вр 27Кл 14Бр 11Ич 14Проч.	18
3	46Чер 18Ич 7Вр 5Бр 24Проч.	26
4	41Вр 22Бр 15Вей 12Ич 10Проч.	23
5	42Бр 30Вр 5Кл 4Ич 19Проч.	21
6	53Вр 32 Бр 5Кл 4Ич 6Проч.	15

Примечание. Кл – кладония лесная – *Cladonia arbuscula* (WALLR.) FLOT, Вр – вереск обыкновенный – *Calluna vulgaris* (L.) HILL, Бр. – брусника обыкновенная – *Vaccinium vitis-idaea* L., Ич – иван-чай узколистный – *Chamaenerion angustifolium* L., Вей – ветник лесной – *Calamagrostis arundinacea* (L.) ROTH, Проч. – прочие виды



Рис. 3. Основные типы почв на исследуемых участках

Основные типы почв относятся к супесчаным свежим дерново-подзолистым. Такой тип почвы представлен на всех исследуемых объектах (рис. 3). Почвы на опытных участках отличались лишь мощностью органогенного горизонта

ВЫВОДЫ

1. На всех опытных объектах лесных культур сосны, созданных на месте сплошных рубок сосняков брусничных посадочным материалом с открытой корневой системой, имеют лучшие показатели относительно культур, созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой. Основные причины различий – качество посадочного материала и сезон посадки.

2. Приживаемость лесных культур составила 63–95 %. Оказалось, что приживаемость культур, созданных сеянцами с открытыми корнями, оказалась выше, чем для культур, созданных сеянцами с закрытыми корнями. Сохранность на момент обследования – 41–60 %. Сохранность лесных культур, созданных посадочным материалом с открытой корневой системой, также оказалась выше.

3. Молодняки на опытных участках характеризуются смешанным составом. Доля сосны искусственного происхождения варьирует от 41 до 62 %. Береза в составе молодняков по численности занимает 19–48 %. Осина и ель представлены единичными экземплярами. Численность подроста сосны на отдельных участках составляет более 800 экз./га.

4. На опытных участках культур сосны 8–10 лет в составе живого напочвенного покрова преобладают вереск и брусника, до 53 % по проективному покрытию.

5. Средний текущий прирост лесных культур сосны за последние 3 года варьирует от 31 до 50 см/год. Величина прироста у растений, сформировавшихся из сеянцев с открытыми корнями, выше, чем у растений из сеянцев с закрытыми корнями.

6. Возраст хвой лесных культур сосны не зависит от вида посадочного материала и составляет, как и у подроста последующей генерации сосны, 2 года. Средний возраст подроста сосны – около 5 лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бабич Н. А. Корчагов С. А., Конюшатов О. А., Стребков Н. Н., Лупанова И. Н. Актуальные проблемы лесовосстановления на Европейском Севере России в рамках перехода к интенсивной модели ведения лесного хозяйства // Лесной журнал, 2013. № 2. С. 36–42.
2. Гаврилова О. И., Колганов Е. С., Пак К. А. Оценка успешности самовозобновления сосны на гари // Лесотехнический журнал, 2020. № 4. С. 142–150. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/11.
3. Гоф А. А. Эффективность создания лесных культур сосны обыкновенной сеянцами с закрытой корневой системой в ленточных борах Алтая : дис. ... канд. сельскохозяйств. наук. Урал. гос. лесотехнич. ун-т. Екатеринбург, 2020. http://spbfu.ru/wp-content/uploads/2020/03/Dissertaziya_Gof_AA.pdf.
4. Грязькин А. В. Пат. 2084129 Российская Федерация, МКИ С 6 А 01 G 23/00. Способ учета подроста. Заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургская

лесотехническая академия. № 94022328/13; заяв. 10.06.94; опуб. 20.07.97, Бюл. № 20. 3 с.

5. Грязькин А. В., Беляева Н. В., Казы И. А., Ефимов А. В., Сырников И. А. Особенности роста подраста сосны под пологом древостоев на сухих бедных почвах // Research Science. (Banská Bystrica, Словакия). URL: <http://researchscience.info/payment/>. 2019. № 8. С. 3–6.

6. Кутявин И.Н. Манов А.В., Осипов А.Ф., Кузнецов М.А. Строение древостоев северотаежных сосняков // Изв. вузов. Лесн. журн., 2021. No 2. С. 86–105. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-86-105.

7. Мерзленко М. Д. Актуальные аспекты искусственного лесовосстановления // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 22–30.

8. Gryazkin A., Bepalova V., Samsonova I. (et al.). Potential reserves and development of non-wood forest resources. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. 453–468. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/316/1/012007>.

9. Hansen W. D., Braziunas K. H., Rammer W, Seidl R., Turner M. G. (2018). It takes a few to tango: Changing climate and fire regimes can cause regeneration failure of two subalpine conifers. Ecology 99:966–977. DOI: 10.1002/ecy.

10. Hanssen K. H. Natural regeneration of *Picea abies* on small clear-cuts in SE Norway. For. Ecol. Manage, 180 (2003), pp. 199–213.

11. Monica G. Turner, Kristin H. Braziunas, Winslow D. Hansen, and Brian J. Harvey. Short-interval severe fire erodes the resilience of subalpine lodgepole pine forests PNAS June 4, 2019 116 (23) 11319–11328; <https://doi.org/10.1073/pnas.1902841116>.

12. Zarubina L. V. Outflow and Distribution of Spruce 14C-Assimilates after Selective Felling in the Northern Taiga Phytocenosis. Lesnoy Zhurnal 2019, no. 2, pp. 40–55. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.40.

REFERENCES

1. Babich N. A., Korchagov S. A., Konjushatov O. A., Strebkov N. N., Lupanova I. N. Aktual'nye problemy lesovosstanovleniya na Evropejskom Severe Rossii v ramkah perehoda k intensivnoj modeli vedeniya lesnogo hozjajstva. Lesn. zhurn. 2013. № 2. S. 74–83. (In Russ.)

2. Gavrilova O. I., Kolganov E. S., Pak K. A. Ocenka uspešnosti samovozobnovleniya sosny na gari. Lesotekhnicheskij zhurnal. 2020. № 4. S. 142–150. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/11. (In Russ.)

3. Gof A. A. Jeffektivnost' sozdaniya lesnyh kul'tur sosny obyknovennoj sejancami s zakrytoj kornevoj

sistemoj v lentochnyh borah Altaja : Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata sel'skohozjajstvennyh nauk. Ural'skij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet. Ekaterinburg, 2020. http://spbftu.ru/wp-content/uploads/2020/03/Dissertaziya_Gof_AA.pdf. (In Russ.)

4. Gryazkin A. V. Pat. 2084129 Russian Federation, MKI C 6 A 01 G 23/00. The method of accounting for undergrowth. Applicant and patent holder St. Petersburg Forest Engineering Academy. No. 94022328/13; dec. 06/10/94; pub. 07/20/97, Bull. No. 20. 3 p.

5. Grjaz'kin A. V., Beljaeva N. V., Kazi I. A., Efimov A. V., Syrnikov I. A. Osobennosti rosta podrosta sosny pod pologom drevostoev na suhix bednyh pochvah. Nauchnyj zhurnal "Research Science" (Banská Bystrica, Slovakiya). saj: <http://researchscience.info/payment/>. 2019. № 8. S. 3–6. (In Russ.)

6. Kutjavin I. N., Manov A. V., Osipov A. F., Kuznetsov M. A. Stroenie drevostoev severota-ezhnyh sosnjakov. Izv. Vuzov. Lesn. zhurn. 2021. No 2. s. 86–105. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-86-105. (In Russ.)

7. Merzlenko M. D. Aktual'nye aspekty iskusstvennogo lesovosstanovleniya. Lesn. zhurn. 2017. № 3. S. 22–30. (Izv. vyssh. ucheb. zavedenij). (In Russ.)

8. Gryazkin A., Bepalova V., Samsonova I. (et al.). Potential reserves and development of non-wood forest resources. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. 453–468. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/316/1/012007>.

9. Hansen W. D., Braziunas K. H., Rammer W, Seidl R., Turner M. G. (2018) It takes a few to tango: Changing climate and fire regimes can cause regeneration failure of two subalpine conifers. Ecology 99: 966–977. DOI: 10.1002/ecy.

10. Hanssen K. H. Natural regeneration of *Picea abies* on small clear-cuts in SE Norway. For. Ecol. Manage., 180 (2003), pp. 199–213.

11. Monica G. Turner, Kristin H. Braziunas, Winslow D. Hansen, and Brian J. Harvey. Short-interval severe fire erodes the resilience of subalpine lodgepole pine forests PNAS June 4, 2019 116 (23) 11319–11328; <https://doi.org/10.1073/pnas.1902841116>.

12. Zarubina L. V. Outflow and Distribution of Spruce 14C-Assimilates after Selective Felling in the Northern Taiga Phytocenosis. Lesnoy Zhurnal, 2019, no. 2, pp. 40–55. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.40.

© Гаврилова О. И., Грязькин А. В., Пак К. А., Лубинь Го, Тун Чэн, 2023

Поступила в редакцию 26.10.2022

Принята к печати 04.04.2023

ПОКАЗАТЕЛИ КУЛЬТУР КЕДРА СИБИРСКОГО (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR) В ТАШТЫПСКОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ

З. В. Ерохина, Р. Н. Матвеева, О. Ф. Буторова, Н. В. Мурашко

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 результаты изучения особенностей роста культур кедров сибирского в Таштыпском лесничестве Республики Хакасия. Целью исследований было изучение изменчивости показателей кедров сибирского в культурах 5-, 10- и 15-летнего возраста, созданных посадкой 3-летних сеянцев. У растений измеряли высоту, диаметр ствола на высоте 10 см от поверхности почвы, протяжённость кроны, приросты центрального побега в высоту. Установлено, что 5-летние культуры имели высоту 70,0 см, 10-летние – 225,5 см, 15-летние – 379,3 см. Уровень варьирования высоты, годового прироста побега низкий, диаметра ствола, протяжённости кроны – низкий и средний. В первые четыре года после посадки годичный прирост центрального побега равен 4,9–13,6 см. В последующие годы (5–8 лет) прирост увеличивался до 15,5–32,3 см. В 9–15-летнем возрасте прирост растений равен 31,1–37,8 см. Отношение высоты к диаметру ствола (показатель напряжённости роста) составило в культурах разного возраста от 28,00 до 36,97. Выделены деревья, имеющие превышение по высоте на 15,0 % и более в сравнении со средним значением. Быстрорастущие экземпляры целесообразно использовать для размножения и создания лесосеменных плантаций кедров сибирского в данных лесорастительных условиях.

Ключевые слова: кедр сибирский, культуры, возраст, изменчивость, отбор.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 2, P. 139–144

INDICATORS OF SIBERIAN CEDAR CULTURES (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR) IN THE TASHTYPSKY FORESTRY IN THE REPUBLIC OF KHAKASSIA

Z. V. Erokhina, R. N. Matveeva, O. F. Butorova, N. V. Murashko

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

The results of studying the peculiarities of the growth of Siberian cedar plantations in the Tashtypsky forestry in the Republic of Khakassia are presented. The purpose of the research was to study the variability of the Siberian cedar in 5-, 10- and 15-year-old plantations, created by planting 3-year-old seedlings. In plants, height, trunk diameter at a height of 10 cm from the soil surface, crown length, growth of the central shoot in height were measured. It was established that 5-year-old plantations had a height of 70.0 cm, 10-year-old ones had 225.5 cm, 15-year-old ones had 379.3 cm. The level of variation in height, annual growth is low, the level of the trunk diameter and the length of the crown is low and medium. In the first four years, the annual growth of the central shoot is 4.9–13.6 cm. In subsequent years (5–8 years), the annual growth increases to 15.5–32.3 cm. At 9–15 years of age, the annual growth of plants is 31.1–37.8 cm. The ratio of height to trunk diameter (an indicator of growth intensity) ranged from 28.00 to 36.97 in cultures of different ages. Trees with an excess in height by 15.0 % and more in comparison with the average value were highlighted. It is advisable to use fast-growing specimens for reproduction and creation of Siberian cedar plantations in these forest-growing conditions.

Keywords: Siberian cedar, plantations, age, variability, selection.

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы лесовосстановления имеют немаловажное значение для повышения продуктивности лесных ресурсов, обеспечения рационального использования земель, улучшения породного состава, продуктивности и качества лесов, выполнения ими водоохраных, защитных, санитарно-гигиенических и других функций леса [6; 29 и др.].

Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года предусматривает интенсифи-

кацию работ по лесовосстановлению. Многолетние опыты лесоводов по выращиванию лесных культур в границах ареала показали, что результаты не всегда однозначны и зависят от почвенно-климатических условий и других факторов [25; 26 и др.].

Изучению особенностей роста культур кедров сибирского посвящены работы Р. М. Бабинцевой и др. [1], И. А. Беха, А. М. Данченко [2], В. П. Бобринева, Л. Н. Пак [3], Н. П. Братиловой [4], В. А. Брынцева [5], В. Н. Воробьева и др. [7]; Д. Я. Гиргидова [8],

Д. М. Гиряева [9], С. Н. Горошкевича [10], А. И. Григорьева [11], И. И. Дроздова [13–15], П. М. Ермоленко [16], М. М. Игнатенко [17], А. И. Ирошникова [18], Г. В. Кузнецовой [19], Р. Н. Матвеевой, О. Ф. Буторовой [20; 21; 22], Е. Г. Парамонова [25]; В. П. Путенихина и др. [27], Р. Г. Ситдикова [28], Е. В. Титова [30], Ю. Е. Щерба и др. [31], А. И. Янгутова [32] и др.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены на территории Верхне-Таштыпского участкового лесничества, расположенного в юго-западной части Республики Хакасия на территории Таштыпского административного района. По лесорастительному районированию территория Таштыпского лесничества отнесена к Алтае-Саянскому горнотаёжному району Южно-Сибирской горной лесорастительной зоны.

Климат в районе горных хребтов Саяна резко континентальный, характеризующийся коротким летом, холодной зимой. Продолжительность вегетационного периода составляет 155 дней. Средние даты начала и окончания вегетационного периода относятся, соответственно, к 1 мая и 28 сентября. В этот период выпадает около 73 % годового количества осадков, что с учетом высокой интенсивности солнечной радиации, достигающей 1400 часов, создает благоприятные условия для произрастания древесной растительности. Количество выпадающих осадков колеблется в отдельные годы от 250 до 600 мм в год. Средняя дата первых осенних заморозков приходится на 5 сентября, поздних весенних – 3 июня.

Целью исследований было изучение изменчивости показателей кедров сибирского в культурах 5-, 10- и 15-летнего возраста, созданных посадкой 3-летних сеянцев.

У растений измеряли высоту, диаметр ствола на высоте 10 см от поверхности почвы, протяжённость и диаметр кроны, приросты центрального побега в высоту. Диаметр ствола определяли в двух противоположных направлениях с точностью до 0,1 см и подсчитывали среднее значение. Устанавливали показатель напряженности роста (отношение высоты к диаметру ствола). Данные были обработаны методами математической статистики. При этом использовали методические указания В. В. Огиевского [24], А. А. Молчанова, В. В. Смирнова [23], Б. А. Доспехова [12].

Таблица 1
Показатели кедров сибирского в 5-летних культурах

Показатель	$\bar{X}$	$\pm m$	$V, \%$	Уровень изменчивости
Высота, см	70,0	1,03	10,4	низкий
Диаметр ствола, см	2,5	0,06	16,5	средний
Средний прирост в высоту, см	8,8	0,13	10,4	низкий
Протяженность кроны, см	57,5	1,15	14,1	средний

Таблица 2
Показатели кедров сибирского в 10-летних культурах

Показатель	$\bar{X}$	$\pm m$	$V, \%$	$V, \%$	Уровень изменчивости
Высота, см	225,5	2,40	1,1	7,5	низкий
Диаметр ствола, см	6,1	0,11	1,8	12,8	средний
Средний прирост в высоту, см	17,3	0,18	1,1	7,5	низкий
Протяженность кроны, см	212,4	2,39	1,1	8,0	низкий

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Было установлено, что 5-летние культуры кедров сибирского (биологический возраст 8 лет) имели на первом участке высоту 70 см (табл. 1).

Диаметр ствола составил 2,5 см. Средний прирост в высоту равен 8,8 см. Протяженность кроны занимает 82,1 % от высоты дерева. Коэффициент изменчивости этих показателей варьирует от 10,4 до 16,5 %, что соответствует низкому и среднему уровням.

Высота кедров сибирского в 10-летних культурах (биологический возраст – 13 лет) на втором участке составила 225,5 см, диаметр ствола – 6,1 см. Уровень изменчивости показателей – низкий и средний (7,5–12,8 %) (табл. 2).

Средний прирост составил 17,3 см с варьированием от 14,7 до 19,7 см. Уровень изменчивости низкий (7,5 %). Крона низкоопущенная (составляет 94,2 % от высоты дерева). Протяженность кроны варьирует от 180,0 до 244,3 см, различие между крайними значениями достигает 1,36 раза (коэффициент изменчивости равен 8,0 %).

На третьем участке высота кедров сибирского в 15-летних культурах (биологический возраст 3+15 лет) варьирует от 331,5 до 502,9 см при среднем значении 379,3 см (табл. 3).

Диаметр ствола варьирует от 9 до 12 см при среднем значении 10,8 см. Средний прирост составляет 21,1 см с различием между крайними значениями в 1,38 раза (коэффициент варьирования – 10,1 %). Крона низкоопущенная, ее протяженность составляет 96,7 % от высоты растений.

Показатели кедров сибирского в культурах разного возраста приведены на рис. 1.

Сопоставлены годовичные приросты центрального побега в 5-, 10-, 15-летних культурах (рис. 2).

В первые четыре года после посадки годичный прирост центрального побега равен 4,9–13,6 см. В последующие годы (5-8 лет) прирост увеличивался до 15,5–32,3 см. В 9–15-летних культурах прирост кедров сибирского составил 31,1–37,8 см.

Динамика роста кедров сибирского по высоте в культурах разного возраста приведена на рис. 3.

Уравнение регрессии, отражающее изменение высоты 15-летних культур (y) с возрастом (x), имеет вид полиномиальной кривой: $y = -0,0717x^3 + 2,991x^2 - 4,547x + 19,948$ при коэффициенте детерминации 0,997.

Таблица 3
Показатели кедров сибирского в 15-летних культурах

Показатель	$\bar{X}$	$\pm m$	$P, \%$	$V, \%$	Уровень изменчивости
Высота, см	379,3	5,41	1,4	10,1	низкий
Диаметр ствола, см	10,8	0,12	1,1	8,0	низкий
Средний прирост в высоту, см	21,1	0,30	1,4	10,1	низкий
Протяженность кроны, см	366,8	5,45	1,5	10,5	низкий

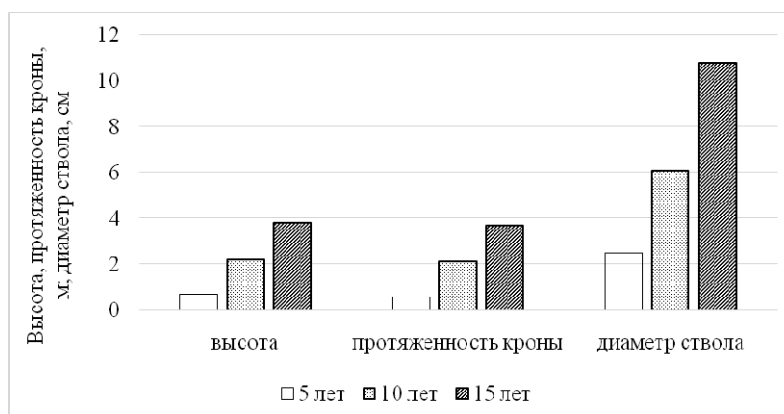


Рис. 1. Высота, протяженность кроны, диаметр ствола у кедров сибирского

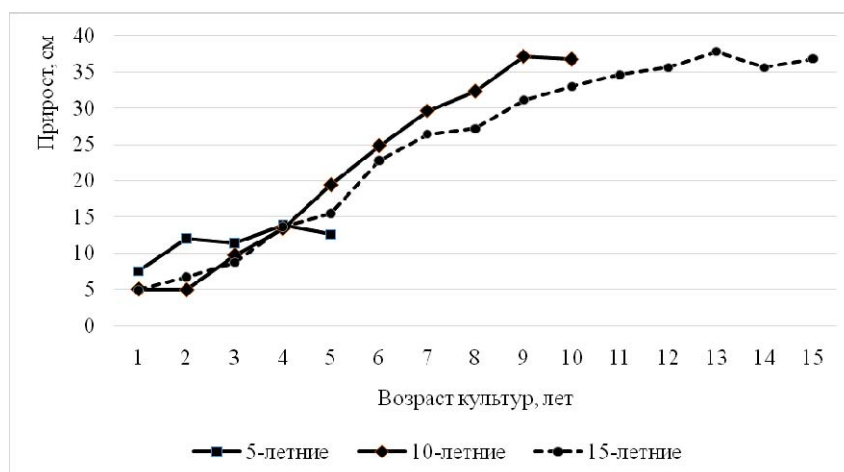


Рис. 2. Годичный прирост центрального побега у кедров сибирского в культурах разного возраста

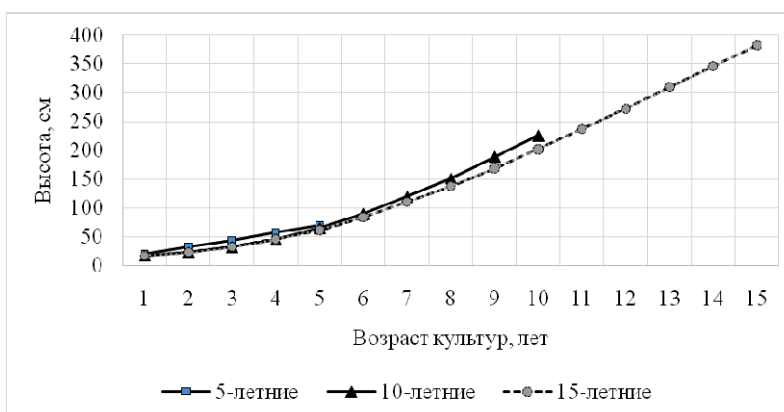


Рис. 3. Высота кедров сибирского в зависимости от возраста культур

Анализ рядов распределения деревьев 5-летних культур по высоте, диаметру ствола, приросту, протяженности кроны показал, что распределения симметричны ($A < 0,5$ по модулю). В 10-летних культурах ряды распределения всех показателей также симметричны, кроме диаметра ствола (кривая смещена в сто-

рону наибольших значений). В культурах 15-летнего возраста коэффициент асимметрии высоты, годового прироста, протяженности кроны превышает 0,5 за счет превалирования отстающих в росте растений. Ряд распределения диаметра ствола симметричный (табл. 4).

Таблица 4
Характеристика распределения деревьев по показателям роста

Показатели	Протяженность кроны, см	Высота, см	Диаметр ствола, см	Прирост, см
5-летние культуры				
Медиана	56,5	70,3	2,5	8,8
Мода	54	74,7	3	9,3
Эксцесс	-0,444	-0,593	-1,667	-0,615
Асимметричность	0,3451	-0,148	-0,021	-0,212
Минимум	42	56,6	2	7,1
Максимум	76	85,8	3	10,7
10-летние культуры				
Медиана	214,2	228,1	6,1	17,5
Мода	214	228,1	6	17,3
Эксцесс	-0,676	-0,610	3,893	-0,610
Асимметричность	-0,308	-0,414	-1,477	-0,414
Минимум	180	191,4	3	14,7
Максимум	244,3	256,7	7	19,7
15-летние культуры				
Медиана	352,5	364,4	11	20,2
Мода	378	363,8	12	20,5
Эксцесс	-0,408	-0,429	-0,862	-0,429
Асимметричность	0,829	0,825	-0,260	0,825
Минимум	320	331,5	9	18,4
Максимум	446	502,9	12	25,4

Коэффициент крутости рядов распределения (эксцесс) высоты, диаметра ствола и годового прироста 5-летних культур больше 0,5 по модулю и свидетельствует о их плосковершинности, протяженности кроны – островершинности. В 10-летних культурах все ряды распределения плосковершинные (вершина кривой ниже теоретической). В 15-летних культурах ряды распределения высоты, годового прироста, протяженности кроны имеют вид островершинной кривой, диаметра ствола – плосковершинной.

Отношение высоты к диаметру ствола в 5-, 10-, 15-летних культурах характеризуется значениями (28,00-36,97), что свидетельствует о низкой степени напряженности роста (<41-60).

Отсекалированы быстрорастущие экземпляры в культурах 15-летнего возраста (№ 1, 4, 11, 14, 21, 27, 34, 41, 47, 50 и др.) высотой 4,41-5,03 м, имеющие превышение по высоте более чем на 15 % по сравнению со средним значением.

ВЫВОДЫ

Анализ роста кедров сибирского в культурах 5-, 10- и 15-летнего возраста показал, что условия Таштыпского лесничества Республики Хакасия благоприятны для выращивания культур данного вида. Отсекалированные быстрорастущие экземпляры целесообразно

использовать для их размножения и создания лесосеменных плантаций в данных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бабинцева Р. М., Горбачев В. Н., Куличихин Б. Ф. Рост и развитие культур кедров в условиях Приенисейской подтайги // Искусственное лесовосстановление в Сибири. Красноярск, 1987. С. 15–25.
2. Бех И. А., Данченко А. М. Рост одновозрастных культур кедров под пологом леса и на открытом участке // Проблемы кедров. Томск, 1990. С. 65–70.
3. Бобринев В. П., Пак Л. Н. Особенности роста культур кедров сибирского в Восточном Забайкалье // Лесоведение. 2005. № 2. С. 64–67.
4. Братилова Н. П. Сравнительный анализ плантационных культур кедров сибирского, созданных сеянцами и саженцами // Хвойные бореальной зоны, 2006. Т. 23. № 3. С. 101–104.
5. Брынцев В. А. Морфологическая изменчивость кедров сибирского при интродукции в зоне смешанных лесов // Лесная геоботаника и биология древесных растений. Брянск, 1988. С. 8–22.
6. Витальев А. П., Лоскутов Р. И. Опыт создания культур кедров на вырубках // Лесное хозяйство. 1968. № 5. С. 74–48.

7. Воробьев В. Н., Бех И. А., Пинаев В. Ю., Пинаев Д. В. Состояние лесных культур кедров сибирского в горных условиях Хакасии // *Лесное хозяйство*. 2001. № 5. С. 32–33.
8. Гиргидов Д. Я. Опыт разведения кедров сибирского в Ленинградской области // *Кедр сибирский на европейском Севере СССР*. Ленинград. 1972. С. 31–40.
9. Гиряев Д. М., Петров М. Ф. Разведение кедров сибирского в нечерноземной зоне РСФСР // *Лесное хозяйство*. 1983. № 3. С. 63–65.
10. Горошкевич С. Н. Селекция кедров сибирского как орехоплодной породы // *Лесное хозяйство*. 2000. № 4. С. 25–27.
11. Григорьев А. И. Некоторые итоги интродукции кедров сибирского в южной лесостепи Омской области // *Воспроизводство кедровых лесов на Урале, в Западной Сибири*. Свердловск : УНЦ АН СССР. 1981. С. 112–117.
12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва : Колос, 1973. 336 с.
13. Дроздов И. И. Кедр сибирский в Нечерноземье // *Лесное хозяйство*. 1988. № 1. С. 45–46.
14. Дроздов И. И., Янгутков А. И. Индивидуальный рост сосны кедровой сибирской в зоне смешанных лесов // *Научные труды*. Москва : МЛТИ, 1983. Вып. 148. С. 83–86.
15. Дроздов И. И. Интродукция кедров сибирского в европейскую часть России. Москва : ВНИИЦлесресурс, 1999. Вып. 3-4. 32 с.
16. Ермоленко П. М. Рост культур кедров корейского и кедров сибирского в опытных посадках в черном поясе Западного Саяна // *Ботанические исследования в Сибири*. Красноярск : СО РАН, 2002. Вып. 10. С. 92–97.
17. Игнатенко М. М. Сибирский кедр (биология, интродукция, культура). Москва : Наука, 1988. 160 с.
18. Ирошников А. И., Твеленев М. В. Изучение генофонда, интродукции и селекции кедровых сосен // *Лесоведение*. 2001. № 4. С. 62–68.
19. Кузнецова Г. В. Изучение изменчивости у климатических кедров сибирского на юге Красноярского края // *Хвойные бореальной зоны*. 2007. 24. № 4-5. С. 423–426.
20. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. Особенности выращивания посадочного материала и лесных культур хвойных пород в Восточной Сибири. Красноярск : КГТА, 1997. 200 с.
21. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. Опыт создания культур кедров сибирского в ареале // *Вестник СибГТУ*. 2002. № 1. С. 26–31.
22. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. Исследования по выращиванию сосны кедровой сибирской за многолетний период // *Хвойные бореальной зоны*. 2022. Т. XV, № 5. С. 374–380.
23. Молчанов А. А., Смирнов В. В. Методика изучения прироста древесных растений. Москва : Наука, 1967. 100 с.
24. Огиевский В. В. Искусственное лесоразведение в Сибири. Москва : Гослесбумиздат, 1962. 175 с.
25. Парамонов Е. Г. Технологические приемы создания культур кедров в Горном Алтае // *Лесное хозяйство*. 1984. № 4. С. 30–32.
26. Пуджа Г. И., Данченко А. М., Кабанова С. А., Данченко М. А. Сравнительная характеристика трех типов лесных культур сосны кедровой сибирской в Томской области // *Лесотехнический журнал*. 2018. № 1. С. 42–50.
27. Путенихин В. П., Путенихина К. В., Шигапов З. Х. Жизненное состояние интродукционных лесных культур кедров сибирского в Башкирском Предуралье и на Южном Урале // *European research : XII Международная научно-практическая конференция*. Пенза : Наука и Просвещение, 2017. С. 18–21.
28. Ситдииков Р. Г. Рост культур сосны кедровой сибирской на Южном Урале // *Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений*. Красноярск : СибГТУ, 2005. С. 114–117.
29. Смолоногов Е. П., Кирсанов В. А. Основные итоги опыта воспроизводства кедровых лесов посредством культур // *Проблемы выращивания кедров сибирского в питомниках и культурах*. Свердловск, 1978. С. 43–46.
30. Титов Е. В. Факторы плантационного ореховодства кедров сибирского // *Хвойные бореальной зоны*. 2014. Вып. 32, № 3-4. С. 66–70.
31. 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. 39. № 5. С. 401–407. ID: 48036148.
32. Янгутков А. И. Типы культур сосны кедровой сибирской в зоне смешанных лесов // *Научные труды*. Москва : МЛТИ, 1985. Вып. 167. С. 62–64.

REFERENCES

1. Babinceva R. M., Gorbachev V. N., Kulichihin B. F. Rost i razvitie kul'tur kedra v usloviyah Prienisejskoj podtajgi // *Iskusstvennoe lesovosstanovlenie v Sibiri*. Krasnoyarsk, 1987. S. 15–25.
2. Bekh I. A., Danchenko A. M. Rost odnovostrastnykh kul'tur kedra pod pologom lesa i na otkrytom uchastke // *Problemy kedra*. Tomsk, 1990. S. 65–70.
3. Bobrinev V. P., Pak L. N. Osobennosti rosta kul'tur kedra sibirskogo v Vostochnom Zabajkale // *Lesovedenie*. 2005. № 2. S. 64–67.
4. Bratilova N. P. Sravnitel'nyj analiz plantacionnykh kul'tur kedra sibirskogo, sozdannykh seyancami i sazhen-cami // *Hvojnye boreal'noj zony*, 2006. T. 23. № 3. S. 101–104.
5. Bryncev V. A. Morfologicheskaya izmenchivost' kedra sibirskogo pri introdukcii v zonu smeshannykh lesov // *Lesnaya geobotanika i biologiya drevesnykh rastenij*. Bryansk, 1988. S. 8–22.
6. Vital'ev A. P., Loskutov R. I. Opyt sozdaniya kul'tur kedra na vyrubkah // *Lesnoe khozyaistvo*. 1968. № 5. S. 74–48.
7. Vorob'ev V. N., Bekh I. A., Pinaev V. Yu, Pinaev D. V. Sostoyanie lesnykh kul'tur kedra sibirskogo v gornykh usloviyah Hakasii // *Lesnoe hozyajstvo*. 2001. № 5. S. 32–33.
8. Girgidov D. Ya. Opyt razvedeniya kedra sibirskogo v Leningradskoj oblasti // *Kedr si-birskij na evropejskom Severe SSSR*. Leningrad. 1972. S. 31–40.
9. Giryayev D. M., Petrov M. F. Razvedenie kedra sibirskogo v nechernozemnoj zone RSFSR // *Lesnoe hozyajstvo*. 1983. № 3. S. 63–65.
10. Goroshkevich S. N. Selekcija kedra sibirskogo kak orekhoplodnoj porody // *Lesnoe hozyajstvo*. 2000. № 4. S. 25–27.

11. Grigor'ev A. I. Nekotorye itogi introdukcii kedra sibirskogo v yuzhnoj lesostepi Omskoj oblasti // *Vosproizvodstvo kedrovых лесов на Урале, в Западной Сибири*. Sverdlovsk : UNC AN SSSR, 1981. S. 112–117.
12. Dospel'kov B. A. Metodika polevogo opyta. Moskva : Kolos, 1973. 336 s.
13. Drozdov I. I. Kedr sibirskij v Nechernozem'e // *Lesnoe hozyajstvo*. 1988. № 1. S. 45–46.
14. Drozdov I. I., Yangutov A. I. Individual'nyj rost sosny kedrovoj sibirskoj v zone smeshannyh лесов // *Nauchnye trudy*. Moskva : MLTI, 1983. Vyp. 148. S. 83–86.
15. Drozdov I. I. Introdukcija kedra sibirskogo v evropejskuyu chast' Rossii. Moskva : VNIIClesresurs, 1999. Vyp. 3-4. 32 s.
16. Ermolenko P. M. Rost kul'tur kedra korejskogo i kedra sibirskogo v opytnyh posadkah v chernemom poyase Zapadnogo Sayana // *Botanicheskie issledovaniya v Sibiri*. Krasnoyarsk : SO RAN, 2002. Vyp. 10. S. 92–97.
17. Ignatenko M. M. Sibirskij kedr (biologiya, introdukcija, kul'tura). Moskva : Nauka, 1988. 160 s.
18. Iroshnikov A. I., Tvelenev M. V. Izuchenie genofonda, introdukcii i selekcii kedrovых сосен // *Lesovedenie*. 2001. № 4. S. 62–68.
19. Kuznecova G. V. Izuchenie izmenchivosti u klimatipov kedra sibirskogo na yuge Krasnoyarskogo kraja // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2007. 24. № 4-5. S. 423–426.
20. Matveeva R. N., Butorova O. F. Osobennosti vyrashchivaniya posadochnogo materiala i лесных kul'tur hvojnyh пород в Vostochnoj Sibiri. Krasnoyarsk : KGTA, 1996. 200 s.
21. Matveeva R. N., Butorova O. F. Opyt sozdaniya kul'tur kedra sibirskogo v areale // *Vestnik SibGTU*. 2002. № 1. S. 26–31.
22. Matveeva R. N., Butorova O. F. Issledovaniya po vyrashchivaniyu sosny kedrovoj sibirskoj za mnogoletnij period // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2022. T. XV, № 5. S. 374–380.
23. Molchanov A. A., Smirnov V. V. Metodika izucheniya prirosta drevesnyh rastenij. M. : Nauka, 1967. 100 s.
24. Ogievskij V. V. Iskusstvennoe lesorazvedenie v Sibiri. M. : Goslesbumizdat, 1962. 175 s.
25. Paramonov E. G. Tekhnologicheskie priemy sozdaniya kul'tur kedra v Gornom Altae // *Lesnoe hozyajstvo*. 1984. № 4. S. 30–32.
26. Pudzha G. I., Danchenko A. M., Kabanova S. A., Danchenko M. A. Sravnitel'naya harakteristika trekh tipov лесных kul'tur sosny kedrovoj sibirskoj v Tomskoj oblasti // *Lesotekhnicheskij zhurnal*. 2018. № 1. S. 42–50.
27. Putenihin V. P., Putenihina K. V., Shigapov Z. H. Zhiznennoe sostoyanie introdukcionnyh лесных kul'tur kedra sibirskogo в Bashkirskom Predural'e i на Yuzhnom Urale // *European research : XII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya*. Penza : Nauka i Prosveshchenie, 2017. S. 18–21.
28. Sitdikov R. G. Rost kul'tur sosny kedrovoj sibirskoj на Yuzhnom Urale // *Plodovodstvo, semenovodstvo, introdukcija drevesnyh rastenij*. Krasnoyarsk : SibGTU, 2005. S. 114–117.
29. Smolonogov E. P., Kirsanov V. A. Osnovnye itogi opyta vosproizvodstva kedrovых лесов posredstvom kul'tur // *Problemy vyrashchivaniya kedra sibirskogo v pitomnikah i kul'turakh*. Sverdlovsk, 1978. S. 43–46.
30. Titov E. V. Faktory plantacionnogo orekhovodstva kedra sibirskogo // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2014. Vyp. 32, № 3-4. S. 66–70.
31. Shcherba Yu. E., Ibe A. A., Suhin T. V., Kopchenko D. E. Vosproizvodstvo sosny kedrovoj sibirskoj на genetiko-selekcionnoj osnove // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2021. T. 39. № 5. S. 401–407. ID: 48036148.
32. Янгутков А. И. Типы культур сосны кедровой сибирской в зоне смешанных лесов // *Научные труды*. Москва : МЛТИ, 1985. Вып. 167. С. 62–64.

© Ерохина З. В., Матвеева Р. Н.,
Буторова О. Ф., Мурашко Н. В., 2022

Поступила в редакцию 19.12.2022
Принята к печати 04.04.2023

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ 17-ЛЕТНИХ МОДЕЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ
СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ****Р. Н. Матвеева, О. Ф. Буторова, Ю. Е. Щерба, С. Н. Дырдин, И. В. Комаров, А. С. Коростелев**

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

Приведена изменчивость показателей модельных деревьев 17-летней сосны кедровой сибирской в условиях Учебно-опытного лесхоза СибГУ им. М. Ф. Решетнева (пригородная зона Красноярск). Цель исследований – установить по модельным деревьям особенности роста, образования боковых ветвей, величину годичных приростов побега в высоту до и после посадки на плантацию, длину и массу хвои, количество боковых корней первого и второго порядков у деревьев второго поколения на плантации «ЛЭП-2». Размеры и массу хвои определяли на центральных и боковых побегах. Установлено, что большей высотой, текущим приростом побега, длиной, хвоей, количеством боковых корней отличалось дерево № 5-6. Образование боковых ветвей в мутовках в разные годы варьировало от 1 до 6 шт. Перед пересадкой сеянцев на плантацию в 2014 году прирост центрального побега составлял в среднем 33,5 см. В следующие три года после пересадки прирост уменьшился до 1,3–10,0 см. В возрасте 17 лет произошло резкое увеличение текущего прироста побега до 25,5–42,0 см. Длина и масса хвои на центральном побеге превышала данные показатели на боковых. Установлена корреляционная тесная связь между высотой и количеством корней, массой хвои и ее длиной.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, изменчивость, модельное дерево, хвоя, плантация.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 2, P. 145–150

VARIABILITY OF 17-YEAR-OLD MODEL TREES INDICATORS OF SIBERIAN CEDAR PINE**R. N. Matveeva, O. F. Butorova, Yu. E. Shcherba, S. N. Dyrdin, I. V. Komarov, A. S. Korosteleev**

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

The variability of the indicators of model trees of the 17-year-old Siberian cedar pine in the conditions of the Educational and Experimental Forestry of the Reshetnev University (suburban zone of Krasnoyarsk) is given. The purpose of the research is to establish the features of growth, the formation of side branches, the magnitude of annual shoot growths in height from model trees before and after planting on the plantation. Then the purpose is to study the length and mass of needles, the number of side roots of the first and second orders in second-generation trees on the plantation "Power transmission line – 2". The size and weight of the needles were determined on the central and side shoots. It was established that the greater height, the current growth of the shoot, the length of the needles, the number of lateral roots differed in tree No. 5-6. The formation of lateral branches in the whorls in different years varied from 1 to 6 pieces. Before transplanting seedlings to the plantation in 2014, the growth of the central shoot averaged 33.5 cm. In the next three years after transplantation, the growth decreased to 1.3–10.0 cm. At the age of 17, there was a sharp increase in the current growth of the shoot to 25.5–42.0 cm. The length and mass of the needles on the central shoot exceeded these indicators on the lateral ones. A correlation close relationship was established between the height and number of roots, the mass of needles and its length.

Keywords: Siberian cedar pine, variability, model tree, needles, plantation.

ВВЕДЕНИЕ

Сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour) является уникальной древесной породой, полезные свойства которой общеизвестны. Данный вид ценится не только за экологические, лесоводственные функции, но и за орехи, обладающие ценными диетическими и лечебными свойствами, применяющимися при различных заболеваниях. Кедровые насаждения выполняют средообразующие, почвозащитные функции, оказывают бла-

гоприятное влияние на микроклимат, воздействуя на ветровой, радиационный, температурный режимы, регулируя кислородно-углеродный баланс, увеличивая содержание фитоорганических веществ, отрицательных ионов и пр. [2; 3; 8; 9; 12; 16–18; 22; 23; 24; 29 и др.].

Корневая система у деревьев хорошо развита, располагается преимущественно в верхнем почвенном горизонте и состоит из короткого стержневого и мощных боковых корней [4; 19 и др.].

Крона густая, конусовидной, цилиндрической, булавовидной и канделябровидной форм [14]. Хвоя выполняет важнейшие кислородопroduцирующую, экологическую функции, осуществляя фотосинтез, выделяя фитонциды [5; 6; 25 и др.]. Хвоя у сосны кедровой сибирской имеет окраску от светло- до темно-зеленой; длину от 5 до 14 см, ширину – от 0,8 до 1,2 мм. Продолжительность жизни хвои составляет 3–7 лет, хвоя расположена на слаборазвитых укороченных побегах в основном по 5 шт. в пучке [4]. А. И. Ирошников [13] отмечал, что встречаются экземпляры сосны кедровой сибирской с 6- и 7-ю хвоинками в пучке, которые были отнесены к наиболее быстрорастущим. Установлена корреляция между размерами хвои и темпами роста сосны горной и обыкновенной [27; 28]. Длинная хвоя, по заключению Т. П. Некрасовой [20], является диагностическим показателем принадлежности сосны кедровой сибирской к женской форме.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2005 году с 41-летних урожайных деревьев, произрастающих на опытной плантации Учебно-опытного лесхоза СибГУ, были собраны шишки и проведен осенний посев семян для выращивания посадочного материала. Среднее количество шишек на дереве составило 15,9 шт. [17].

Осенью 2014 года растения были пересажены на участок «ЛЭП-2». В 2021 году были взяты для исследований три модельных дерева, у которых измеряли высоту, диаметр ствола, годовичные приросты побега в высоту, длину и массу хвои на центральных и боковых приростах за 2021 год, изучали строение корневой системы. Исследования проводили по общепринятым в лесокультурном производстве методикам. Для обработки экспериментального материала использованы статистические методы [11]. Уровень изменчивости оценивали по шкале С. А. Мамаева [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как показали исследования, высота 17-летних модельных деревьев составила 131,3–158,7 см. При этом большей высотой, текущим приростом побега и длиной хвои на центральном побеге отличалось дерево № 5-6 (табл. 1).

По количеству верхушечных почек на центральном побеге выделяется дерево № 4-5: на 12,0 % больше в сравнении с остальными моделями; по длине верхушечной почки – деревья № 4-4, 4-5; количеству корней – дерево № 5-6 (табл. 2).

У дерева № 5-6 боковых корней первого порядка было больше в 2,8–5,5 раза, второго порядка – в 1,2–2,4 раза, чем у деревьев № 4-5 и № 4-4.

Образование боковых ветвей в разные годы варьировало в больших пределах: от 1 до 6 шт. Наименьшее их количество (1–2 шт.) было в 2017 г. на третий год после пересадки, наибольшее – в 2021 году (3–6 шт.) (табл. 3).

Наибольшее их суммарное количество отмечено у дерева № 5-6 (38 шт.) в сравнении с деревьями № 4-4 и 4-5. Превышение составило 7,4 и 16,0 %, соответственно.

Анализ роста растений в высоту показал, что до пересадки с 2010 по 2014 гг. прирост варьировал от 4,0 до 17,0 см (рис. 1).

После пересадки (2015–2017 гг.) прирост центрального побега составлял всего 1,3–10,0 см. Затем годичный прирост стал увеличиваться и в возрасте 17 лет он составил 25,5–42,0 см.

Динамика роста модельных деревьев в высоту приведена на рис. 2.

Исследования показали, что длина хвои на центральных (2019–2021 гг.) и боковых побегах (2021 г.) на примере модельных деревьев неодинакова. Средняя длина хвои на приростах центрального побега составила 8,6–9,9 см, достигая наибольшего значения на приросте 2021 года: на 13,8–15,1 %. Уровень варьирования длины хвои на центральном побеге 2021 года средний, 2020 и 2019 гг. – низкий (табл. 4).

Таблица 1
Биометрические показатели модельных деревьев

Номер модели	Высота		Диаметр ствола		Текущий прирост побега		Средняя длина хвои на центральном побеге за 2019–2021 гг.	
	см	% к X_{cp}	см	% к X_{cp}	см	% к X_{cp}	X_{cp} , см	% к X_{cp}
4-4	131,3	90,7	2,2	88,0	25,5	76,1	9,1	96,8
4-5	144,0	99,5	2,5	100,0	33,0	98,5	8,7	92,6
5-6	158,7	109,7	2,9	116,0	42,0	125,4	10,3	109,6
Среднее значение	144,7	100,0	2,5	100,0	33,5	100,0	9,4	100,0

Таблица 2
Образование верхушечных почек и корней у модельных деревьев

Номер дерева	Верхушечные почки		Количество корней					
			1-го порядка		2-го порядка		всего	
	шт.	% к X_{cp}	шт.	% к X_{cp}	шт.	% к X_{cp}	шт.	% к X_{cp}
4-4	9	90,0	4	35,4	10	55,6	14	47,8
4-5	12	120,0	8	70,8	20	111,1	28	95,6
5-6	9	90,0	22	194,7	24	133,3	46	157,0
Среднее значение	10,0	100,0	11,3	100,0	18,0	100,0	29,3	100,0

Таблица 3

Количество боковых ветвей в мутовках центрального побега

Год образования мутовки	Номер дерева						Среднее значение	
	4-4		4-5		5-6			
	шт.	% к $X_{\text{ср}}$	шт.	% к $X_{\text{ср}}$	шт.	% к $X_{\text{ср}}$	шт.	% к $X_{\text{ср}}$
2021	3	111,1	6	240,0	6	206,9	5,0	185,2
2020	2	74,1	4	160,0	3	103,4	3,0	111,1
2019	6	222,2	3	120,0	4	137,9	4,3	159,2
2018	4	148,1	3	120,0	3	103,4	3,3	122,2
2017	2	74,1	1	40,0	1	34,5	1,3	48,1
2016	2	74,1	2	80,0	3	103,4	2,3	85,2
2015	2	74,1	3	120,0	3	103,4	2,7	100,0
2014	4	148,1	1	40,0	3	103,4	2,7	100,0
2013	1	37,0	2	80,0	3	103,4	2,0	74,1
2012	3	111,1	1	40,0	3	103,4	2,3	85,2
2011	2	74,1	4	160,0	2	69,0	2,7	100,0
2010	1	37,0	1	40,0	2	69,0	1,3	48,1
2009	3	111,1	2	80,0	2	69,0	2,3	85,2
Среднее значение	2,7	100,0	2,5	100,0	2,9	100,0	2,7	100,0

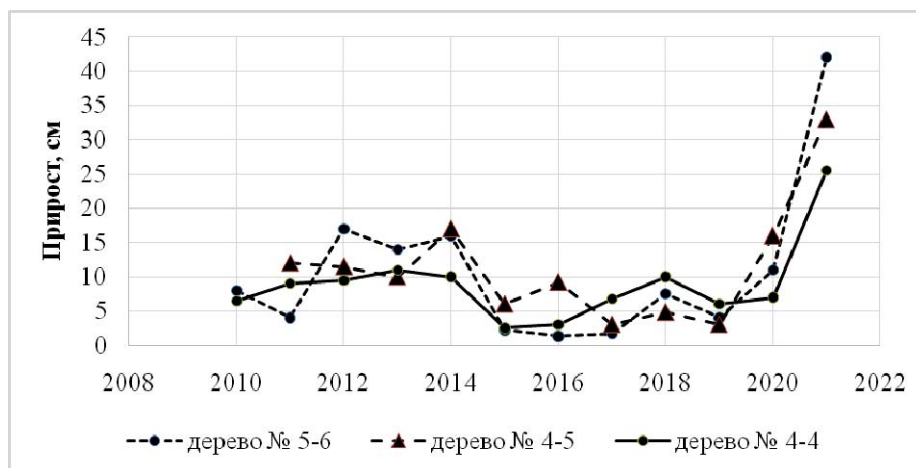


Рис. 1. Годичный прирост в высоту у растений в 2010–2021 годах

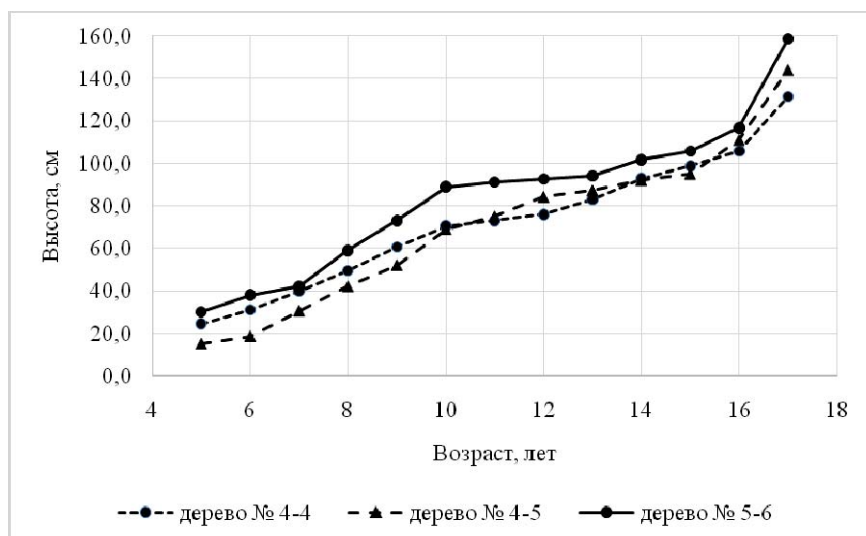


Рис. 2. Динамика роста модельных деревьев в высоту

Таблица 4
Изменчивость длины хвои у модели № 4-4, см

Год прироста	X_{cp}	$\pm m$	$V, \%$	$P, \%$	t_{ϕ} при $t_{05} = 2,01$	Уровень изменчивости
Центральный побег						
2021	9,9	0,32	14,6	3,2	-	средний
2020	8,6	0,17	10,2	2,0	3,59	низкий
2019	8,7	0,27	10,6	3,1	2,87	низкий
Среднее значение	9,1					
Боковые побеги (прирост 2021 г.)						
2021	8,1	0,19	12,2	2,3	-	средний
2020	8,0	0,17	14,2	2,1	0,39	средний
2019	7,7	0,14	18,0	1,8	1,69	средний
2018	7,3	0,15	18,2	2,0	3,30	средний
2017	7,8	0,25	18,5	3,2	0,96	средний
2016	7,7	0,16	10,1	2,1	1,61	низкий
2015	6,7	0,13	18,4	1,9	6,08	средний
2014	7,6	0,30	20,0	3,9	1,41	средний
Среднее значение	7,6					

Таблица 6
Изменчивость длины хвои у модели № 5-6, см

Год мутовки	X_{cp}	$\pm m$	$V, \%$	$P, \%$	t_{ϕ} при $t_{05} = 2,01$	Уровень изменчивости
Центральный побег						
2021	9,1	0,16	10,0	1,7	11,46	низкий
2020	12,6	0,26	7,3	2,1	-	низкий
2019	9,0	0,22	7,4	2,4	10,57	низкий
Среднее значение	10,3					
Боковые побеги (прирост 2021 г.)						
2021	8,2	0,19	19,6	2,3	3,18	средний
2020	9,1	0,16	11,3	1,8	0,34	низкий
2019	9,2	0,25	17,5	2,7	-	средний
2018	8,3	0,32	22,8	3,8	0,22	высокий
2017	8,6	0,22	23,7	2,6	1,80	высокий
2016	8,8	0,19	23,8	2,2	1,27	высокий
2015	8,3	0,16	21,2	1,9	3,03	высокий
Среднее значение	8,6					

На боковых побегах прироста 2021 года разница по длине хвои между значениями достигает до 20,1 %. Коэффициент варьирования равен 10,1–20,0 %, что соответствует низкому и среднему уровням. Наибольшая длина хвои отмечена на боковом побеге прироста 2021 года. Достоверно меньшие различия на 11,0–20,8 % подтверждаются с длиной хвои 2021 года на мутовках 2018, 2015 гг. ($t_{\phi} > t_{05}$).

Средняя длина хвои на центральных побегах (9,1 см) на 19,7 % больше, чем на боковых (7,6 см).

На дереве № 4-5 длина хвои на центральном побеге 2020 года равна 9,5 см, что превысило соответствующий показатель на 11,0–17,3 % при сравнении с 2019 и 2021 гг. Различия подтверждаются t -критерием при вероятности 95 % (табл. 5).

Наибольшая длина хвои отмечена на боковом побеге 2020 г., но достоверное различие подтверждается только с длиной хвои на побегах 2021, 2019 и 2015 годов.

Сравнение средней длины хвои на центральном и боковых побегах модели № 4-5 показало, что различие составило 16,0 %.

Наибольшие коэффициенты варьирования отмечены на боковых побегах 2017 и 2018 гг. (21,6–22,0 %). Самый низкий коэффициент варьирования – на боковом побеге 2021 г.

На центральном побеге дерева № 5-6 длина хвои варьирует от 7,5 до 14,0 см при среднем значении 10,3 см. Средняя длина хвои на побеге 2020 года существенно превысила ($t_{\phi} > t_{05}$) данный показатель на побегах 2019 и 2021 гг. на 38,5–40,0 % (табл. 6).

На боковых побегах прироста 2021 года средняя длина хвои составляет 8,2–9,2 см. Хвоя большей длины сформировалась на побеге 2019 года. Установлено достоверное различие с длиной хвои на побегах 2021 и 2015 гг. (на 10,8–12,2 %), что подтверждается t -критерием. Коэффициент изменчивости находится в пределах 11,3–23,8 %. Более высокий уровень

варьирования (21,2–23,8 %) длины хвои наблюдается на побегах 2018–2015 гг.

Сравнение средней длины хвои на центральном и боковых побегах показало, что хвоя на центральном побеге на 19,8 % длиннее, чем на боковых.

Проведено сопоставление массы хвои в сухом состоянии на центральном и боковых побегах у модельных деревьев (табл. 7).

Наибольшая масса хвои (0,88–1,17 г) отмечена на центральных побегах в сравнении с боковыми (0,68–0,81 г).

Между высотой и количеством корней установлена тесная связь: коэффициент корреляции равен 0,996; массой хвои и ее длиной – 0,871. Между высотой и количеством ветвей в мутовках теснота связи средняя (0,536).

Таблица 5

Изменчивость длины хвои у модели № 4-5, см

Год мутовки	$X_{\text{ср}}$	$\pm m$	$V, \%$	$P, \%$	t_{ϕ} при $t_{05} = 2,01$	Уровень изменчивости
Центральный побег						
2021	8,1	0,27	17,6	3,4	3,47	средний
2020	9,5	0,30	12,2	3,2	–	средний
2019	8,6	0,32	11,6	4,1	2,05	низкий
Среднее значение	8,7					
Боковые побеги (прирост 2021 г.)						
2021	6,6	0,11	12,7	1,7	7,86	средний
2020	8,0	0,14	15,1	1,8	–	средний
2019	7,6	0,14	18,3	1,8	2,02	средний
2018	7,9	0,26	21,6	3,3	0,34	высокий
2017	7,6	0,22	22,0	2,9	1,53	высокий
2016	7,7	0,12	17,3	1,6	1,63	средний
2015	6,7	0,14	18,4	2,1	6,57	средний
2014	7,6	0,30	20,0	3,9	1,21	средний
Среднее значение	7,5					

Таблица 7

Масса 10 пучков хвои на центральных и боковых побегах 2019–2021 гг.

Показатель	Модель 4-4		Модель 4-5		Модель 5-6	
	г	% к $X_{\text{ср}}$	г	% к $X_{\text{ср}}$	г	% к $X_{\text{ср}}$
Центральные	1,04	58,8	0,88	56,4	1,17	59,1
Боковые	0,73	41,2	0,68	43,6	0,81	40,9
Итого	1,77	100,0	1,56	100,0	1,98	100,0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований была отражена индивидуальная изменчивость показателей 17-летних модельных деревьев сосны кедровой сибирской по высоте, диаметру ствола, развитию корневой системы, годичному приросту, длине и массе хвои. Приведенные данные позволили установить влияние отдельных показателей на интенсивность роста сосны кедровой сибирской. Выявлены особенности роста растений до и после посадки на плантацию. Установлено, что на интенсивность роста оказывает большое значение развитие корневой системы. Дерево № 5-6, отличающееся наибольшей высотой, характеризуется хорошо развитой корневой системой и другими показателями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Андропова М. М., Корчагов С. А. Рост и развитие сосны кедровой сибирской в Вологодской области // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. 2015. Т. 19, № 6. С. 45–49.

2. Бабинцева Р. М., Поликарпов Н. П., Чебакова Н. М. Природоохранная роль кедровых лесов // Кедровые леса Сибири. Новосибирск : Наука, 1985. С. 40–49.

3. Бабич Н. А., Соколов Н. Н., Бахтин А. А. Бесценный дар тайги. Архангельск: АГТУ, 1996. 224 с.

4. Бех И. А., Данченко А. М., Кибиш И. В. Сосна кедровая сибирская (сибирское чудо-дерево). Томск : ТГУ, 2004. 160 с.

5. Братилова Н. П., Калинин А. В. Оценка биопродуктивности плантационных культур кедровых сосен в зеленой зоне Красноярска. Красноярск : СибГТУ, 2012. 132 с.

6. Братилова Н. П., Калагин В. Н., Гришлова М. В., Коновалова Д. А., Лапшова М. С. Эндогенная изменчивость показателей сосны кедровой корейской на плантации // Хвойные бореальной зоны. 2020. Т. XXXVIII, № 1-2. С. 7–11.

7. Брынцев В. А., Коженкова А. А. Географическая изменчивость сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) при интродукции // Лесной журнал. 2016. № 6. С. 89–97.

8. Горошкевич С. Н. Динамика роста и плодоношения кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour): циклические или ациклические колебания // Вестник ТГУ. Биология. Томск : ТГУ, 2017. № 38. С. 104–120.
9. Данченко А. М., Бех И. А. Кедровые леса Западной Сибири. Томск : ТГУ, 2010. 424 с.
10. Дебков Н. М., Покляцкий Д. А., Паршина В.-В. Г. Оценка состояния потенциальных кедровников средней тайги Западной Сибири // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 221. С. 52–64. DOI: 10.21266/2079-4304.2017.221.52-64.
11. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва : Колос, 1973. 336 с.
12. Игнатенко М. М. Сибирский кедр. Москва : Наука, 1988. 161 с.
13. Ирошников А. И. Полиморфизм популяций кедров сибирского // Изменчивость древесных растений Сибири. Красноярск, 1974. С. 77–103.
14. Крылов Г. В., Таланцев Н. К., Казакова Н. Ф. Кедр. Москва : Лесная промышленность, 1983. 216 с.
15. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. Москва : Наука, 1973. 284 с.
16. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф., Братилова Н. П. Полезные свойства и методы размножения кедров сибирского. Красноярск : СибГТУ, 2003. 154 с.
17. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф., Пастухова А. М. Рост и семеношение кедровых сосен на плантации «Известковая» в зеленой зоне г. Красноярска. Красноярск : СибГТУ, 2014. 168 с.
18. Матвеева Р. Н., Мартынов В. С. Эндогенная изменчивость показателей сосны кедровой сибирской // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. Красноярск : СибГТУ, 2015. С. 46–49.
19. Некрасова Т. П. Строение корневой системы кедров сибирского, ее значение для повышения урожая семян // Возобновление и улучшение лесов. Новосибирск : Наука, 1964. Вып. 8. С. 156–158.
20. Некрасова Т. П. Припоселковые кедровники как потенциальная база семеноводства кедров сибирского // Эффективность использования лесных ресурсов и их восстановления в Западной Сибири. Новосибирск, 1971. С. 248–255.
21. Ситдинов Р. Г. Рост культур сосны кедровой сибирской на Южном Урале // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. Красноярск : СибГТУ, 2005. С. 114–117.
22. Титов Е. В. Царь сибирской тайги. Москва : Колос, 2007. 152 с.
23. Тихонова И. В. Морфоструктура ствола и кроны низкорослых деревьев *Pinus sylvestris* L. в условиях недостаточного увлажнения // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. XXX, № 1–2. С. 174–179.
24. Усольцев В. А., Щерба Н. П. Структура фитомассы кедровых сосен в плантационных культурах. Красноярск : СибГТУ, 1998. 134 с.
25. Чемякина С. Д. Влияние леса на биосферу и рекреационное использование лесных насаждений. Москва, 1978. 45 с.
26. Щерба Ю. Е., Бурова А. В., Мартынова Д. О. Изменчивость биометрических показателей 39-летнего клонового потомства плюсовых деревьев кедров сибирского на гибридно-семенной плантации // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. Красноярск : СибГТУ, 2021. С. 212–215.
27. Boratynska K., Bobowicz M. A. Variability of *Pinus uncinata* Ramond ex DC. as expressed in needle traits // Dendrobiology. 2000. Vol. 45. Pp. 7–16 : http://www.idpan.poznan.pl/images/stories/dendrobiology/vol145/45_7_16.
28. Kloseiko J., Tilk M. Drought tolerance of Scots pine in diverse growth conditions on a dune estimated on the basis of carbohydrates and chlorophyll fluorescence in needles // Forestry Studies. 2008. Vol. 49. Pp. 25–36.
29. Titov E. V. Bioecological aspects of plantation nut cultivation of Siberian cedar (*Pinus sibirica* Du Tour.) in Russia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, International scientific and practical conference “Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats, solutions” 23–24 October 2019, Voronezh, Russia, 392, 012069. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/392/1/012069/pdf>. Doi:10.1088/1755-1315/392/1/012069.

REFERENCES

1. Andronova M. M., Korchagov S. A. Rost i razvitie sosny kedrovoy sibirskoy v Vologodskoj oblasti // Vestnik MGUL. Lesnoj vestnik. 2015. T.19, № 6. S. 45–49.
2. Babinceva R. M., Polikarpov N. P., Chebakova N. M. Prirodozashchitnaya rol' kedrovyyh lesov // Kedrovyye lesa Sibiri. Novosibirsk : Nauka, 1985. S. 40–49.
3. Babich N. A., Sokolov N. N., Bahtin A. A. Bes-cennyj dar tajgi. Arhangel'sk: AGTU, 1996. 224 s.
4. Bekh I. A., Danchenko A. M., Kibish I. V. Sosna kedrovaya sibirskaya (sibirskoe chudo-derevo). Tomsk : TGU, 2004. 160 s.
5. Bratilova N. P., Kalinin A. V. Ocenka bioproduktivnosti plantacionnyh kul'tur kedrovyyh sosen v zelenoj zone Krasnoyarska. Krasnoyarsk : SibGTU, 2012. 132 s.
6. Bratilova N. P., Kalagin V. N., Grishlova M. V., Kononova D. A., Lapshova M. S. Endogennaya izmenchivost' pokazatelej sosny kedrovoy korejskoj na plantacii // Hvojnye boreal'noj zony. 2020. T XXXVIII, № 1-2. S. 7–11.
7. Bryncev V. A., Kozhenkova A. A. Geograficheskaya izmenchivost' sosny kedrovoy sibirskoy (Rinus sibirica Du Tour) pri introdukcii // Lesnoj zhurnal. 2016. № 6. S. 89–97.
8. Goroshkevich S. N. Dinamika rosta i plodonosheniya kedra sibirskogo (Rinus sibirica Du Tour) : ciklicheskie ili aciklicheskie kolebaniya // Vestnik TGU. Biologiya. Tomsk : TGU, 2017. № 38. S. 10–120.
9. Danchenko A. M., Bekh I. A. Kedrovye lesa Zapadnoj Sibiri. Tomsk : TGU, 2010. 424 s.
10. Debkov N. M., Poklyackij D. A., Parshina V.-V. G. Ocenka sostoyaniya potencial'nyh kedrovnikov srednej tajgi Zapadnoj Sibiri // Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. 2017. Vyp. 221. S. 52–64. DOI: 10.21266/2079-4304.2017.221.52-64.
11. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta. Moskva : Kolos, 1973. 336 s.
12. Ignatenko M. M. Sibirskij kedr. Moskva : Nauka, 1988. 161 s.
13. Iroshnikov A. I. Polimorfizm populyacij kedra sibirskogo // Izmenchivost' drevesnyh rastenij Sibiri. Krasnoyarsk, 1974. S. 77–103.

14. Krylov G. V., Talancev N. K., Kazakova N. F. *Kedr. Moskva : Lesnaya promyshlennost'*, 1983. 216 s.
15. Mamaev S. A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnyh rastenij*. Moskva: Nauka, 1973. 284 s.
16. Matveeva R. N., Butorova O. F., Bratilova N. P. *Poleznye svoystva i metody razmnozheniya kedra sibirskogo*. Krasnoyarsk: SibGTU, 2003. 154 s.
17. Matveeva R. N., Butorova O. F., Pastuhova A. M. *Rost i semenoshenie kedrovyyh sosen na plantacii "Izvestkovaya" v zelenoy zone g. Krasnoyarska*. Krasnoyarsk : SibGTU, 2014. 168 s.
18. Matveeva R. N., Martynov V. S. *Endogennaya izmenchivost' pokazatelej sosny kedrovoj sibirskoj // Plodovodstvo, semenovodstvo, introdukciya drevesnyh rastenij*. Krasnoyarsk : SibGU, 2015. S. 46–49.
19. Nekrasova T. P. *Stroenie kornevoj sistemy kedra sibirskogo, ee znachenie dlya povysheniya urozhaya semyan // Vozrobnovlenie i uluchshenie lesov*. Novosibirsk: Nauka, 1964. Vyp. 8. S. 156–158.
20. Nekrasova T. P. *Priposelkovye kedrovniki kak potencial'naya baza semenovodstva kedra sibirskogo // Effektivnost' ispol'zovaniya lesnyh resursov i ih vosstanovleniya v Zapadnoj Sibiri*. Novosibirsk, 1971. S. 248–255.
21. Sitdikov R. G. *Rost kul'tur sosny kedrovoj sibirskoj na Yuzhnom Urale // Plodovodstvo, semenovodstvo, introdukciya drevesnyh rastenij*. Krasnoyarsk : SibGTU, 2005. S. 114–117.
22. Titov E. V. *Car' sibirskoj tajgi*. Moskva: Kolos, 2007. 152 s.
23. Tihonova I. V. *Morfostruktura stvola i krony nizkoroslyh derev'ev Pinus sylvestris L. v usloviyah nedostatochnogo uvlazhneniya // Hvojnye boreal'noj zony*. 2012. T. XXX, № 1–2. S. 174–179.
24. Usol'cev V. A., Shcherba N. P. *Struktura fitomassy kedrovyyh sosen v plantacionnyh kul'turah*. Krasnoyarsk : SibGTU, 1998. 134 s.
25. Chemyakina S. D. *Vliyanie lesa na biosferu i rekreacionnoe ispol'zovanie lesnyh nasazhdenij*. Moskva, 1978. 45 s.
26. Shcherba Yu. E., Burova A. V., Martynova D. O. *Izmenchivost' biometricheskih pokazatelej 39-letnego klonovogo potomstva plyusovyh derev'ev kedra sibirskogo na gibridno-semennoj plantacii // Plodovodstvo, semenovodstvo, introdukciya drevesnyh rastenij*. Krasnoyarsk : SibGU, 2021. S. 212–215.
26. Boratynska K., Bobowicz M. A. *Variability of Pinus uncinata Ramond ex DC. as expressed in needle traits // Dendrobiology*. 2000. Vol. 45. Pp. 7–16 : http://www.idpan.poznan.pl/images/stories/dendrobiology/vol145/45_7_16.
27. Kloseiko J., Tilk M. *Drought tolerance of Scots pine in diverse growth conditions on a dune estimated on the basis of carbohydrates and chlorophyll fluorescence in needles // Forestry Studies*. 2008. Vol. 49. Pp. 25–36.
28. Titov E. V. *Bioecological aspects of plantation nut cultivation of Siberian cedar (Pinus sibirica Du Tour.) in Russia*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, International scientific and practical conference "Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats, solutions" 23–24 October 2019, Voronezh, Russia, 392, 012069. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/392/1/012069/pdf>. Doi:10.1088/1755-1315/392/1/012069.

© Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф.,
Щерба Ю. Е., Дырдин С. Н.,
Комаров И. В., Коростелев А. С., 2023

Поступила в редакцию 19.01.2023
Принята к печати 04.04.2023

**ОПЫТ МНОГОРОТАЦИОННОГО ВЫРАЩИВАНИЯ КОНТЕЙНЕРНОГО
ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ
В ТЕПЛИЦАХ С РЕГУЛИРУЕМЫМ МИКРОКЛИМАТОМ**

А. С. Оплетев, Е. В. Жигулин, С. В. Залесов*

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

*Проанализированы возможности выращивания сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) и ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) с закрытой корневой системой в теплицах с регулируемым микроклиматом. Экспериментально доказана возможность ежегодно выращивать несколько ротаций указанного посадочного материала. Отмечается, что если сеянцы сосны обыкновенной и лиственницы Сукачева достигают стандартных размеров за период выращивания в теплицах, то сеянцы ели сибирской нуждаются в доращивании.*

Ключевые слова: лесовосстановление, посадочный материал, сеянцы, закрытая корневая система, теплицы.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 2, P. 151–156

**EXPERIENCE OF MULTI-ROTATION CULTIVATION OF CONTAINER
PLANTING MATERIAL FOR ARTIFICIAL REFORESTATION IN GREENHOUSES
WITH CONTROLLED MICROCLIMATE**

A. S. Opletaev, E. V. Zhigulin, S. V. Zalesov*

Ural State Forestry University
37, Siberian Tract, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation
*E-mail: zalesovsv@m.usfeu.ru

*The possibilities of growing seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Sukachev larch (*Larix sukaczewii* Dyl.) and Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) with a closed root system in greenhouses with a controlled microclimate are analyzed. The possibility of growing several rotations of the specified planting material annually was proved experimentally. It is noted that if seedlings of Scots pine and Sukachev larch reach standard sizes during the growing period in greenhouses, then seedlings of Siberian spruce need to be grown.*

Keywords: reforestation, planting material, seedlings, closed root system, greenhouses.

ВВЕДЕНИЕ

Доминирование в практике лесопользования сплошнолесосечных рубок и наблюдающееся в последние годы увеличение площади лесных пожаров вызывает необходимость повышенного внимания к вопросам лесовосстановления. Из трех существующих способов лесовосстановления основным был и остается естественный с применением мер содействия путем сохранения в процессе проведения лесосечных работ подроста предварительной генерации, минерализации почвы, оставления обсеменителей, ограждения вырубок и химического ухода для снятия конкуренции всходам и подросту со стороны живого напочвенного покрова (ЖНП) и подлеска (Залесов, 2020). Однако в ряде случаев естественное лесовосстановление не позволяет достичь желаемых результатов по причине отсутствия подроста предварительной генерации, надежных обсеменителей, высокой

конкуренции со стороны подлеска, ЖНП и нежелательных древесных пород. Картина усугубляется из-за чрезвычайно большой максимально допустимой нормативно-правовыми документами ширины лесосек при сплошнолесосечных рубках (Об утверждении Правил ..., 2020).

Указанное, во избежание нежелательной смены пород, заболачивания или закустаривания вырубок и гарей, вызывает необходимость увеличения доли искусственного или комбинированного лесовосстановления. В РФ накоплен значительный опыт по искусственному лесовосстановлению в самых разных лесорастительных условиях (Залесов, 2002; Фрейберг, 2012; Залесов, 2013; Залесов, 2017). В то же время расширение масштабов искусственного лесовосстановления нередко сдерживается недостатком посадочного материала и недоступностью мест проведения лесокультурных работ весной и осенью.

Проблема может быть решена выращиванием и использованием в лесокультурной практике сеянцев с закрытой корневой системой (ЗКС). Экспериментально доказано [8–10], что выращивание сеянцев с ЗКС позволяет значительно сократить посевные площади в лесных питомниках из-за сокращения сроков выращивания. Кроме того, сеянцы с ЗКС можно высаживать на лесокультурные площади в течение всего периода, когда почва находится в незамерзшем состоянии. Следовательно, можно спланировать проведение лесокультурных работ в течение всего весенне-летне-осеннего периода.

В то же время, опыт выращивания посадочного материала с ЗКС в ряде субъектов РФ крайне ограничен или даже отсутствует. Не является исключением в этом плане и Уральский регион, где до настоящего времени нет лесного селекционно-семеноводческого центра, а работы по выращиванию сеянцев с ЗКС носят экспериментальный характер. Последнее обусловило направление наших исследований.

ЦЕЛЬ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель исследований – анализ возможности многоротационного выращивания сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) и ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) с ЗКС в теплицах с регулируемым микроклиматом и разработка на этой основе предложений по увеличению выхода стандартного посадочного материала с единицы площади.

Основной объем экспериментальных материалов был собран на производственной базе АО «Тепличное», которая размещается в поселке Садовый Свердловской области. Другими словами, район проведения исследований – Средне-Уральский таежный лесной район (Об утверждении Перечня ..., 2014).

Исследования проводились в стационарных теплицах четвертого поколения с регулируемым микроклиматом. В процессе проведения работ анализировались возможности ускоренного выращивания сеянцев сосны обыкновенной, лиственницы Сукачева и ели сибирской с ЗКС.

Для выращивания посадочного материала с ЗКС использовались районированные семена вышеуказанных древесных пород текущего года или со сроком хранения не более 2 лет. Посев семян производился в кассеты разной марки и размера (табл. 1).

Как следует из материалов табл. 1 исследования проводились при выращивании сеянцев с различным комом грунта, что позволило установить оптимальный размер кассет при выращивании сеянцев с ЗКС в конкретных лесорастительных условиях.

При оценке выращиваемого посадочного материала в качестве стандартных размеров использовались значения, указанные в нормативно-правовых документах (Об утверждении Правил ..., 2021). Высаживаемые на лесокультурную площадь сеянцы должны иметь высоту не менее 8 см и толщину стволика у шейки корня не менее 2 мм. При этом торфяной стаканчик должен быть хорошо сформирован. Корневые системы сеянцев не должны допускать его рассыпания. Кроме того, в нормативно-правовом документе (Об утверждении Правил ..., 2021 г. № 1024) отмечается, что высота стаканчика не должна быть менее 7,3 см, а объем при выращивании сеянцев ели не должен быть менее 85 см³, а сосны – 50 см³.

Обмер биометрических показателей сеянцев производился вручную с использованием измерительных инструментов. Высота сеянцев определялась с точностью до 1 мм, а диаметр у шейки корня с точностью 0,1 мм.

Пробы для определения качества семян отбирались в соответствии с требованиями ГОСТ 13056.4–67 (ГОСТ 13056–4067, 1987). Установление размера семян производилось при помощи ГИС MapInfo с точностью до 0,1 мм (Чермных, 2013). В последнем случае из среднего образца отбиралось не менее 250 семян, которые помещались в сканер или фотографировались на белом фоне с высоким разрешением.

Срок выращивания посадочного материала в теплице варьировался по вариантам опыта от 60 до 90 дней. Затем сеянцы перемещались для доращивания и адаптации к условиям местной среды на открытые полигоны. При осеннем выращивании сеянцы для доращивания и закаливания оставляли в теплице, регулируя в ней микроклиматические показатели. Сеянцы, достигшие стандартных показателей, помещали в холодильник.

При выращивании сеянцев в теплицах полив производился при влажности субстрата ниже 60 %. Температура субстрата в кассетах различных типов измерялось с точностью до 0,1 °С. Освещенность устанавливалась с помощью люксметра (Laser liner LuxTest-Master 082. 130 А).

Таблица 1
Типы контейнеров и кассет для выращивания сеянцев с ЗКС и их характеристики

Тип кассеты	Количество ячеек, шт.	Размеры (Д×Ш×В), мм	Количество сеянцев на 1 м ² , шт.	Объем ячейки, мл	Размер кома с корнями
Контейнер Р9	1	90×90×90	122	730	Очень крупный
Plantek 35F	35	400×300×130	291	275	Крупный
Plantek64FD	64	385×385×110	434	128	Крупный
Plantek64F	64	385×385×73	434	115	Средний
Plantek81F	81	386×385×73	549	85	Мелкий
PlantekAir-Blok 100	100	385×385×90	676	81	Мелкий

Семена высевали в разные сроки, поскольку теплицы давали возможность регулировать микроклимат. Помимо поддержания температуры воздуха в теплице и заданной влажности субстрата, производилось искусственное освещение дуговыми натриевыми трубчатыми лампами. Включение указанных ламп производилось на основе данных о продолжительности дня, полученных с метеостанции тепличного комплекса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выращивание посадочного материала с ЗКС основывается на использовании качественных семян. Известно, что дружные всходы могут обеспечить близкие по размеру семена. Однако по вопросам сортировки семян и их разделения на фракции имеется много вопросов. Кроме того, при автоматическом посеве семян необходимо иметь объективную информацию о размерах семян. Последнее объясняется тем, что оборудование для точного высева семян в кассеты, работающее по механическому принципу, обладает ограниченным диапазоном регулировки. В то же время пневматические сеялки для захвата семян используют вакуум, что позволяет более точно регулировать высевальные механизмы в зависимости от размера и массы семян. Не следует забывать, что вакуумные линии более производительны, по сравнению с механическими. Следовательно, в задачу исследований на первом этапе входило установление технических возможностей контроля биометрических показателей семян.

Выполненный С. Н. Луганской анализ показал, что различия в массе 1000 шт. семян сосны обыкновенной в различных партиях семян, собранных на территории Свердловской области, составляют 1,5–1,8 раза, а показатели средней массы 1000 шт. семян варьируются в пределах от 3,21 до 8,28 г (Луганская, 2001). Особо следует отметить, что геометрические размеры семян существенно различаются даже в пределах одной партии.

В процессе исследований был разработан метод, позволяющий облегчить процесс контроля за размером семян основных хвойных пород лесобразователей с помощью геоинформационной системы (ГИС) MapInfo. Система позволяет производить оцифровку

растровых изображений в масштабе, заданном масштабной линейкой.

Установлено, что данные о максимальных, минимальных и средних размерах семян позволяют точно настроить их высев, сортировку и сепарацию. Ширина несортированных семян сосны обыкновенной варьируется от 1,9 до 2,8 мм, а длина от 3,8 до 5,2 мм. Указанные размеры позволяют распределить семена на три фракции по ширине: крупные – 2,5 мм и более, средние 2,0–2,4 мм и мелкие – менее 2 мм. Распределение по ширине семян объясняется тем, что при сортировке на решетках в отверстия заданного размера семена проваливаются по меньшему размеру, то есть по ширине.

Если учесть, что от размера семян зависит их всхожесть, энергия прорастания и темпы роста сеянцев, то логичным станет вывод о необходимости высева семян каждой фракции отдельно. Мелкие семена при выращивании сеянцев с ЗКС рекомендуется не применять.

Целесообразность сортировки семян устанавливалась путем их посева в трех вариантах: семена крупной фракции, семена средней фракции, несортированные семена.

Энергия прорастания семян сосны обыкновенной оценивалась на седьмые сутки после посева, а всхожесть спустя 15 суток. Исследования показали, что несортированные семена характеризовались энергией прорастания 81,6 % и всхожести 80,2 %. Семена крупной фракции имели показатели энергии прорастания 93,2 % и всхожести 91,8 %, а средней фракции 84,0 и 83,8 %, соответственно (рис. 1, 2).

Как уже отмечалось, сеянцы с ЗКС выращивались в теплицах с регулируемым климатом. Однако опыты показали, что процесс прорастания семян можно ускорить, поместив кассеты в камеры проращивания, где легче регулировать микроклимат, поддерживая оптимальные значения температуры и влажности. Использование камер проращивания позволяет обеспечить прорастание 50 % семян сосны за 5–7 суток, а семян ели за 10 суток.

Каждый этап выращивания сеянцев характеризуется индивидуальными требованиями к микроклиматическим показателям (табл. 2).

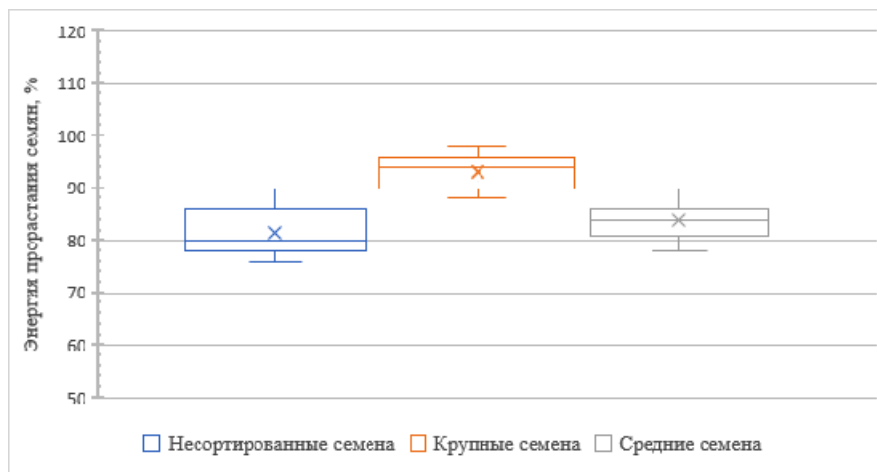


Рис. 1. Энергия прорастания семян сосны обыкновенной по вариантам опыта

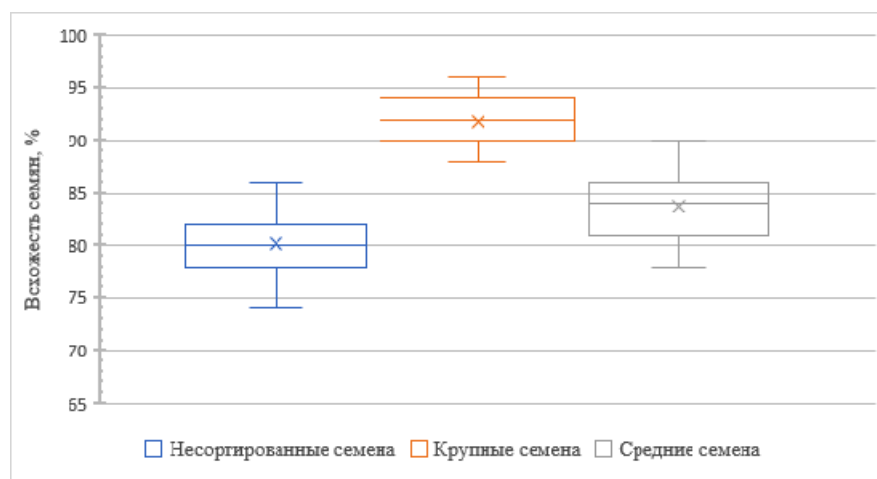


Рис. 2. Всхожесть семян сосны обыкновенной по вариантам опыта

Таблица 2

Режим микроклимата в теплице при проведении исследований

Срок после посева, недель	Физиологическое состояние	Температура воздуха, °С	Влажность воздуха, %	Тип помещения
0–1	Набухание и прорастание семян	+22...+25	90	Камера проращивания
2–3	Появление и рост всходов	+22...+25	75	Теплица
4–10	Интенсивный рост	+20...+22	65	Теплица
11–12	Закладка верхушечной почки	+16...+20	65	Теплица или открытый полигон
13–15	Закладка верхушечной почки, одревеснение	+10...+16	65–85	Открытый полигон или холодная теплица
16–17	Одревеснение и закалка	+4...+10	65–85	Открытый полигон или хранилище
Более 17	Состояние покоя	0...–4	75	Хранилище

Из материалов табл. 2 следует, что в теплицах с регулируемым микроклиматом можно выращивать 4 ротации посадочного материала. При этом сосна обыкновенная и лиственница Сукачева способны за один сезон достигать стандартных размеров, а сеянцы ели сибирской нуждаются в доращивании. Другими словами, необходимы дальнейшие исследования по совершенствованию агротехники выращивания сеянцев ели сибирской с ЗКС.

Полагаем, что в зимний период, когда сеянцы ели сибирской, не достигшие стандартных размеров, нельзя поместить на открытый полигон, их можно доращивать в теплицах, регулируя микроклимат, в том числе освещение.

Сеянцы сосны обыкновенной и лиственницы Сукачева, достигшие стандартных размеров, хранятся в холодильниках при температуре 4 °С.

Особо следует отметить, что на рост сеянцев значительное влияние оказывает освещенность. Уменьшение светового дня при естественном освещении служит сигналом для сеянцев о прекращении роста в высоту и закладывании верхушечной почки. Нами при выращивании сеянцев в осенне-зимний период производилась их досветка ДНАТ лампами. Зависимость высоты сеянцев сосны обыкновенной от интенсивности освещения приведена на рис. 3.

Проведенные исследования показали, что суммарная дневная освещенность на уровне вегетационных столов с выращиваемыми растениями для сосны обыкновенной и лиственницы Сукачева составляет $200 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$. Для ели сибирской указанная величина составляет $150 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$. Критическая длина дня для изучаемых хвойных пород составляет 12–13 ч. Однако, учитывая обширность ареалов хвойных пород, можно предположить, что данные о критической продолжительности светового дня, у сеянцев из семян, собранных в других регионах, может отличаться от приведенных нами данных.

Субстрат в кассетах разных марок характеризуется спецификой температуры и влажности. Субстрат в кассетах малого объема быстро высыхает, что вызывает необходимость увеличения частоты поливов.

Экспериментально установлено, что в условиях климата южной тайги Среднего Урала при выращивании хвойных пород лучше использовать кассеты с большим объемом субстрата для исключения его перегрева, а в северных регионах, где опасность перегрева субстрата минимальна, предпочтительны кассеты с мелким и средним комом (Plantek Air Blok 100, Plantek 81F, Plantek 64F). При этом следует дополнительно отметить, что кассеты типа Plantek 64F и Plantek 64FD являются оптимальными с точки зрения расхода воды при верхнем поливе.

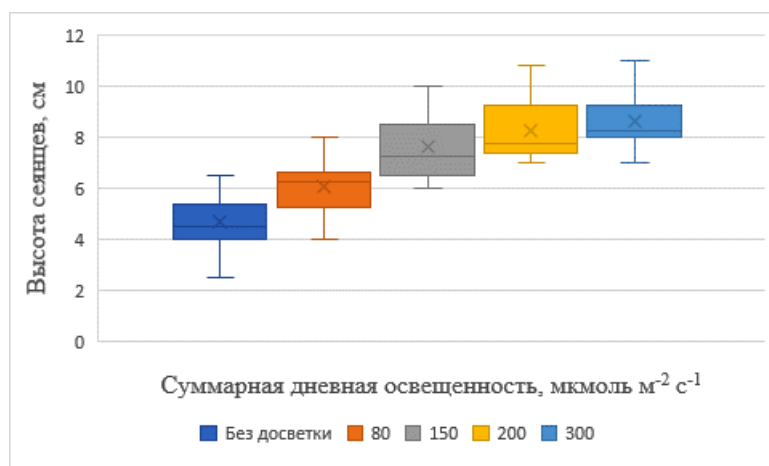


Рис. 3. Интенсивность освещения и высота сеянцев сосны

Применяемый в настоящее время верхний полив имеет ряд существенных недостатков. Во избежание падения влажности субстрата в кассетах с мелкими ячейками типа Plantek Air Blok 100 полив следует производить практически ежедневно. При этом часть воды или питательных растворов, используемых при выращивании посадочного материала с ЗКС, теряется, точнее сбрасывается на прилегающее пространство. Последнее не только приводит к перерасходу воды и увеличению себестоимости посадочного материала, но и ухудшает экологическую обстановку вблизи тепличного комплекса.

Нами в качестве альтернативы верхнему поливу предложен нижний полив (подтопление), при котором используемая вода находится в замкнутом цикле и ее излишки используются при очередном поливе.

Исследования показали, что размеры сеянцев при нижнем поливе отличаются от таковых при верхнем поливе статистически недостоверно. Другими словами, верхний полив вполне можно заменить нижним, улучшив тем самым экономические показатели выращивания посадочного материала с ЗКС.

ВЫВОДЫ

1. Выращивание сеянцев сосны обыкновенной и лиственницы Сукачева с ЗКС в условиях Среднего Урала в теплицах четвертого поколения с регулируемым микроклиматом позволяет обеспечить 4 ротации.
2. Для сокращения сроков выращивания стандартного посадочного материала необходимо использовать отсортированные семена крупной фракции и для дружных всходов помещать кассеты с семенами в камеры проращивания.
3. Для каждого вида древесных пород необходимо выбрать оптимальный режим температуры и влажности воздуха и субстрата.
4. При выращивании сеянцев в осенне-зимний период необходимо искусственное освещение с длиной светового дня не менее 12–13 часов.
5. В целях сокращения расхода воды и, как следствие этого, снижения себестоимости выращивания сеянцев, необходимо подбирать кассеты определенного размера и перейти от верхнего полива на нижний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- ГОСТ 13056.4–67. Семена деревьев и кустарников. Метод определения массы 1000 штук семян. Взамен ГОСТ 2937–55 в части VII. М., 1987. 3 с.
- Влияние вида посадочного материала на рост насаждений ели и сосны на постпирогенных землях северо-запада России / А. В. Жигунов, Д. А. Данилов, Т. А. Шестакова, В. Ю. Неверовский // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: лес. Экология. Природопользование. 2016. № 3 (31). С. 30–39.
- Жигунов А. В., Шевчук С. В. Лесные культуры сосны и ели из посадочного материала, выращенного комбинированным методом // ИВУЗ. Лесной журнал, 2006. № 6. С. 13–19.
- Жигунов А. В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. СПб.: СПбНИИЛХ, 2000. 293 с.
- Залесов С. В. Лесоводство. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 259 с.
- Залесов С. В., Толкач О. В., Фрейберг И. А., Черноусова Н. Ф. Опыт создания лесных культур на солонцах хорошей лесопригодности // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 9. С. 42–47.
- Залесов С. В., Лобанов А. Н., Луганский Н. А. Рост и продуктивность сосняков искусственного и естественного происхождения. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. 112 с.
- Формирование искусственных насаждений на зоолотвале Рефтинской ГРЭС / С. В. Залесов, Е. С. Залесова, А. А. Зверев, А. С. Оплетаев, А. А. Терин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2013. № 2 (332). С. 66–73.
- Луганская С. Н. Изменчивость массы, энергии прорастания и всхожести семян сосны обыкновенной по Свердловской области // Леса Урала и хозяйство в них. 2001. № 21. С. 227–236.
- Об утверждении Перечня лесорастительных зон РФ и Перечня лесных районов РФ: Утв. Приказом Минприроды России от 18.08.2014 г. № 367.
- Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса РФ: Утв. Приказом Минприроды России от 01.12.2020. № 993.

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

Фрейберг И. А., Залесов С. В., Толкач О. В. Опыт создания искусственных насаждений в лесостепи Зауралья. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2012. 121 с.

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

REFERENCES

On the approval of the Rules for reforestation, the form, composition, procedure for agreeing on a reforestation project, the grounds for refusing to approve it, as well as the requirements for the format in the electronic form of a reforestation project: Approved. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated December 29, 2021. No. 1024.

Zalesov S. V. Forestry. Yekaterinburg : Ural State Forestry Engineering. un-t, 2020. 259 p.

On the approval of the Rules for timber harvesting and the specifics of timber harvesting in forest areas specified in Article 23 of the Forest Code of the Russian Federation : Approved. By order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 01.12.2020. No. 993.

Zalesov S. V., Lobanov A. N., Lugansk N. A. Growth and productivity of pine forests of artificial and natural origin. Yekaterinburg : Ural. state forest engineering un-t, 2002. 112 p.

Freiberg I. A., Zalesov S. V., Pusher O. V. Experience in creating artificial plantations in the forest-steppe of the Trans-Urals. Yekaterinburg : Ural. state forest engineering un-t, 2012. 121 p.

Formation of artificial plantations at the ash dump of Reftinskaya GRES / S. V. Zalesov, E. S. Zalesova, A. A.

Zverev, A. S. Opletaev, A. A. Terin // News of higher educational institutions. Forest magazine. 2013. No. 2 (332). pp. 66–73.

Experience in creating forest plantations on solonchets of good forest suitability / S. V. Zalesov, O. V. Tolkach, I. A. Freiberg, N. F. Chernousova // ecology and industry of Russia. 2017. V. 21. No. 9. S. 42–47.

Zhigunov A. V. Theory and practice of growing planting material with a closed root system. St. Petersburg: SPbNIILKh, 2000. 293 p.

Zhigunov A. V., Shevchuk S. V. Forest crops of pine and spruce from planting material grown by the combined method // IVUZ. Forest Journal, 2006. No. 6. P. 13–19.

Influence of the type of planting material on the growth of spruce and pine plantations on post-pyrogenic lands in the north-west of Russia / A. V. Zhigunov, D. A. Danilov, T. A. Shestakova, V. Yu. Neverovsky // Bulletin of the Volga State Technological University. Series: forest. Ecology. Nature management. 2016. No. 3 (31). pp. 30–39.

On the approval of the List of Forest Zones of the Russian Federation and the List of Forest Regions of the Russian Federation: Approved. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated August 18, 2014, No. 367.

GOST 13056.4–67. Seeds of trees and shrubs. Method for determining the mass of 1000 seeds. Instead of GOST 2937–55 in part VII. M., 1987. 3 p.

Chermnykh A. I., Opletaev A. S. Analysis of a separate geobase using SOQ queries to determine statistically reliable information on the example of the GIS MAPINFO // Forests of Russia and economy in them. 2013. No. 1 (44). pp. 53–54.

Luganskaya S. N. Variability of mass, germination energy and germination of seeds of Scotch pine in the Sverdlovsk region // Forests of the Urals and the economy in them. 2001. No. 21. S. 227–236.

© Оплетаев А. С., Жигулин Е. В.,
Залесов С. В., 2023

Поступила в редакцию 18.01.2023
Принята к печати 04.04.2023

**ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ, КОМПОЗИЦИЯ И СОСТОЯНИЕ
ИСКУССТВЕННЫХ ХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЙ СКВЕРОВ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА****О. М. Ступакова, Т. Ю. Аксянова**

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

В работе приводятся данные обследования искусственных хвойных насаждений скверов города Красноярска. Работа была разделена на шесть этапов: от анализа распределения категорий земель в городской площади до общего и порайонного анализа видового разнообразия, композиции и состояния хвойных насаждений модельных скверов. Исследования проводились натурным способом с применением шкалы категорий состояния методики инвентаризации городских зеленых насаждений, разработанной Академией коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова. Приведены и проанализированы результаты определения количественного состава насаждений, участия хвойных пород в различных типах садово-парковых насаждений и категорий их состояния. Сформулированы выводы и даны рекомендации. Результаты проведенных работ имеют высокую значимость для проведения научных и прикладных, проектных работ в области озеленения как города Красноярска, так и других населенных мест.

Ключевые слова: хвойные, тип садово-паркового насаждения, состояние, сквер, объект общего пользования, видовой состав.

*Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 2, P. 157–160***SPECIES DIVERSITY, COMPOSITION AND CONDITION
OF ARTIFICIAL CONIFEROUS PLANTATIONS OF SQUARES IN KRASNOYARSK****O. M. Stupakova, T. Yu. Aksyanova**

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

The work provides data on a survey of artificial coniferous plantations of squares in Krasnoyarsk. The work was divided into six stages: from the analysis of the distribution of land categories in the city square to the general and district analysis of species diversity, composition and condition of coniferous plantations of model squares. The studies were carried out in – situ using a scale of status categories of the method of inventory of urban green spaces developed by the Academy of Public Utilities named after K. D. Pamfilov. The results of determining the quantitative composition of plantations, the participation of conifers in various types of garden and park plantations and categories of their condition are presented and analyzed. Conclusions are formulated and recommendations are given. The results of the carried out work are of high importance for scientific and applied, design work in the field of landscaping both in Krasnoyarsk and in other settlements.

Keywords: coniferous, type of garden and park plantation, condition, square, common areas, species composition.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно государственному докладу «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2020 году» [1], государственному докладу «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году» [2] и аналитическому обзору состояния загрязнения атмосферного воздуха за 2020 год [3], в 2020 году уровень загрязнения города Красноярска характеризовался как «высокий», зафиксирован неприемлемый канцерогенный риск [2]. Повторяемость загрязнения

атмосферного воздуха за 2020 год выше 10 % как минимум по одному загрязняющему веществу наблюдалась на всех автоматизированных пунктах наблюдения, что говорит о том, что абсолютно экологически чистого района по показателю загрязненности воздушного бассейна в Красноярске не существует [4], что подтверждает актуальность научно-исследовательских и проектных работ в области озеленения – как количественных, так и качественных показателей городских зеленых насаждений.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Работа по определению видового состава, композиции и состояния хвойных насаждений скверов города Красноярска была разделена на несколько этапов.

1 этап – анализ распределения категорий земель в городской площади с помощью ГИС-технологий (ресурсы космоснимков спутника Sentinel-2, Open Street Maps и Google Earth). Для анализа выделялись следующие категории земель: растительность, водные объекты и городская застройка. Приведенные категории условны, но опираются на категориальный аппарат Земельного кодекса Российской Федерации [4] (категория «водные объекты» соответствует категории «земли водного фонда»; категория «городская застройка» соответствует категории «земли населенных пунктов», категория же «растительность» включает в себя все площади, занятые объектами зеленой инфраструктуры в пределах категории «земли населенных пунктов»). Первоначально были рассмотрены соотношения категорий земель для всей территории города, после чего был проведен анализ отдельно для каждого района (табл. 1) [5].

От общей площади города растительность занимает 61,1 %, городская застройка - 32 %, водные объекты – 6,9 %. Наибольшую площадь занимают Октябрьский и Советский районы, 24,1 и 23,4 % от площади города соответственно. Суммарно эти два района занимают почти половину всей площади Красноярска – 47,5 %. Третье место по площади занимает Свердловский район – 20,2 %. Железнодорожный район наименьший по площади – 3,1 % от площади города.

Распределение категорий земель по районам неравномерно. Наблюдается тенденция к доминированию городской застройки в центральной части города. На периферии, наоборот, преобладают земли категории «растительность».

2 этап – выделение категории насаждений общего пользования, имеющих перспективу формирования общественных пространств: парк, сквер, бульвар, лесопарк. Суммарная площадь общественных пространств всех категорий 27,92 км², что составляет 7,39 % от площади города. Наибольшую площадь занимают парки (6,96 %), остальные категории представлены существенно меньшими площадями (суммарно 162,5 га или 0,43 % от площади города). Распределение насаждений общего пользования по административным районам города неравномерно. Площадь скверов по административным районам распределена более равномерно.

3 этап – формирование общего реестра объектов озеленения общего пользования. Объекты озеленения общего пользования города Красноярска представле-

ны 21 парком (включая национальный парк и лесопарки согласно генеральному плану г. Красноярска [6]), 13 бульварами (включая набережные) и 138 скверами. Для последующей работы были выбраны скверы города, что обусловлено их достаточным количеством в каждом районе.

4 этап – натурное обследование территорий скверов в каждом районе, составление рейтинга, выбор модельных площадей. На основе результатов ранжирования в каждом районе было выбрано по три модельных сквера: с лидирующими, средними и низкими показателями по качеству благоустройства и озеленения, перспективности формирования общественного пространства.

5 этап – обследование насаждений модельных территорий. В ходе полевых исследований выявлен видовой состав древесной флоры модельных скверов. В результате анализа модельных площадей на встречаемость видов в г. Красноярске отмечены 59 видов из 17 семейств древесных растений, из которых одно семейство хвойных (сосновые), представленное пятью видами и формами.

6 этап – общий и порайонный анализ видового разнообразия, композиции и состояния хвойных насаждений модельных территорий (табл. 2).

Преобладающей хвойной породой является лиственница сибирская (372 экз.), самой малочисленной является ель колючая, включая форму голубая (80 экз.). Самыми «хвойными» районами являются Октябрьский (199 экз.) и Свердловский (195 экз.). Районами с низким включением хвойных в композиции модельных скверов являются Советский (28 экз.) и Железнодорожный (51 экз.). В композиционном решении модельных площадей выявлены три типа садово-парковых насаждений (ТСПН): группа, рядовая посадка и соли-тер. Распределение среди ТСПН следующее: 46,1 % (337 экз.) включены в групповые посадки, 45,3 % (331 экз.) представлены рядовыми посадками и 8,6 % (63 экз.) представлены солитерами. При этом, ель сибирская и сосна обыкновенная в большей степени задействованы в групповых посадках (77 и 67 экз. соответственно), ель колючая включая форму голубая – в рядовых посадках (71 экз.), лиственница сибирская практически равномерно представлена как в групповых, так и в рядовых посадках (188 и 172 экз. соответственно). Подавляющее большинство экземпляров хвойных имеют вторую категорию состояния – 482 экз. (66 %), первую категорию состояния имеют 22,3 % (163 экз.) посадок, третью категорию – 86 экз. (11,7 %). Можно отметить, что худшим состоянием обладают посадки сосны обыкновенной.

Таблица 1

Распределение площади районов города Красноярска по категориям земель, км²

Название района	Городская застройка	Растительность	Водные объекты	Общая площадь
Октябрьский	18,27	68,12	4,53	90,92
Советский	35,25	46,09	7,19	88,53
Свердловский	17,68	53,77	5,01	76,46
Ленинский	18,92	29,95	3,80	52,67
Центральный	14,81	16,56	3,09	34,46
Кировский	8,97	13,60	0,89	23,46
Железнодорожный	6,99	3,07	1,48	11,53

Таблица 2

Распределение количества экземпляров хвойных по типам садово-парковых насаждений и категории состояния

Наименование вида	Количество, экз.	Тип садово-паркового на-саждения	Распределение количества экземпляров по категории состояния, балл [7]		
			1	2	3
Кировский район					
Ель сибирская	10	групповая посадка	8	3	2
	1	солитер			
	2	рядовая посадка			
Лиственница сибирская	15	групповая посадка	9	22	6
	22	рядовая посадка			
Сосна обыкновенная	2	групповая посадка	6	8	1
	2	солитер			
	11	рядовая посадка			
Итого			23	33	9
Железнодорожный район					
Ель колючая	1	солитер	1		
Ель сибирская	17	солитер	28	3	2
	16	групповая посадка			
Лиственница сибирская	10	солитер		16	
	6	рядовая посадка			
Сосна обыкновенная	1	солитер	1		
Итого			30	19	2
Ленинский район					
Ель сибирская	4	солитер	18	12	2
	8	групповая посадка			
	20	рядовая посадка			
Сосна обыкновенная	3	солитер	11	10	1
	9	групповая посадка			
	10	рядовая посадка			
Лиственница сибирская	2	солитер	16		1
	2	групповая посадка			
	13	рядовая посадка			
Итого			45	22	4
Свердловский район					
Сосна обыкновенная	28	групповая посадка		16	27
	15	рядовая посадка			
Ель сибирская	1	солитер	1	8	
	8	групповая посадка			
Лиственница сибирская	52	групповая посадка	38	105	
	91	рядовая посадка			
Итого			39	129	27
Октябрьский район					
Ель сибирская	17	групповая посадка	6	10	1
Лиственница сибирская	119	групповая посадка	6	135	16
	38	рядовая посадка			
Сосна обыкновенная	25	групповая посадка	5	15	5
Итого			17	160	22
Центральный район					
Ель сибирская	15	солитер		32	17
	25	рядовая посадка			
	9	групповая посадка			
Ель колючая (форма голу-бая)	2	солитер		73	
	71	рядовая посадка			
Итого				105	17
Советский район					
Ель сибирская	2	солитер	9	2	
	9	групповая посадка			
Сосна обыкновенная	1	солитер		4	5
	3	групповая посадка			
	5	рядовая посадка			
Ель колючая	1	солитер		6	
	5	групповая посадка			
Лиственница сибирская	2	рядовая посадка		2	
Итого			9	14	5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных изысканий можно сделать следующие выводы и рекомендации:

– видовой состав модельных скверов по категории хвойных растений является для сибирского города недостаточным, на обследованных площадях полностью отсутствует семейство кипарисовых, необходимо расширение видовой базы хвойных пород;

– слабая представленность композиционных решений – в категории скверов возможно использование многопородных контрастных и гармоничных групп, каменистых садов, хвойных миксбордеров;

– несмотря на то, что большинство обследованных растений относятся ко второй категории состояния, без систематических уходов и системного подхода к проектированию и реконструкции озеленения и благоустройства, возможен переход в третью категорию и деградация посадок;

– необходимость регулярного мониторинга по количественному и качественному составу насаждений, паспортизация объектов ландшафтной архитектуры является очевидной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2020 году : Государственный доклад. Красноярск, 2021.

2. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году : Государственный доклад. Москва : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 256 с.

3. Министерство экологии и рационального природопользования Красноярского края. Краевое государственное бюджетное учреждение «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды красноярского края» : [сайт]. Красноярск, 2021. URL: <http://www.krasecology.ru> (дата обращения: 25.10.2022).

4. Земельный кодекс Российской Федерации. Принят Государственной Думой 28 сентября 2001 года. Ред. от 05.12.2022 г. // КонсультантПлюс [сайт]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/ (дата обращения: 10.12.2022).

5. Использование хвойных растений в типовых ландшафтных проектах / Т. Ю. Аксянова, О. М. Ступакова, Е. А. Усова, М. В. Филина, А. А. Горошко // Хвойные бореальной зоны. Том XXXIX № 4. Красноярск : СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2021. С. 245–252.

6. Генеральный план г. Красноярска // Красноярск. Администрация города [сайт]. URL: http://www.admkrsk.ru/citytoday/building/town_planning/Pages/osn_shema.aspx (дата обращения: 10.09.2022).

7. Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова. Методика инвентаризации городских зеленых насаждений : решение Комиссии Президиума СМ СССР по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов № 5 от 28 июля 1988 г. / Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова // GOSTRF.com : информационно-справочная система [сайт]. 2008. URL: http://gostrf.com/norma_data/41/41601/index.htm (дата обращения: 20.09.2022).

REFERENCES

1. O sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy v Krasnoyarskom krae v 2020 godu : Gosudarstvennyy doklad. Krasnoyarsk, 2021.

2. O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Rossiyskoy Federatsii v 2020 godu : Gosudarstvennyy doklad. Moskva : Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya cheloveka, 2021. 256 s.

3. Ministerstvo ekologii i ratsional'nogo prirodo-pol'zovaniya Krasnoyarskogo kraya. Krayevoye gosudarstvennoye byudzhethoye uchrezhdeniye «Tsentr realizatsii meropriyatiy po prirodo-pol'zovaniyu i okhrane okruzhayushchey sredy krasnoyarskogo kraya» : [sayt]. Krasnoyarsk, 2021. URL: <http://www.krasecology.ru> (data obrashcheniya: 25.10.2022).

4. Zemel'nyy kodeks Rossiyskoy Federatsii. Prinyat Gosudarstvennoy Dumoy 28 sentyabrya 2001 goda. Red. ot 05.12.2022 g. // Konsul'tantPlyus [sayt]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/ (data obrashcheniya: 10.12.2022).

5. Ispol'zovaniye khvoynykh rasteniy v tipovykh landshaftnykh proyektakh / T. Yu. Aksyanova, O. M. Stupakova, E. A. Usova, M. V. Filina, A. A. Goroshko // Khvoynyye boreal'noy zony. Tom XXXIX № 4. Krasnoyarsk : SibGU im. M.F. Reshetneva, 2021. S. 245–252.

6. General'nyy plan g. Krasnoyarska // Krasnoyarsk. Administratsiya goroda [sayt]. URL: http://www.admkrsk.ru/citytoday/building/town_planning/Pages/osn_shema.aspx (data obrashcheniya: 10.09.2022).

7. Akademiya kommunal'nogo khozyaystva im. K.D. Pamfilova. Metodika inventarizatsii gorodskikh zelenykh nasazhdeniy : resheniye Komissii Prezidiuma SM SSSR po okhrane okruzhayushchey sredy i ratsional'nomu ispol'zovaniyu prirodnikh resursov № 5 ot 28 iyulya 1988 g. / Akademiya kommunal'nogo khozyaystva im. K. D. Pamfilova // GOSTRF.com : informatsionno-spravochnaya sistema [sayt]. 2008. URL: http://gostrf.com/norma_data/41/41601/index.htm (data obrashcheniya: 20.09.2022).

© Ступакова О. М., Аксянова Т. Ю., 2023

Поступила в редакцию 20.10.2022

Принята к печати 04.04.2023

ПОСТПИРОГЕННАЯ ДИНАМИКА АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕСЧАНЫХ ПОДЗОЛОВ В СОСНЯКАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

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

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

E-mail: avyatar@yandex.ru, ivanovv53@yandex.ru

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

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

E-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru

³Сибирский федеральный университет

Российская Федерация, 660099, г. Красноярск, просп. Свободный, 79

E-mail: birinik-2011@yandex.ru

Приведены результаты трехлетних исследований динамики агрохимических показателей песчаных подзолов в сосняках лишайниково-зеленомошных, пройденных экспериментальными низовыми пожарами средней и высокой интенсивности.

Образцы почвы для лабораторных исследований на контрольном участке отбирались в год проведения эксперимента (2002 г.), а на горевших участках 1 и 2 – в течение трех последующих лет. При этом использовался метод смешанных образцов, агрохимические показатели которых определяли на инфракрасной аналитической системе «Инфрапид-61».

Анализ полученных результатов выявил довольно заметные изменения рассматриваемых показателей песчаных подзолов, особенно, на втором участке, где пожар имел высокую интенсивность. Так, активное поступление отпада в первый послепожарный год обусловило увеличение содержания в подстилке органического вещества и его основных компонентов – углерода и азота. Ослабление же всех форм почвенной кислотности при одновременном увеличении суммы обменных оснований и степени насыщенности ими отмечается во всей исследуемой почвенной толще и связано с поступлением легкорастворимых щелочных элементов из золы. Этой же причиной объясняется и возросшее содержание доступных форм фосфора и калия, а аммонийного азота – усилением активности восстановившихся после пожара микроорганизмов. В то же время, содержание гумуса в минеральных слоях подзолов после пожаров практически не изменилось. В течение же двух последующих лет изменения агрохимических показателей, в целом, приобретают обратный тренд, и, в ряде случаев, сопоставимы с таковыми на контрольном участке.

Таким образом, характер постпирогенной динамики агрохимических показателей песчаных подзолов в лишайниково-зеленомошных сосняках южной тайги, в целом, близок ранее установленному в других почвенных типах и лесорастительных условиях. В то же время, выявлены некоторые различия степени проявления данной динамики, обусловленные разной интенсивностью пожаров.

Ключевые слова: сосняк лишайниково-зеленомошный, смоделированные низовые беглые пожары, песчаный подзол, агрохимические показатели и их постпирогенная динамика.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 2, P. 161–174

POST-FIRE CHANGES IN NUTRITIONAL CHARACTERISTICS OF SANDY PODZOL IN PINE FORESTS OF THE SOUTHERN TAIGA

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

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

E-mail: avyatar@yandex.ru, ivanovv53@yandex.ru

V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS

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

E-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru

³Siberian Federal University

79, Svobodny av., Krasnoyarsk, 660099, Russian Federation

E-mail: birinik-2011@yandex.ru

The results of three-year studies of the dynamics of nutritional characteristics of sandy podzols in lichen-mossy pine forests, passed by experimental low fire of medium and high intensity, are presented.

Soil samples for laboratory studies at the control site were taken in the year of the experiment (2002), and they were selected at the burned sites 1 and 2 for the next three years. In this case, the method of mixed samples was used, the nutritional characteristics of which were determined on the infrared analytical system "Infrapid-61".

The analysis of the obtained results revealed quite noticeable changes in the considered characteristics of sandy podzols, especially in the second section, where the fire had a high intensity. Thus, the active intake of loss in the first post-fire year caused an increase in the content of organic matter and its main components such as carbon and nitrogen in the forest litter. The weakening of all forms of soil acidity with a simultaneous increase in the amount of exchangeable bases and the degree of saturation with them is noted in the entire studied soil stratum and is associated with the intake of easily soluble alkaline elements from ash. The same reason explains the increased content of available forms of phosphorus and potassium, and ammonium nitrogen is explained by increased activity of microorganisms recovered after the fire. At the same time, the humus content in the mineral layers of the podzols has not changed much after the fires. During the next two years, changes in nutritional characteristics, in general, acquire a reverse trend, and, in some cases, are comparable to those at the control site.

Thus, the nature of the post-fire changes of nutritional characteristics of sandy podzols in lichen-mossy pine forests of the southern taiga, in general, is close to that previously established in other soil types forest growth conditions. At the same time, some differences in the degree of manifestation of these dynamics were revealed due to different intensity of fires.

Keywords: lichen-mossy pine forest, simulated low running fires, sandy podzol, nutritional characteristics and their post-fire changes.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно данным Красноярской базы авиационной охраны лесов, только в Средней Сибири ежегодно выгорает до 118 тыс. га лесной площади, а в экстремальные пожароопасные сезоны этот показатель увеличивается еще в 2–3 раза (Влияние пожаров..., 2007). Столь огромные масштабы и высокая периодичность пожаров дают основание рассматривать их в качестве мощного и активно действующего фактора, оказывающего сложное и многоплановое влияние на формирование почвенного покрова лесных биогеоценозов.

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

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

кавская, Иванова, 2006; Соколов, Фарбер, 2006; Тарасов и др., 2012; Воздействие..., 2014;).

Известен целый ряд работ о послепожарных изменениях важнейших агрохимических показателей различных типов почв в разных по составу хвойных насаждениях (сосняках, лиственничниках, пихтарниках), произрастающих в Сибири (Попова, 1979, 1982, 1997; Пирогенная..., 2005; Азотный..., 2007; Краснощеков и др., 2007; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020), Забайкалье (Стефин, 1981; Краснощеков, 2004), Якутии (Тарабукина, Саввинов, 1990; Чевычелов, 2002; Чевычелов, Шахматова, 2018), на Дальнем Востоке (Сапожников, 1976, 1979; Шешуков и др., 1992; Пшеничникова, Пшеничников, 1994; Цибарт, Геннадиев, 2008, 2009), Колыме (Мажитова, 2000) и европейском Севере (Лукина и др., 2008). На основании анализа данных работ сделан вывод, что наиболее заметные различия агрохимических показателей почв наблюдаются в их верхних слоях до глубины 40–50 см на протяжении от двух до четырех лет, после чего они восстанавливаются до исходных значений (Попова, 1979, 1982; Стефин, 1981; Влияние контролируемого..., 2005; Краснощеков и др., 2007; Тарасов, Тарасова, 2020).

Исходя из этого, основная цель исследований заключалась в оценке временной динамики агрохимических показателей почвы после лесных пожаров в южнотаяжных сосняках. Достижение данной цели обусловило необходимость проведения соответствующих полевых и лабораторных исследований почвы, а также анализа полученных данных.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в Нижнем Приангарье, в насаждениях Невонского лесничества, территория которого относится к южной тайге (Средняя Сибирь, 1964). Изучаемые объекты были представлены тремя граничащими между собой участками чистых приспевающих (90 лет) сосняков лишайниково-зеленомошной группы, имеющих следующие географические

координаты – 58° 42' северной широты и 98° 25' восточной долготы.

С целью изучения пирогенного влияния на различные компоненты насаждений на двух участках планировалось моделирование экспериментальных низовых пожаров, а третий использовать в качестве контрольного. Основные таксационные показатели древостоев на данных участках, определенные методами перечислительной таксации (Сукачев, Зонн, 1961), приведены в табл. 1.

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

Запасы напочвенных лесных горючих материалов (ЛГМ) определяли с использованием российских и канадских методик (Курбатский, 1970; Walker, Stocks 1975; Alexander et al., 1991). Образцы различных компонентов данных ЛГМ (мхов, лишайников, опада, подстилки, кустарничков, трав) отбирали на учетных площадках размером 20×25 см, которые закладывались в 25 точках каждого участка. В лабораторных условиях образцы высушивались до постоянной массы и взвешивались. Аналогичные работы, проведенные после экспериментальных пожаров, позволили рассчитать массу сгоревших напочвенных ЛГМ, как разность между ее исходной и послепожарной величинами.

Основные параметры поведения смоделированных пожаров приведены в табл. 2.

Для изучения морфологических признаков почв и их полевой диагностики в наиболее характерных местах всех экспериментальных участков в соответствии с общепринятыми методиками (Практикум ..., 1980) были заложены почвенные разрезы. Кроме того, учи-

тывая большую роль живого напочвенного покрова в почвообразовании, в синузиях с преобладанием зеленых мхов и лишайников были сделаны прикопки до глубины 50 см.

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

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

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

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

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

BF2 33–47 см. Нижняя часть иллювиально-железистого горизонта. Более светлая, влажная, песчаная, бесструктурная, уплотненная. Содержит единичные включения корней и мелкого щебня. Переход в следующий горизонт прослеживается плохо.

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

Таблица 1
Таксационные показатели сосновых древостоев

Участок	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Полнота	Класс бонитета	Запас, м ³ /га
1	25,2	22,1	1,0	III	348
2	26,7	22,7	0,8	III	293
Контроль	25,4	22,3	0,8	III	278

Таблица 2
Параметры поведения экспериментальных пожаров

Участок	Интенсивность пожара, кВт/м	Скорость распространения кромки пожара, м/мин	Запасы напочвенных ЛГМ		
			исходные, т/га	сгоревшие	
1	средняя, 3195	3,0	42,56	18,77	44,1
2	высокая, 4876	7,3	49,27	23,55	47,8

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

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

Для проведения лабораторных агрохимических исследований почвы отбирались ее образцы: на контрольном участке – в год проведения экспериментальных выжиганий (2002 г.), а на участках 1 и 2 – в течение трех последующих лет. При этом отбор образцов проводили на пяти постоянных точках каждого участка до глубины 40 см, до которой, согласно литературным данным (Краснощеков, 2004; Азотный..., 2007; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020), проявляется влияние пожаров. Таким образом, исходя из мощности верхних горизонтов и степени их подверженности пирогенному влиянию, а также методики взятия образцов, отбору подлежали: лесная подстилка О – полностью; верхняя (5–10 см) и нижняя (10–15 см) части подзолистого горизонта Е; средние части подгоризонтов BF1 (20–30 см) и BF2 (35–45 см) иллювиально-железистого горизонта.

Агрохимические анализы проводили на инфракрасной аналитической установке «Инфрapiд-61» в составленном для каждого исследуемого слоя смешанном образце, позволяющем получить усредненные результаты (Смолянинов и др., 1966).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты агрохимических анализов смешанных образцов контрольного участка показали, что все исследуемые слои подзолов характеризуются очень низким содержанием гумуса, общего азота и доступных форм элементов питания, сильным проявлением всех видов кислотности (актуальной, обменной, гидrolитической), заметно уменьшающейся вниз по профилю, и ненасыщенностью основаниями (табл. 3). Малое содержание коллоидных и близких им по размеру частиц, обусловленное песчаным гранулометрическим составом подзолов, определяет их низкую емкость поглощения.

Анализ почвенных образцов, отбравшихся в течение трех лет после смоделированных пожаров, обнаружил определенные изменения важнейших агрохимических показателей исследуемых почв. Так, содержание в подстилке органического вещества и его основного компонента углерода, в среднем вдвое уменьшившееся из-за их частичного сгорания, имеет тренд к увеличению. При этом наиболее резко это проявилось через год после пожара, что обусловлено поступлением основной массы отпада в начале постпирогенного периода. Вследствие этого содержание органического вещества и углерода в подстилке первого участка приблизилось к аналогичным показате-

лям контроля, а на втором, где воздействие огня было высокоинтенсивным, – даже превысило их (табл. 3).

В течение же двух последующих лет относительное увеличение рассматриваемых показателей соответственно составило лишь 1–2 и 0,5–1 %, что, с одной стороны, связано с уменьшением поступления послепожарного отпада, а с другой – усилением минерализации подстилки, обусловленным постепенным восстановлением микробных комплексов и их активизацией (Богородская и др., 2005, 2006, 2011; Воздействие пожаров..., 2014). При этом заметно большее содержание органического вещества и углерода в подстилке второго участка (соответственно почти на 10 и 5 %) позволяют заключить, что вследствие высокой интенсивности пожара, первый из указанных процессов здесь идет несколько активнее, а второй – замедлен по причине не совсем благоприятных для микроорганизмов гидротермических условий.

Такой вывод следует из положительных для деятельности микрофлоры постпирогенных изменений физико-химических характеристик почвы обоих экспериментальных участков (Тарабукина, Саввинов, 1990; Краснощеков, 1994, 2004; Тарасов и др., 2003; Воздействие пожаров..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020). Это обусловлено частичной минерализацией напочвенных лесных горючих материалов в результате пиролиза и последующим единовременным поступлением в подстилку зольных элементов, которые нейтрализуют часть органических кислот, экстрагирующих в раствор в процессе разложения растительных остатков. Растворяясь в атмосферных осадках, зольные вещества, в составе которых преобладают щелочные и щелочноземельные металлы (прежде всего, калий, кальций и магний) проникают в нижние слои почвы до глубины 40–50 см. В результате этого происходит ослабление всех видов почвенной кислотности при одновременном увеличении суммы поглощенных оснований и степени насыщенности ими (Попова, 1979, 1982; Стефин, 1981; Тарасов и др., 2003; Краснощеков, 2004; Пирогенная..., 2005; Азотный..., 2007; Лукина и др., 2008; Воздействие пожаров..., 2014).

Данные табл. 3 в полной мере отражают описанные изменения физико-химических показателей почвы, заметнее проявляющиеся в подстилке и подзолистом горизонте обоих участков, в которые поступает основная масса золы. Особенно это касается второго участка, где из-за высокой интенсивности пожара ее образовалось больше.

Так, если в его указанных горизонтах значения рН водного и солевого через год после пожара, соответственно, на 0,3–0,6 и на 0,–0,8 единицы превышали аналогичные показатели контроля, то на первом участке – на 0,2–0,5 и 0,3–0,6. В расположенных глубже слоях иллювиально-железистого горизонта обоих экспериментальных участков превышение данных показателей над контрольными значениями в большинстве случаев составляет сотые доли единицы. Таким образом, исходя из значений рН водного и солевого, следует, что в подстилке и подзолистом горизонте второго участка наблюдаются больший сдвиг реакции почвенного раствора к нейтральному диапазону и уменьшение обменной формы потенциальной кислотности.

Значительное уменьшение отмечено и у гидролитической формы данной кислотности, также в большей мере проявившееся в почве второго участка, особенно, в верхней части (2–10 см) подзолистого горизонта. Здесь через год после пожара величина гидролитической кислотности, в сравнении с контрольным участком, снизилась на 163 %, тогда как в подстилке – менее чем на треть (табл. 3). В аналогичных слоях первого участка снижение данного показателя, соответственно, составило около 138 и 10 %. В остальных же слоях относительное уменьшение гидролитической кислотности проявилось слабее (на 43–79 % – на втором участке и на 18–73 % – на первом), причем в наибольшей степени – в подгоризонте BF1, где процесс иллювиирования выражен наиболее сильно.

Вероятнее всего, такой характер изменений данного показателя обусловлен частичным вымыванием из подстилки в минеральные слои зольных элементов. При этом большая часть входящих в их состав оснований, по причине всего лишь годовичного послепожарного периода, оказалась в граничащей с подстилкой верхней части подзолистого горизонта. Последующее замещение в коллоидном комплексе (ППК) ионов водорода содержащимися в почвенном растворе основными катионами привело не только к снижению гидролитической, а также обменной форм потенциальной кислотности, но и увеличению суммы поглощенных оснований и степени насыщенности ими (Лукина и др., 2008; Тарасов, Тарасова, 2020). Значения двух последних физико-химических показателей исследуемых слоев возросли, по сравнению с контрольными, на втором участке, соответственно, на 19–82 и 8–29 %, а на первом – на 13–38 и 4–28 % (табл. 3). При этом их наибольшее относительное увеличение на обоих экспериментальных участках наблюдалось в верхней части подзолистого горизонта и подгоризонте BF1, где снижение гидролитической кислотности было максимальным.

В 2004 г., т.е. через два года после смоделированных пожаров, изменения физико-химических показателей подзолов имели не столь однозначный характер. В большинстве исследуемых слоев обоих экспериментальных участках, особенно, второго, значения одних показателей, по сравнению с предыдущим годом, несколько возросли, а других, напротив, уменьшились (табл. 3). При этом отсутствие какой-либо четко выраженной тенденции в характере данных изменений делает их труднообъяснимыми. Возможно, они обусловлены сочетанием различных почвообразовательных процессов.

Например, снижение pH водного, указывающее на усиление кислотности почвенного раствора минеральных слоев, может быть связано с поступлением в них кислотных продуктов разложения подстилки, которое усилилось, благодаря восстановлению микрофлоры. Некоторое же уменьшение суммы поглощенных оснований и увеличение pH водного в подстилке и подзолистом горизонте первого участка (табл. 3) можно объяснить следующим. Сначала кислотные продукты разложения диссоциируют в почвенный раствор ионы водорода, вытесняющие из коллоидного комплекса поглощенные катионы основа-

ний. Последние, в свою очередь, затем не только полностью нейтрализуют кислоты почвенного раствора, но и смещают его реакцию к нейтральному диапазону ими (Лукина и др., 2008; Тарасов, Тарасова, 2020).

В следующем 2005 г. динамика физико-химических показателей подзолов носила более определенный характер, с одной стороны, обусловленный вымыванием зольных элементов, а с другой – поступлением кислотных продуктов разложения подстилки. Результатом этих процессов стало усиление всех форм почвенной кислотности (актуальной, обменной, гидролитической) при одновременном снижении суммы поглощенных оснований и степени насыщенности ими. При этом в отличие от 2004 г., данные изменения наблюдаются во всей исследуемой толще обоих экспериментальных участков при отсутствии между ними четких количественных различий (табл. 3).

Так, несколько большее снижение pH водного и солевого, указывающее на усиление актуальной и обменной кислотности, отмечается на первом участке с максимумом (на 0,3 и 0,2 единицы соответственно) в нижней части подзолистого горизонта. В то же время, на втором участке значительно изменились другие физико-химические показатели. При этом если гидролитическая кислотность возросла на величину от 0,59 до 0,12 м-экв./100 г, то сумма поглощенных оснований и степень насыщенности ими, напротив, уменьшились на 0,55–0,25 м-экв./100 г и 6,5–3,4 % соответственно (табл. 3).

Отмеченные особенности изменения физико-химических показателей подзолов, вероятнее всего, связаны с разной интенсивностью пожаров на экспериментальных участках, что, в свою очередь, обусловило соответствующие различия постпирогенной трансформации компонентов их насаждений. Так, например, на первом участке, где воздействие огня было менее интенсивным, более быстрое восстановление микрофлоры обусловило активизацию разложения подстилки и последующее поступление кислотных продуктов в минеральные слои, что усилило их кислотность. Изменения же физико-химических показателей на втором участке, где из-за гибели 70 % деревьев на поверхность почвы поступает больше послепожарного отпада и атмосферных осадков, вероятно, связаны с интенсификацией процессов элювирования и оподзоливания. В результате этого усиливается водная миграция из подстилки в минеральные горизонты кислотных компонентов и их последующая аккумуляция (Лукина и др., 2008).

Таким образом, характер постпирогенной динамики физико-химических показателей подзолов, в целом, близок ранее установленному нами в подзолистой почве сосняка мертвопокровного, произрастающего в территориально близком Ангарском южно-таежном районе лиственнично-сосновых лесов (Тарасов, Тарасова, 2020). В большей степени это проявляется в начале постпирогенного периода, причем наиболее существенно – в лесной подстилке и подзолистом горизонте. Однако через три года после пожара в динамике физико-химических показателей отмечен обратный тренд в сторону их исходных значений, для достижения которых, вероятно, еще потребуется не более двух лет.

Таблица 3
Агрохимические показатели иллювиально-железистых песчаных подзолов

Горизонт, глубина, см	pH		Гидроли- тическая кислот- ность	Сумма поглощен- ных оснований	Степень насыщен- ности основания- ми, %	Гумус, %	С, %	Азот общий, %	C: N	N-NH ₄ , мг/кг	Подвижные, мг/кг	
	H ₂ O	KCl									м-экв./100 г	P ₂ O ₅
Контрольный участок												
O, 0–3	3,83	2,84	12,83	3,77	22,7	79,60*	39,80	0,900	44,2	13,8	242,0	157,0
E, 3–10	4,17	3,19	5,37	2,33	30,3	0,64	0,37	0,020	18,5	2,7	2,6	5,1
E, 10–15	4,60	3,42	2,74	2,58	48,5	0,35	0,20	0,013	15,4	2,3	20,0	3,9
BF1, 20–30	5,10	4,08	3,13	3,35	51,7	0,59	0,34	0,012	28,3	6,6	69,0	8,7
BF2, 35–45	5,12	4,19	2,21	2,77	55,6	0,52	0,30	0,011	27,3	6,0	65,0	6,0
2003 г. (через 1 год после пожара)												
Участок 1 (средняя интенсивность пожара)												
O, 0–2	4,07	3,14	11,72	4,25	26,6	77,12*	38,56	1,030	37,4	18,2	330,8	613,0
E, 2–10	4,71	3,79	2,26	3,03	57,3	0,58	0,33	0,036	9,2	5,3	6,7	31,9
E, 10–15	4,80	3,92	1,86	3,05	62,1	0,38	0,22	0,022	10,0	4,5	25,0	8,0
BF1, 20–30	5,12	4,22	1,80	4,11	69,5	0,60	0,35	0,017	20,6	7,2	75,5	30,0
BF2, 35–45	5,17	4,24	1,87	3,81	67,1	0,54	0,31	0,014	11,6	7,0	70,7	14,3
Участок 2 (высокая интенсивность пожара)												
O, 0–2	4,25	3,29	9,94	4,47	31,0	84,26*	42,13	1,310	32,2	20,4	396,2	676,8
E, 2–10	4,80	3,96	2,04	3,35	62,2	0,56	0,32	0,039	8,2	6,0	10,3	32,4
E, 10–15	4,89	4,00	1,73	3,18	64,8	0,42	0,24	0,028	8,6	5,7	32,0	29,2
BF1, 20–30	5,18	4,25	1,75	6,10	77,7	0,61	0,35	0,018	19,4	7,4	82,5	34,1
BF2, 35–45	5,15	4,21	1,55	5,85	79,1	0,55	0,32	0,015	21,3	7,3	75,8	30,4

Окончание таблицы 3

Горизонт, глубина, см	pH		Гидроли- тическая кислот- ность	Сумма поглотен- ных оснований	Степень насыщен- ности основания- ми, %	Гумус, %	С, %	Азот общий, %	С: N	N-NH ₄ , мг/кг	Подвижные, мг/кг	
	H ₂ O	KCl									М-экв./100 г	P ₂ O ₅
2004 г. (через 2 года после пожара)												
Участок 1 (средняя интенсивность пожара)												
O, 0–2	4,34	3,51	7,71	4,11	34,8	78,04*	39,02	0,980	39,8	16,4	282,3	569,0
E, 2–10	4,99	4,05	2,03	2,83	58,2	0,56	0,32	0,030	10,7	4,8	7,1	35,0
E, 10–15	4,83	4,03	1,55	2,64	63,0	0,41	0,24	0,018	13,3	4,1	28,3	15,4
BF1, 20–30	4,90	4,24	1,42	5,03	78,0	0,58	0,33	0,014	23,6	6,5	79,5	37,8
BF2, 35–45	5,11	4,18	1,50	4,39	74,5	0,57	0,33	0,011	30,0	5,7	73,3	24,6
Участок 2 (высокая интенсивность пожара)												
O, 0–2	4,59	3,63	6,78	4,63	40,6	86,22*	43,11	1,270	33,9	18,7	310,4	611,0
E, 2–10	4,73	4,10	1,76	3,09	63,7	0,55	0,34	0,032	10,6	5,6	14,6	36,3
E, 10–15	4,65	4,02	1,50	2,61	63,5	0,45	0,26	0,018	14,4	5,3	39,4	24,4
BF1, 20–30	5,16	4,20	1,67	6,32	79,1	0,58	0,34	0,014	24,3	6,8	80,6	32,3
BF2, 35–45	5,07	4,14	1,34	5,09	79,2	0,55	0,32	0,011	29,1	6,2	77,5	32,7
2005 г. (через 3 года после пожара)												
Участок 1 (средняя интенсивность пожара)												
O, 0–2	4,29	3,35	8,22	3,92	32,3	78,64*	39,32	0,950	41,4	14,8	250,8	522,0
E, 2–10	4,70	3,94	2,08	2,65	56,0	0,60	0,35	0,028	12,5	4,0	3,3	33,5
E, 10–15	4,53	3,83	1,79	2,61	59,3	0,43	0,25	0,016	15,6	3,7	22,8	13,7
BF1, 20–30	4,82	4,12	1,45	5,01	77,6	0,57	0,33	0,012	27,5	5,8	72,6	36,1
BF2, 35–45	5,05	4,10	1,54	4,24	73,4	0,56	0,32	0,010	32,0	5,0	66,1	23,2
Участок 2 (высокая интенсивность пожара)												
O, 0–2	4,54	3,53	7,47	4,15	35,7	88,06*	44,03	1,200	36,7	15,2	261,7	554,6
E, 2–10	4,61	4,02	1,88	2,70	59,7	0,57	0,33	0,030	11,0	4,3	8,3	32,5
E, 10–15	4,47	3,88	1,65	2,36	58,9	0,47	0,27	0,015	16,9	4,0	29,2	18,0
BF1, 20–30	5,09	4,01	1,82	5,67	75,7	0,55	0,32	0,011	29,1	6,5	69,4	30,4
BF2, 35–45	5,01	4,03	1,73	4,60	72,7	0,55	0,32	0,010	32,0	5,8	63,3	31,0

Примечание. * – органическое вещество

Кроме того, экспериментальные пожары оказали влияние и на питательный режим подзолов, причем как прямое, так и косвенное. Первое связано с поступлением содержащихся в золе соединений фосфора и калия, а второе – с активизацией микробиологических процессов минерализации органического вещества, обуславливающей увеличение содержания аммонийного азота (Арефьева, 1963; Арефьева, Колесников, 1964; Попова, 1979, 1982; Стефин, 1981; Кулагина, 1982; Пирогенная..., 2005; Азотный..., 2007; Краснощеков и др., 2007; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020). В наибольшей мере это проявилось в лесной подстилке, что объясняется спецификой данного горизонта (Карпачевский, 1981, 1983; Богатырев, 1996), определяющей непосредственное термическое воздействие и поступление основной массы образующейся золы.

Так, через год после пожара содержание подвижных форм фосфора и калия в подстилке первого участка превышало контрольные значения соответственно на 37 и 290 %, а второго, на котором из-за высокой интенсивности пожара золы образовалось больше, – на 64 и 331 % (табл. 3). Значительно более высокое увеличение подвижного калия в подстилке экспериментальных участков обусловлено гораздо большей, по сравнению с фосфором, концентрацией данного элемента в золе (Шешуков и др., 1992; Краснощеков и др., 2007).

Однако, и в минеральных слоях почвы содержание подвижных форм фосфора и, особенно, калия также существенно возросло. В наибольшей мере это проявилось на втором участке, где превышение последнего над контрольными значениями в подзолистом горизонте было семи-, а в иллювиально-железистом – четырех-пятикратным (табл. 3). Увеличение же содержания подвижного фосфора было не столь существенным. При этом на обоих участках с глубиной слоя наблюдается заметное снижение относительных значений этого увеличения. Так, если содержание подвижного фосфора в верхнем слое подзолистого горизонта (2–10 см) первого и второго участков возросло, соответственно, на 235 и 415 %, то в нижней его части (10–15 см) – только на 25 и 64 %, а в иллювиально-железистом – вообще, лишь на 9 и 20–17 %.

Сопоставимые с нашими результаты ранее были получены Э. П. Поповой (1979, 1982, 1986), проводившей аналогичные исследования в сосняках Среднего Приангарья.

Отмеченная закономерность в содержании подвижных соединений фосфора и калия в профиле подзолов, вероятнее всего, обусловлена темпами постпирогенной водной миграции зольных элементов из подстилки в минеральные горизонты. Это, в известной мере, подтверждает анализ динамики данных показателей в последующие два послепожарных года (т. е. 2004 и 2005), в течение которых на обоих экспериментальных участках отмечается постепенное снижение содержания подвижных соединений фосфора и калия в подстилке (табл. 3). В то же время, их ожидаемое увеличение в минеральных слоях наблюдалось только в 2004 г., причем на втором участке – не во всех. В последующий же 2005 г. содержание подвиж-

ных фосфора и калия на обоих участках, напротив, уменьшается. При этом в слоях иллювиально-железистого горизонта содержание подвижного фосфора практически сравнивается с контрольным значением, что ранее наблюдалось нами в среднетаежных сосняках уже через 1–2 года после пожара низкой интенсивности (Воздействие..., 2014).

Таким образом, общий характер послепожарной динамики рассматриваемых показателей, в целом, сопоставим с описанным в многочисленных литературных источниках (Сапожников, 1976, 1979; Попова, 1979, 1982; Стефин, 1981; Тарабукина, Саввинов, 1990; Шешуков и др., 1992; Чевычелов, 2002; Пирогенная..., 2005; Краснощеков, 2004; Краснощеков и др., 2007; Азотный..., 2007; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020). В то же время, по мнению Э. П. Поповой (1982), очень сложно судить о пирогенном влиянии на питательный режим почв только по содержанию доступных форм элементов питания, поскольку обеспеченность ими может быть завуалирована активным потреблением восстанавливающимися после пожара компонентами лесного биоценоза.

Известно, что большинству лесных почв характерен дефицит азота (Попова, 1983), который наиболее сильно проявляется в таких бедных почвах, как песчаные подзолы, где этот биогенный элемент является мощным фактором, лимитирующим развитие биоценозов (Азотный..., 2007; Воздействие..., 2014). Исходя из этого, исследование постпирогенной динамики азота в указанных почвах представляет большой интерес.

Песчаные подзолы контрольного участка характеризуются низким содержанием общего азота с максимумом в подстилке, составляющим 0,9 %. В минеральных слоях наибольшее значение данного показателя (0,020 %) отмечено в верхней части подзолистого горизонта (3–10 см), которое постепенно уменьшается с глубиной до 0,011 % в BF2 (табл. 3).

Несмотря на газообразную потерю части почвенного азота, которая при высокоинтенсивных пожарах может составлять от 55 до 1000 кг/га (Уткин, 1965; Шешуков и др., 1992; Влияние контролируемого..., 2005), многие исследователи (Попова, 1979, 1997; 2005; Азотный..., 2007; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020) отмечали увеличение его содержания на свежих гаях. По мнению М. А. Шешукова с соавторами (1992), это объясняется повышенной биологической фиксацией атмосферного азота почвенными микроорганизмами, численность которых даже после сильных пожаров восстанавливается уже через 2–3 месяца, а деятельность активизируется, благодаря снижению кислотности, увеличению доступных форм элементов питания и лучшему прогреванию верхних горизонтов почвы (Сорокин, 1983; Богородская и др., 2005, 2011; Богородская, Сорокин, 2006).

Как и в среднетаежных сосняках (Азотный..., 2007; Воздействие..., 2014), через год после пожаров в подзолах обоих экспериментальных участков также наблюдается увеличение содержания общего азота и его минеральной аммонийной формы. В наибольшей мере это проявилось в подстилке и подзолистом горизонте, особенно, пройденного высокоинтенсивным

пожаром второго участка, где данные показатели в среднем возросли в полтора-два раза (табл. 3). Это соответствует данным других авторов, согласно которым постпирогенное увеличение содержания азота в почве напрямую зависит от силы термического воздействия (Фирсова, 1969; Попова, 1982; Краснощеков, 1994, 2004).

Главной причиной значительного увеличения общего азота в подстилке может быть активный послепожарный отпад хвои, из которой, из-за ее преждевременного отмирания, еще не произошел отток азотных соединений в корни (Азотный..., 2007). В подзолистом же горизонте данный показатель мог возрасти благодаря накоплению органического вещества мортмассы мелких корней, до 80 % которых в сосняках зеленомошной группы сосредоточено в слое 0–15 см (Бузыкин, 1975), а также аккумуляции в нем вымытых из подстилки водорастворимых соединений азота.

Однако, известно (Попова, 1983; Азотный..., 2007; Воздействие..., 2014), что до 95–99 % общего почвенного азота представлено органическими соединениями, которые становятся доступными для растений только после сложной микробиологической трансформации, представленной в лесных почвах, преимущественно, процессами аммонификации. Благодаря их постпирогенному усилению происходит освобождение фиксированного аммония и переход его в обменное состояние (Фирсова, 1960; Арефьева, Колесников, 1964; Попова, 1982). В результате этого через год после пожара содержание аммонийного азота в подстилке первого и второго экспериментальных участков возросло соответственно на 31 и 48 %, в подзолистом горизонте – на 95–96 и 122–148 %, в иллювиально-железистом – на 9–17 и 17–25 % (табл. 3).

В последующие же два послепожарных года во всех исследуемых горизонтах отмечается постепенное снижение содержания как общего, так и аммонийного азота, хотя, в целом, данные показатели еще не достигли значений контрольного участка. Подобная динамика содержания азота и его соединений была отмечена нами в подзолах среднетаежных сосняков (Азотный..., 2007; Воздействие..., 2014), а также другими авторами, проводившими аналогичные исследования в других регионах (Попова, 1982, 1997; Мажитова, 2000; Влияние контролируемого..., 2005; Краснощеков и др., 2007). По мнению Э. П. Поповой (1982, 1983), это, главным образом, обусловлено активной иммобилизацией микроорганизмами общего азота и связыванием его аммонийных форм в органические соединения.

В отличие от характера постпирогенной динамики азотного фонда почв, опубликованные данные о влиянии пожаров на содержание гумуса не столь однозначны. Так, если одна часть авторов отмечает его послепожарное уменьшение, степень которого определяется интенсивностью термического воздействия (Карпель, Короходша, 1979; Кучеров и др., 1979; Попова, 1979; Тарабукина, Саввинов, 1990; Зайдельман и др., 2003), то другая – напротив, указывает на резкое увеличение содержания гумуса, объясняя это различными причинами (Пшеничникова, Пшеничников, 1994; Цибарт, Геннадиев, 2008).

Исследования в первый послепожарный год обнаружили незначительное (менее 0,1 %) снижение содержания гумуса в верхней части подзолистого горизонта (2–10 см) обоих экспериментальных участков и еще меньшее (на сотые доли процента) увеличение данного показателя вниз по профилю (табл. 3). Одной из вероятных причин этого может быть усиление в верхнем слое подзолистого горизонта минерализации гумуса микроорганизмами (Сорокин, 1983; Богородская и др., 2005, 2011; Богородская, Сорокин, 2006), вследствие чего, он, судя по двукратному сокращению отношения C:N, обогащается азотом (Мякина, Аринушкина, 1979). Другая вероятная причина отмеченных изменений связана с ярко выраженным фульватным характером гумуса подзолов (Ведрова, Корсунов, 1986) и послепожарной активизацией процессов элювиирования и оподзоливания (Лукина и др., 2008). Одним из результатов последних как раз и является вынос гумуса из верхней части подзолистого горизонта и его накопление в иллювиально-железистом.

Во второй послепожарный год, по сравнению с предыдущим, изменения в содержании гумуса в подзолах экспериментальных участков проявились еще в меньшей степени и не имели какой-либо общей закономерности. Однако на третий год после пожара на обоих участках наблюдалось очень незначительное (на 0,02–0,04 %) увеличение данного показателя в подзолистом горизонте и еще меньшее его снижение в иллювиально-железистом (табл. 3). Тем самым, в постпирогенной динамике гумуса прослеживается определенный тренд к постепенному нивелированию различий в его содержании с контрольным негоревшим участком, что ранее отмечалось в некоторых работах (Цибарт, Геннадиев, 2008, 2009).

Кроме того, следует отметить, что в отличие от других рассмотренных агрохимических показателей, сколько-либо существенных различий в содержании гумуса между экспериментальными участками не выявлено. Возможно, это связано с крайне неблагоприятными условиями гумусообразования, столь характерными для исследуемых песчаных подзолов (Ведрова, Корсунов, 1986).

ВЫВОДЫ

Таким образом, характер постпирогенной динамики агрохимических показателей песчаных подзолов в лишайниково-зеленомошных сосняках южной тайги, в целом, близок ранее установленному в других почвенных типах и лесорастительных условиях.

При этом в наибольшей степени изменения данных показателей проявляются в лесной подстилке, на которую пирогенное воздействие было максимальным. Так, постепенное увеличение содержания в ней органического вещества, углерода и общего азота обусловлено активным поступлением отпада хвои. Усиление же деятельности почвенной микрофлоры определило заметное возрастание в первый послепожарный год аммонийного азота, содержание которого, однако, имеет тенденцию к снижению. В то же время, в содержании гумуса практически не наблюдается сколько-либо существенная постпирогенная динамика.

В свою очередь, единовременное поступление зольных элементов является главной причиной изменений физико-химических показателей и содержания доступных форм фосфора и калия. Они заключаются в ослаблении всех видов почвенной кислотности при одновременном увеличении суммы поглощенных оснований и степени насыщенности ими улучшении условий минерального питания. При этом наиболее сильно эти изменения также проявляются в первый послепожарный год с последующим трендом данных показателей к значениям контрольного участка.

В завершение следует отметить наличие определенной зависимости степени указанных постпирогенных изменений агрохимических показателей иллювиально-железистых песчаных подзолов от интенсивности пожара. Кроме того, определенный общий характер этих изменений, в целом, сопоставим с результатами исследований аналогичных почв, проведенных в среднетаежных сосняках той же лишайниково-зеленомошной группы. Следовательно, в однотипных лесорастительных условиях влияние пожаров равной интенсивности на близкие по своим исходным характеристикам почвы, а также постпирогенная динамика их агрохимических показателей имеет определенные общие закономерности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- Абаимов А. П., Прокушкин С. Г., Зырянова О. А. Эколого-фитоценотическая оценка воздействия пожаров на леса криолитозоны Средней Сибири // Сибирский экологический журнал. 1996. № 1. С. 51–60.
- Азотный фонд песчаных подзолов после контролируемых выжиганий сосняков Средней Сибири / И. Н. Безкоровайная, П. А. Тарасов, Г. А. Иванова [и др.] // Почвоведение. 2007. № 6. С. 775–783.
- Амосов Г. А. Некоторые особенности горения при лесных пожарах. Л. : ЛенНИИЛХ. 1958. 30 с.
- Арефьева З. Н. Влияние огня на некоторые биохимические процессы в лесных почвах // Труды Ин-та биологии УФ АН СССР. Уфа: Ин-т биологии УФ АН СССР. 1963. Вып. 36. С. 39–55.
- Арефьева З. Н., Колесников Б. П. Динамика аммиачного и нитратного азота в лесных почвах Зауралья при высоких и низких температурах // Почвоведение. 1964. № 3. С. 30–43.
- Богатырев Л. Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение. 1996. № 4. С. 501–511.
- Богородская А. В., Иванова Г. А., Сорокин Н. Д. Влияние пирогенного фактора на микробные комплексы почв сосняков Средней Сибири // Лесоведение. 2005. № 2. С. 25–31.
- Богородская А. В., Иванова Г. А., Тарасов П. А. Послепожарная трансформация микробных комплексов почв лиственничников Нижнего Приангарья // Почвоведение. 2011. № 1. С. 56–63.
- Богородская А. В., Сорокин Н. Д. Микробиологическая диагностика состояния пирогенно-измененных почв сосняков Нижнего Приангарья // Почвоведение. 2006. № 10. С. 1258–1266.
- Бузыкин А. И. Влияние низовых пожаров на сосновые леса Среднего Приангарья // Охрана лесных ресурсов Сибири. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1975. С. 141–153.
- Ведрова, Э. Ф., Корсунов В. М. Миграция водорастворимых продуктов в почвах сосновых лесов // Почвы сосновых лесов Сибири. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1986. С. 24–33.
- Влияние контролируемого выжигания шелкопрядников на свойства дерново-подзолистых почв в Нижнем Приангарье / Ю. Н. Краснощеков, Э. Н. Валлендик, И. Н. Безкоровайная [и др.] // Лесоведение. 2005. № 5. С. 16–24.
- Влияние пожаров на эмиссии углерода в сосновых лесах Средней Сибири / Г. А. Иванова, В. А. Иванов, Е. А. Кукавская [и др.] // Сибирский экологический журнал. 2007. № 6. С. 885–895.
- Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков / Г. А. Иванова, С. Г. Корнард, Д. Д. Макрае [и др.]. Новосибирск : Наука, 2014. 232 с.
- Зайдельман Ф. Р., Морозова Д. И., Шваров А. Л. Изменение свойств пирогенных образований и растительности на сгоревших осушенных торфяных почвах полесий // Почвоведение. 2003. № 11. С. 1300–1309.
- Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы. М. : Лесная промышленность, 1981. 264 с.
- Карпачевский Л. О. Подстилка – особый биогеогоризонт лесного биогеоценоза // Роль подстилки в лесных биогеоценозах. М. : Изд-во АН СССР, 1983. С. 88–89.
- Карпель Б. А., Короходкша В. Т. Изменение почвенных условий после пожаров // Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса. Новосибирск : Наука, 1979. С. 75–87.
- Классификация и диагностика почв России / сост. Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедев, М. И. Герасимова. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
- Краснощеков Ю. Н. Влияние пожаров на свойства горных дерново-таежных почв лиственничников Монголии // Почвоведение. 1994. № 9. С. 102–109.
- Краснощеков Ю. Н. Почвозащитная роль горных лесов бассейна озера Байкал. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. – 224 с.
- Краснощеков Ю. Н., Безкоровайная И. Н., Кузьмиченко В. В. Трансформация свойств лесной подстилки при контролируемом выжигании шелкопрядников в Нижнем Приангарье // Почвоведение. 2007. № 2. С. 170–178.
- Кукавская Е. А., Иванова Г. А. Воздействие лесных пожаров на биомассу сосновых насаждений Средней Сибири // Вестник КрасГАУ. 2006. № 2. С. 156–162.
- Кулагина М. А. Влияние низового пожара на биогенную миграцию элементов питания в сосняке багульниково-брусничном // Эколого-фитоценотические особенности лесов Сибири. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1982. С. 24–37.
- Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1970. С. 5–58.

26. Курбатский Н. П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. М. : Гослесбумиздат, 1962. 154 с.
27. Кучеров Е. В., А. Х. Мукатанов, А. Х. Галева. Влияние лесных пожаров на свойства почв и травяно-кустарничковый ярус в сосняках Южного Урала // Горение и пожары в лесу. Часть III. Лесные пожары и их последствия. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1979. С. 104–110.
28. Лукина Н. В., Полянская Л. М., Орлова М. А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М. : Наука, 2008. 342 с.
29. Мажитова Г. Г. Пирогенная динамика мерзлотных почв Колымского нагорья // Почвоведение. 2000. № 5. С. 619–629.
30. Мякина Н. Б., Аринушкина Е. В. Методическое пособие для чтения результатов химических анализов почв. М. : Изд-во МГУ, 1979. 62 с.
31. Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края / И. Н. Безкоровайная, П. А. Тарасов, Г. А. Иванова [и др.] // Сибирский экологический журнал. 2005. № 1. С. 143–152.
32. Попова Э. П. Азот в лесных почвах. Новосибирск : Наука, 1983. 163 с.
33. Попова Э. П. О продолжительности пирогенного воздействия на свойства лесных почв // Горение и пожары в лесу. Часть III. Лесные пожары и их последствия. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1979. С. 110–117.
34. Попова Э. П. Пирогенная трансформация свойств лесных почв Среднего Приангарья // Сибирский экологический журнал, 1997. № 4. С. 413–418.
35. Попова Э. П. Экологическая роль пожаров в почвообразовании // Почвенно-экологические исследования в лесных биогеоценозах. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1982. С. 119–174.
36. Постпирогенные изменения гидротермических параметров почв среднетаежных сосняков / П. А. Тарасов, В. А. Иванов, Г. А. Иванова [и др.] // Почвоведение. 2011. № 7. С. 795–803.
37. Практикум по почвоведению / И. С. Кауричев, Н. П. Панов, М. В. Странович [и др.] / под ред. И. С. Кауричева. М. : Колос, 1980. 272 с.
38. Прокушкин С. Г., Сорокин Н. Д., Цветков П. А. Экологические последствия пожаров в лиственничниках северной тайги Красноярского края // Лесоведение. 2000. № 4. С. 9–15.
39. Пшеничникова Н. Ф., Пшеничников Б. Ф. Роль пирогенного фактора в формировании горнолесных почв Приморья // Генезис и биология почв юга Дальнего Востока. Владивосток : ДВО РАН, 1994. С. 58–61.
40. Санников С. Н., Санникова Н. С., Петрова И. В. Естественное возобновление в Западной Сибири: эколого-географический очерк. Екатеринбург : УрО РАН, 2004. 199 с.
41. Сапожников А. П. Биогеоценотические и лесоводственные аспекты пирогенеза лесных почв // Горение и пожары в лесу. Часть III. Лесные пожары и их последствия. – Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1979. С. 96–104.
42. Сапожников А. П. Роль огня в формировании лесных почв // Экология. 1976. № 1. С. 42–46.
43. Смольянинов И. И., Мигунова Е. С., Гладкий А. С. Почвенная лаборатория лесхоза. М. : Лесн. пром-сть, 1966. 144 с.
44. Соколов В. А., Фарбер С. К. Возобновление в лесах Восточной Сибири. Новосибирск : Наука, Изд-во СО РАН, 2006. 219 с.
45. Сорокин Н. Д. Влияние лесных пожаров на биологическую активность почв // Лесоведение. 1983. № 4. С. 24–28.
46. Средняя Сибирь / Л. Г. Каманин, Б. Н. Лиханов, В. Г. Петухов [и др.] / отв. ред. Л. Г. Каманин и Б. Н. Лиханов. М. : Наука, 1964. 480 с.
47. Стефин В. В. Антропогенные воздействия на горно-лесные почвы. Новосибирск : Наука, Сиб. отделение, 1981. 169 с.
48. Сукачев В. Н., Зонн С. В. Методические указания к изучению типов леса. М. : Изд-во АН СССР, 1961. 143 с.
49. Тарабукина В. Г., Саввинов Д. Д. Влияние пожаров на мерзлотные почвы. Новосибирск : Наука, 1990. 120 с.
50. Тарасов П. А., Иванов В. А., Гайдуклова А. Ф. Анализ динамики роста и развития самосева сосны обыкновенной на гари // Хвойные бореальной зоны. 2012. № 3-4. С. 284–290.
51. Тарасов П. А., Иванов В. А., Иванова Г. А. Влияние пожаров на кислотность почв // Химико-лесной комплекс – проблемы и решения. Красноярск : СибГТУ, 2003. С. 75–81.
52. Тарасов П. А., Тарасова А. В. Исследование постпирогенной динамики агрохимических показателей подзолистой почвы // Хвойные бореальной зоны. 2020. № 5-6. С. 277–285.
53. Уткин А. И. Влияние огня на природу и формирование лиственничников Центральной Якутии // Лесное хозяйство. 1965. № 1. С. 46–51.
54. Фирсова В. П. Влияние огневой очистки лесосек на водно-физические свойства почв сосновых лесов юго-востока Свердловской области // Почвы и гидрологический режим лесов Урала. Свердловск : УФ СО АН СССР, 1963. Вып. 36. С. 29–38.
55. Фирсова В. П. Лесные почвы Свердловской области и их изменения под влиянием лесохозяйственных мероприятий // Труды ин-та экологии растений и животных УФ АН СССР. Свердловск : УФ СО АН СССР, 1969. Вып. 63. 152 с.
56. Цветков П. А., Сорокин Н. Д., Прокушкин С. Г. Эдафические условия и лесовосстановление после пожаров в лиственничниках Эвенкии // Лесоведение. 2001. № 2. С. 16–21.
57. Цибарт А. С., Геннадиев А. Н. Влияние пожаров на свойства лесных почв Приамурья (Норский заповедник) // Почвоведение. 2008. № 7. С. 783–792.
58. Цибарт А. С., Геннадиев А. Н. Направленность изменения лесных почв Приамурья под воздействием пирогенного фактора // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2009. № 3. С. 66–74.
59. Чевычелов А. П. Пирогенез и постпирогенные трансформации свойств и состава мерзлотных почв // Сибирский экологический журнал. 2002. № 3. С. 273–277.

60. Чевычелов А. П., Шахматова Е. Ю. Постпирогенные полициклические почвы в лесах Якутии и Забайкалья // Почвоведение. 2018. № 2. С. 243–252.

61. Шешуков М. А., Савченко А. П., Пешков В. В. Лесные пожары и борьба с ними на севере Дальнего Востока. Хабаровск : ДальНИИЛХ, 1992. 95 с.

62. Экологическая и лесообразующая роль пожаров в криолитозоне Сибири / А. П. Абаимов, С. Г. Прокushkin, О. А. Зырянова [и др.] // Лесоведение. 2001. № 5. С. 50–59.

63. Alexander M. E. Calculating and interpreting forest fire intensities // Can. J. Bot. 60. 1982. P. 349–357.

64. Alexander M. E., Stocks B. J., Lawson B. D. Fire Behavior in Black Spruce-lichen Woodland: The Porter Lake Project // For. Can.-Edmonton, AB., Info. Rep. NOR-X-310. 1991. 55 p.

65. Blank R. W., Simard A. J. An Electronic Timer for Measuring Spread Rates of Wildland Fires // USDA FS, North Central For. Exp. Sta., St. Pauls, MN, Res. Note NC-304. 1983. 4 p.

66. Byram G. M. Combustion of forest fuels, in K.P. Davis (ed.), Forest Fire: Control and Use. McGraw-Hill. New York, NY. 1959. P. 61–89.

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

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

69. Succession of vegetation after a high-intensity fire in a pine forest with lichen / G. A. Ivanova, N. M. Kovaleva, S. V. Zhila [et al.] // Contemporary Problems of Ecology. 2017. T. 10. № 1. P. 52–61.

70. Walker J. D., Stocks B. J. The fuel complex of mature and immature Jack Pine stands in Ontario. Canadian forestry service Department of the environment. Report O-X-229. 1975. Sault Ste Marie, Ontario. 19 p.

REFERENCES

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

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

3. Amosov G. A. Nekotor-yye osobennosti goreniya pri lesnykh pozharakh. L. : LeNNILKH. 1958. 30 s.

4. Aref'yeva Z. N. Vliyaniye ognya na nekotor-yye biokhimicheskiye protsessy v lesnykh pochvakh // Trudy In-ta biologii UF AN SSSR. Ufa: In-t biologii UF AN SSSR. 1963. Vyp. 36. S. 39–55.

5. Aref'yeva Z. N., Kolesnikov B. P. Dinamika ammiachnogo i nitratnogo azota v lesnykh pochvakh Zaural'ya pri vysokikh i nizkikh temperaturakh // Pochvovedeniye. 1964. № 3. S. 30–43.

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

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

8. Bogorodskaya A. V., Ivanova G. A., Tarasov P. A. Poslepozhar'naya transformatsiya mikrobn'nykh kompleksov pochv listvennichnikov Nizhnego Priangar'ya // Pochvovedeniye. 2011. № 1. S. 56–63.

9. Bogorodskaya A. V., Sorokin N. D. Mikrobiologicheskaya diagnostika sostoyaniya pirogenno-izmenennykh pochv sosnyakov Nizhnego Priangar'ya // Pochvovedeniye. 2006. № 10. S. 1258–1266.

10. Buzykin A. I. Vliyaniye nizovykh pozharov na sosnov-yye lesa Srednego Priangar'ya // Okhrana lesnykh resursov Sibiri. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1975. S. 141–153.

11. Vedrova, E. F., Korsunov V. M. Migratsiya vodorastvorimyykh produktov v pochvakh sosnovykh lesov // Pochvy sosnovykh lesov Sibiri. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1986. S. 24–33.

12. Vliyaniye kontroliruyemogo vyzhiganiya shelkopryadnikov na svoystva dernovo-podzolistykh pochv v Nizhnem Priangar'ye / Yu. N. Krasnoshchekov, E. N. Valendik, I. N. Bezkorováynaya [i dr.] // Lesovedeniye. 2005. № 5. S. 16–24.

13. Vliyaniye pozharov na emissii ugleroda v sosnovykh lesakh Sredney Sibiri / G. A. Ivanova, V. A. Ivanov, Ye. A. Kukavskaya [i dr.] // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2007. № 6. S. 885–895.

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

15. Zaydel'man F. R., Morozova D. I., Shvarov A. L. Izmeneniye svoystv pirogennykh obrazovaniy i ras-titel'-nosti na sgorevshikh osushennykh torfyanykh pochvakh polesiy // Pochvovedeniye. 2003. № 11. S. 1300–1309.

16. Karpachevskiy L. O. Les i lesn-yye pochvy. M. : Lesnaya promyshlennost', 1981. 264 s.

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

18. Karpel' B. A., Korokhodksha V. T. Izmeneniye pochvennykh usloviy posle pozharov // Lesn-yye pozhary v Yakutii i ikh vliyaniye na prirodu lesa. Novosibirsk : Nauka, 1979. S. 75–87.

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

20. Krasnoshchekov Yu. N. Vliyaniye pozharov na svoystva gornyykh dernovo-tayezhnykh pochv listvennichnikov Mongolii // Pochvovedeniye. 1994. № 9. S. 102–109.

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

22. Krasnoshchekov Yu. N., Bezkorováynaya I. N., Kuz'michenko V. V. Transformatsiya svoystv lesnoy podstilki pri kontroliruyemom vyzhiganiy shchelkopryadnikov v Nizhnem Priangar'ye // Pochvovedeniye. 2007. № 2. S. 170–178.

23. Kukavskaya Ye. A., Ivanova G. A. Vozdeystviye lesnykh pozharov na biomassu osnovnykh nasazhdeniy Sredney Sibiri // Vestnik KraSGAU. 2006. № 2. S. 156–162.
24. Kulagina M. A. Vliyaniye nizovogo pozhara na biogennuyu migratsiyu elementov pitaniya v sosnyake bagul'nikovo-brusnichnom // Ekologo-fitotsenoticheskiye osobennosti lesov Sibiri. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1982. S. 24–37.
25. Kurbatskiy N. P. Issledovaniye kolichestva i svoystv lesnykh goryuchikh materialov // Voprosy lesnoy pirologii. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1970. S. 5–58.
26. Kurbatskiy N. P. Tekhnika i taktika tusheniya lesnykh pozharov. M. : Goslesbumizdat, 1962. 154 s.
27. Kucherov Ye. V., A. Kh. Mukatanov, A. Kh. Galeva. Vliyaniye lesnykh pozharov na svoystva pochv i travyano-kustarnichkovyy yarus v sosnyakakh Yuzhnogo Urala // Goreniiye i pozhary v lesu. Chast' III. Lesn-yye pozhary i ikh posledstviya. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1979. S. 104–110.
28. Lukina N. V., Polyanskaya L. M., Orlova M. A. Pitatel'nyy rezhim pochv severotayezhnykh lesov. M. : Nauka, 2008. 342 s.
29. Mazhitova G. G. Pirogennaya dinamika merzlotnykh pochv Kolymского nagor'ya // Pochvovedeniye. 2000. № 5. S. 619–629.
30. Myakina N. B., Arinushkina Ye. V. Metodicheskoye posobiye dlya chteniya rezul'tatov khimicheskikh anali-zov pochv. M. : Izd-vo MGU, 1979. 62 s.
31. Pirogennaya transformatsiya pochv sosnyakov sredney taygi Krasnoyarskogo kraya / I. N. Bezkorovaynaya, P. A. Tarasov, G. A. Ivanova [i dr.] // Sibirskiy ekologicheskii zhurnal. 2005. № 1. S. 143–152.
32. Popova E. P. Azot v lesnykh pochvakh. Novosibirsk : Nauka, 1983. 163 s.
33. Popova E. P. O prodolzhitel'nosti pirogennogo vozdeystviya na svoystva lesnykh pochv // Goreniiye i pozhary v lesu. Chast' III. Lesn-yye pozhary i ikh posledstviya. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1979. S. 110–117.
34. Popova E. P. Pirogennaya transformatsiya svoystv lesnykh pochv Srednego Priangar'ya // Sibirskiy ekologicheskii zhurnal, 1997. № 4. S. 413–418.
35. Popova E. P. Ekologicheskaya rol' pozharov v pochvoobrazovanii // Pochvenno-ekologicheskoye issledovaniya v lesnykh biogeotsenozakh. Novosibirsk : Nauka, Sib. otd.-niye, 1982. S. 119–174.
36. Postpirogenn-yye izmeneniya gidrotermicheskikh parametrov pochv srednetayezhnykh sosnyakov / P. A. Tarasov, V. A. Ivanov, G. A. Ivanova [i dr.] // Pochvovedeniye. 2011. № 7. S. 795–803.
37. Praktikum po pochvovedeniyu / I. S. Kaurichev, N. P. Panov, M. V. Stranovich [i dr.] / pod red. I. S. Kauricheva. M. : Kolos, 1980. 272 s.
38. Prokushkin S. G., Sorokin N. D., Tsvetkov P. A. Ekologicheskoye posledstviya pozharov v listvennikakh severnoy taygi Krasnoyarskogo kraya // Lesovedeniye. 2000. № 4. S. 9–15.
39. Pshenichnikova N. F., Pshenichnikov B. F. Rol' pirogennogo faktora v formirovanii gornolesnykh pochv Primor'ya // Genezis i biologiya pochv yuga Dal'nego Vostoka. Vladivostok : DVO RAN, 1994. S. 58–61.
40. Sannikov S. N., Sannikova N. S., Petrova I. V. Yestestvennoye vozobnovleniye v Zapadnoy Sibiri: ekologo-geograficheskiy ocherk. Yekaterinburg : URO RAN, 2004. 199 s.
41. Sapozhnikov A. P. Biogeotsenoticheskiye i lesovodstvenn-yye aspekty pirogeneza lesnykh pochv // Goreniiye i pozhary v lesu. Chast' III. Lesn-yye pozhary i ikh posledstviya. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1979. S. 96–104.
42. Sapozhnikov A. P. Rol' ognya v formirovanii lesnykh pochv // Ekologiya. 1976. № 1. S. 42–46.
43. Smol'yaninov I. I., Migunova Ye. S., Gladkiy A. S. Pochvennaya laboratoriya leskhoza. M. : Lesn. prom-st', 1966. 144 s.
44. Sokolov V. A., Farber S. K. Vozobnovleniye v lesakh Vostochnoy Sibiri. Novosibirsk : Nauka, Izd-vo SO RAN, 2006. 219 s.
45. Sorokin N. D. Vliyaniye lesnykh pozharov na biologicheskuyu aktivnost' pochv // Lesovedeniye. 1983. № 4. C. 24–28.
46. Srednyaya Sibir' / L. G. Kamanin, B. N. Likhanov, V. G. Petukhov [i dr.] / otv. red. L. G. Kamanin i B. N. Likhanov. M. : Nauka, 1964. 480 s.
47. Stefin V. V. Antropogenn-yye vozdeystviya na gornolesnyye pochvy. Novosibirsk : Nauka, Sib. otd., 1981. 169 s.
48. Sukachev V. N., Zonn S. V. Metodicheskoye ukazaniya k izucheniyu tipov lesa. M. : Izd-vo AN SSSR, 1961. 143 s.
49. Tarabukina V. G., Savvinov D. D. Vliyaniye pozharov na merzlotn-yye pochvy. Novosibirsk : Nauka, 1990. 120 s.
50. Tarasov P. A., Ivanov V. A., Gaydukova A. F. Analiz dinamiki rosta i razvitiya samoseva sosny obyknovennoy na gari // Khvoyn-yye boreal'noy zony. 2012. № 3-4. S. 284–290.
51. Tarasov P. A., Ivanov V. A., Ivanova G. A. Vliyaniye pozharov na kislotnost' pochv // Khimiko-lesnoy kompleks – problemy i resheniya. Krasnoyarsk : SibGTU, 2003. S. 75–81.
52. Tarasov P. A., Tarasova A. V. Issledovaniye postpirogennoy dinamiki agrokhimicheskikh pokazateley podzolistoy pochvy // Khvoyn-yye boreal'noy zony. 2020. № 5-6. S. 277–285.
53. Utkin A. I. Vliyaniye ognya na prirodu i formirovaniye listvennichnikov Tsentral'noy Yakutii // Lesnoye khozyaystvo. 1965. № 1. S. 46–51.
54. Firsova V. P. Vliyaniye ognevoy ochistki lesosek na vodno-fizicheskiye svoystva pochv osnovnykh le-sov yugo-vostoka Sverdlovskoy oblasti // Pochvy i gidrologicheskii rezhim lesov Urala. Sverdlovsk : UF SO AN SSSR, 1963. Vyp. 36. S. 29–38.
55. Firsova V. P. Lesn-yye pochvy Sverdlovskoy oblasti i ikh izmeneniya pod vliyaniem lesokhozyaystvennykh meropriyatii // Trudy in-ta ekologii rasteniy i zhivotnykh UF AN SSSR. Sverdlovsk : UF SO AN SSSR, 1969. Vyp. 63. 152 s.
56. Tsvetkov P. A., Sorokin N. D., Prokushkin S. G. Edaficheskiye usloviya i lesovosstanovleniye posle pozharov v listvennichnikakh Evenkii // Lesovedeniye. 2001. № 2. S. 16–21.
57. Tsibart A. S., Gennadiyev A. N. Vliyaniye pozharov na svoystva lesnykh pochv Priamur'ya (Norskiy zapovednik) // Pochvovedeniye. 2008. № 7. S. 783–792.

58. Tsibart A. S., Gennadiyev A. N. Napravlennost' izmeneniya lesnykh pochv Priamur'ya pod vozdeystvi-
em pirogennoy faktora // Vestnik Moskovskogo univer-
siteta. Seriya 5. Geografiya. 2009. № 3. S. 66–74.

59. Chevychelov A. P. Pirogeny i postpiroge-
nyye transformatsii svoystv i sostava merzlotnykh pochv // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2002. № 3. S. 273–277.

60. Chevychelov A. P., Shakhmatova Ye. Yu. Postpiroge-
nyye politsiklicheskiye pochvy v lesakh Yakutii i Za-baykal'ya // Pochvovedeniye. 2018. № 2. S. 243–252.

61. Sheshukov M. A., Savchenko A. P., Peshkov V. V. Lesn-
yye pozhary i bor'ba s nimi na severe Dal'nego Vostoka. Khabarovsk : Dal'NIILKH, 1992. 95 s.

62. Ekologicheskaya i lesoobrazuyushchaya rol' pozharov v kriolitozone Sibiri / A. P. Abaimov, S. G. Pro-
kushkin, O. A. Zyryanova [i dr.] // Lesovedeniye. 2001. № 5. S. 50–59.

63. Alexander M. E. Calculating and interpreting
forest fire intensities // Can. J. Bot. 60. 1982. P. 349–357.

64. Alexander M. E., Stocks B. J., Lawson B. D. Fire
Behavior in Black Spruce-lichen Woodland: The Porter
Lake Project // For. Can.-Edmonton, AB., Info. Rep.
NOR-X-310. 1991. 55 r.

65. Blank R. W., Simard A. J. An Electronic Timer
for Measuring Spread Rates of Wildland Fires // USDA

FS, North Central For. Exp. Sta., St. Pauls, MN, Res.
Note NC-304. 1983. 4 r.

66. Byram G. M. Combustion of forest fuels, in K.P.
Davis (ed.), Forest Fire: Control and Use. McGraw-Hill.
New York, NY. 1959. P. 61–89.

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

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

69. Succession of vegetation after a high-intensity fire
in a pine forest with lichen / G. A. Ivanova, N. M.
Kovaleva, S. V. Zhila [et al.] // Contemporary Problems
of Ecology. 2017. T. 10. № 1. R. 52–61.

70. Walker J. D., Stocks B. J. The fuel complex of
mature and immature Jack Pine stands in Ontario.
Canadian forestry service Department of the environment.
Report O-X-229. 1975. Sault Ste Marie, Ontario. 19 p.

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

Поступила в редакцию 26.10.2022
Принята к печати 04.04.2023

РАНЖИРОВАНИЕ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ РОДОВ ЕВРАЗИИ ПО СБЕЖИСТОСТИ (ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЫСОТЕ) СТВОЛА*

В. А. Усольцев^{1,2}, И. С. Цепордей^{2,3}, Д. В. Норитсин⁴

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

²Ботанический сад УрО РАН

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

³Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина
Российская Федерация, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

⁴ПАО «Сбербанк», Центр компетенций аналитики
Российская Федерация, 620026, г. Екатеринбург, ул. Гоголя, 44

Относительная высота дерева, как отношение его высоты к диаметру на высоте груди, является одной из важнейших характеристик морфоструктуры дерева и древостоя. В начале XX века было установлено, что она связана с видовой принадлежностью, добротностью местопроизрастания, возрастом и полнотой насаждения. Многочисленными исследованиями показано, что относительная высота дерева увеличивается прямо пропорционально степени его угнетенности в пологом и обратно пропорционально относительной длине кроны. На уровне древостоя относительная высота увеличивается по мере повышения густоты древостоя и описывается выпуклой кривой с выходом на плато. В практическом приложении относительная высота используется в качестве показателя устойчивости при ветровых и снеговых нагрузках и показателя, влияющего на механические свойства древесины ствола, а в теоретическом плане играет важную роль в теории формообразования древесных стволов. Целью нашего исследования было выполнить ранжирование лесообразующих родов (подродов) Евразии по величине относительной высоты. По материалам 5858 модельных деревьев и 5175 древостоев для 11 древесных родов (подродов), произрастающих на территории Евразии, впервые установлено влияние таксационных показателей на относительную высоту соответственно деревьев и древостоев лесообразующих родов и выполнено их ранжирование по величине относительной высоты при фиксированных таксационных показателях деревьев и древостоев. Все регрессионные коэффициенты построенных моделей значимы на уровне $p < 0,001$, что обеспечивает воспроизводимость полученных результатов. Показано, что последовательность родов в направлении снижения относительной высоты их деревьев и древостоев не отражает последовательности снижения их светолюбия, по Я. С. Медведеву (1910), в сопоставлении с имеющимися шкалами светолюбия европейских видов.

Ключевые слова: лесообразующие роды и подроды, объем ствола и относительная длина кроны, густота и запас древостоя, относительная высота дерева и древостоя, теневыносливость видов, модель смешанного типа, метод фиктивных переменных.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 2, P. 175–184

RANKING OF THE FOREST-FORMING GENERA OF EURASIA BY THE SLENDERNESS (RELATIVE HEIGHT) OF THE STEM

V. A. Usoltsev^{1,2}, I. S. Tsepordey^{2,3}, D. V. Noritsin⁴

¹Ural State Forest Engineering University
37, Siberian tract, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation

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

³Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin
19, Mira str., Yekaterinburg, 620002, Russian Federation

⁴Sberbank PJSC, Analytics Competence Center
44, Gogol Str., Yekaterinburg, 620026, Russian Federation

The relative height (slenderness) of a tree, as the ratio of its height to diameter at breast height, is one of the most important characteristics of the morphological structure of a tree and a stand. At the beginning of the twentieth century, it was found that it is associated with species, the site quality, age and tree density. Numerous studies have shown that

* Работа выполнена в рамках Госзадания FEUZ-2023-0023.

the relative height of a tree increases in direct relation to the degree of its depression in the canopy and is inversely proportional to the relative length of the crown. At the level of a stand, the relative height increases as the density of a stand increases and is described by a convex curve with access to the plateau. In practical application, relative height is used as an indicator of stability under wind and snow loads and as an indicator that affects the mechanical properties of the stem wood, and theoretically plays an important role in the theory of stem shape development. The purpose of our study was to perform a ranking of forest-forming genera (subgenera) of Eurasia by relative height. Based on the materials of 5858 model trees and 5175 stands for 11 tree genera (subgenera) growing on the territory of Eurasia, the influence of taxation indicators on the relative height of trees and stands of forest-forming genera, respectively, was established for the first time and their ranking by relative height was performed with fixed taxation indicators of trees and stands. All regression coefficients of the constructed models are significant at the level of $p < 0.001$, which ensures reproducibility of the results obtained. It is shown that the sequence of genera in the direction of decreasing the relative height of their trees and stands does not reflect the sequence of decreasing their light-requiring, by Ya. S. Medvedev (1910), in comparison with the available scales of light-requiring of European species.

Keywords: forest-forming genera and subgenera, stem volume and relative crown length, stand density and volume stock, relative height of tree and stand, shade tolerance and light-requiring of species, mixed type model, method of dummy variables.

ВВЕДЕНИЕ

Относительная высота дерева, как отношение его высоты к диаметру на высоте груди, является одной из важнейших характеристик морфоструктуры дерева и древостоя. Термин «относительная высота дерева» введен в оборот в русскоязычной литературе, по-видимому, Я. С. Медведевым [5]. Им было установлено, что относительная высота связана с видовой принадлежностью, добротностью местопроизрастания, возрастом и полнотой насаждения. У сосны обыкновенной в спелом возрасте, выросшей на свободе и в условиях максимальной сомкнутости, относительная высота составляет (при одной и той же размерности высоты и диаметра) соответственно 25 и 126 [5]. В 18-летних сосняках редких, средней густоты, густых и очень густых она изменяется в последовательности соответственно 76, 88, 105 и 124 [12]. С густотой связана также относительная длина кроны как отношение длины кроны к высоте дерева, но величина коэффициента корреляции между относительной длиной кроны и относительной высотой зависит от густоты древостоя. В 18-летних сосняках редких, средней густоты, густых и очень густых названный коэффициент корреляции изменяется в последовательности соответственно $-0,28$; $-0,47$; $-0,48$ и $-0,62$ [12]. Относительная высота увеличивается прямо пропорционально степени угнетенности дерева в пологе и обратно пропорционально относительной длине кроны у дугласии, ели европейской и ели ситхинской в Ирландии [23]. Повышение степени угнетенности деревьев сопровождается снижением уровня освещенности крон. В дубовых насаждениях на юге Мексики была выявлена отрицательная связь относительной высоты подростов ликвидамбара (*Liquidambar styraciflua* L.) со степенью освещенности в окне полога ($R^2 = 0,27$) [24].

Относительная высота уменьшается как с ухудшением класса бонитета при одном и том же возрасте, так и с повышением возраста в пределах одного класса бонитета, но произведение относительной высоты и суммы площадей сечений древостоя является величиной постоянной, не зависящей ни от возраста, ни от класса бонитета [2]. Относительная высота отражает степень освещенности, при которой выросли деревья,

изменяясь в обратном отношении с количеством получаемого ими света. Теневыносливые деревья имеют более низкие, а светолюбивые – напротив, более высокие относительные высоты. Установив закономерность снижения относительной высоты по мере увеличения теневыносливости видов, Я. С. Медведев [5] выполнил ранжирование видов по степени теневыносливости в порядке ее увеличения в следующей последовательности: береза, сосна, ясень, осина, дуб, липа, граб, ель, бук, пихта, тис.

Известно, что на начальном этапе роста связь роста в высоту и по диаметру дерева близка к линейной [11; 29; 35], но связь относительной высоты с густотой линейной не является. Причина в том, что средний диаметр в первые годы снижается с густотой быстрее, чем средняя высота, но, начиная с 20-30-летнего возраста, рост в толщину деревьев идет относительно энергичнее, чем рост в высоту [8; 9]. Анализ изменения относительной высоты сосняков естественного и искусственного происхождения второго класса возраста в Красноярском крае в диапазоне густот соответственно от 1826 до 33381 и от 239 до 34336 экз./га показал, что высокая скорость изменения относительной густоты наблюдается при густотах до 7–10 тыс. экз./га, а при дальнейшем увеличении густоты скорость изменения замедляется и выходит на плато. Соответствующая зависимость описана степенной функцией с коэффициентами детерминации для естественных сосняков и культур соответственно 0,37 и 0,99. На всем диапазоне густоты относительная высота в естественных древостоях была существенно выше, чем в культурах, причем это различие сокращалось по мере роста густоты [9]. Похожий результат получен в США, где относительная высота деревьев в культурах дугласовой пихты была проанализирована в связи с густотой и верхней высотой древостоя, и было показано, что при одной и той же верхней высоте относительная высота возрастает по мере увеличения густоты [35].

Вследствие тесной связи относительной высоты с густотой показатель относительной густоты использован при оценке биомассы крон деревьев сосны обыкновенной наряду с возрастом и объемом ствола, и полученное трехфакторное уравнение объяснило 96 % изменчивости биомассы крон [7]. В практиче-

ском приложении относительная высота используется в качестве показателя устойчивости при ветровых и снеговых нагрузках [33; 35], а в теоретическом плане играет важную роль в теории формообразования древесных стволов [3].

Форма и сбеги стволов деревьев изучаются уже более 100 лет. Сбег – это скорость изменения диаметра с увеличением высоты вдоль ствола дерева [20]. Уравнение сбега представляет математическое выражение изменения диаметра ствола в связи с «текущей» высотой ствола, зависящее от вида деревьев, возраста древостоя, его густоты и факторов, влияющих на качество местообитания [10; 25]. Путем интегрирования уравнения сбега получают величину объема ствола, а умножением на базисную плотность – его биомассу [21].

В течение последних десятилетий относительная высота (slenderness) используется в качестве одного из факторов, определяющих механические свойства древесины ствола [27]. В экспериментах с сосной замечательной (*Pinus radiata* D. Don) в Новой Зеландии относительная высота объяснила в одном случае 59 % [33] и в другом – 49 % [32], но в древостоях сосны раскидистой (*Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham) на юге Африки лишь 18 % изменчивости модуля упругости Юнга [14]. Аналогичная положительная связь относительной высоты как с густотой, так и со скоростью прохождения звукового сигнала, тесно коррелирующей с модулем Юнга, была показана в древостоях сосны ладанной (*Pinus taeda* L.) в США [26]. В древостоях березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в Чехии была выявлена отрицательная связь относительной высоты с базисной плотностью древесины и с возрастом дерева [18].

Фенотипический отбор плюсовых деревьев в Швеции способствовал снижению относительной высоты у ели европейской и ее увеличению у сосны обыкновенной по сравнению с соседними деревьями. Аналогичный результат был получен также в исследовании потомств, которое показало, что генетика сыграла заметную роль в фенотипическом облике деревьев. По сравнению с потомством соседних деревьев, потомство плюсовых деревьев ели европейской имело на 5,3 % меньшую относительную высоту, в то время как потомство плюсовых деревьев сосны обыкновенной имело на 1,5 % большую относительную высоту, что указывает на возможность изменения относительной высоты деревьев путем селекции [13].

Целью нашего исследования было

- выявить влияние таксационных показателей на относительную высоту деревьев и древостоев различных лесообразующих родов (подродов) Евразии;
- выполнить их ранжирование по величине относительной высоты при фиксированных таксационных показателях деревьев и древостоев;
- проверить положение Я. С. Медведева [5] о связи относительной высоты со степенью светолюбия деревьев и древостоев на уровне лесообразующих родов Евразии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для реализации поставленной цели исследования использованы две авторские базы данных для лесов Ев-

разии, одна из которых составлена для деревьев в количестве 15390 определений [30], а вторая – для древостоев в количестве 8475 определений [31]. Для нашего анализа из первой из них взяты данные 5858 модельных деревьев и из второй – данные 5175 древостоев.

Поскольку исходные данные как обмеров модельных деревьев, так и инструментальной таксации древостоев, представлены в базах данных несколькими викарирующими видами в пределах того или иного рода Евразии, наш анализ выполнен на уровне родов и подродов. Двухвойные сосны (подрод *Pinus* L.) представлены в основном сосной обыкновенной и в небольшом количестве сосной черной, густоцветной и ладанной; род *Picea* A. Dietr. – елью европейской и сибирской и в небольшом количестве елью аянской; род *Abies* Mill. – пихтой европейской, сибирской и в небольшом количестве пихтой белокорой и Вича; пятихвойные сосны (подрод *Haploxylon* (Koehne) Pilg.) – кедром сибирским и корейским; род *Larix* Mill. – лиственницей европейской, сибирской, Сукачева, Гмелина, Каяндера; род *Betula* L. – березой пушистой и повислой; род *Populus* L. – осинкой обыкновенной и в небольшом количестве осинкой Давида и тополем волосистоплодным; род *Alnus* Gaertn. – ольхой серой и черной, род *Quercus* L. – дубом черешчатым, скальным и монгольским и в небольшом количестве дубом пильчатым; род *Fagus* L. – буком европейским и городчатым; род *Tilia* L. – липой мелколистной и в небольшом количестве липой амурской и маньчжурской.

Исходные данные названных родов в их статистической обработке представлены в табл. 1. Базы данных для деревьев и древостоев составлены независимо одна от другой и, как правило, никак не соотносятся между собой по основным показателям, т. е. многие пробные площади, на которых обмерялись модельные деревья, не вошли в число пробных площадей с инструментальной таксацией древостоев и наоборот.

Судя по табл. 1, разные роды и подроды представлены в широком диапазоне исходных данных – от 2250 пробных площадей для двухвойных сосен до 120–130 – для пятихвойных сосен и ольхи. Мы поставили одной из задач выявление зависимости относительной высоты деревьев или древостоев от наиболее информативных таксационных показателей, зная о неизбежной их взаимной корреляции. При большом массиве данных (например, 2250 определений) вероятность ортогональности таксационных показателей намного выше, чем при небольшом массиве (в нашем случае 130 определений). Под ортогональностью признаков мы имеем в виду наличие в исходном материале при одном и том же возрасте максимального диапазона густоты, при фиксированной густоте – максимального диапазона среднего диаметра, при фиксированном среднем диаметре – максимального диапазона запаса древостоев. В случае несоблюдения данного условия таксационные показатели сильно коррелируют, что означает низкую устойчивость результирующей модели. Вследствие разной степени ортогональности таксационных показателей

у разных родов, объясненное варьирование относительной высоты у одних будет представлено одним сочетанием таксационных показателей, а у других – совершенно другим. Например, в нашем случае предварительный регрессионный анализ показал, что в модели для двухвойных сосен запас древостоя будет обеспечивать наибольшую долю варьирования относительной высоты ($t = 22,3 > t_{999} = 3,29$), а в модели

для ольхи запас оказывается статистически не значимым ($t = 0,56 < t_{95} = 1,96$) так же, как и для осины ($t = 1,74 < t_{95} = 1,96$), и подлежит исключению из дальнейшего анализа. Тем самым, не обеспечивается единообразное сочетание таксационных показателей, объясняющих изменчивость относительной высоты, и сопоставление последней по родам не будет обеспечено сопоставимостью «фоновых» условий.

Таблица 1

Характеристика данных измерений модельных деревьев и перечислительной таксации пробных площадей лесообразующих родов

Статистики ⁽¹⁾	Таксационные показатели модельных деревьев ⁽²⁾					Таксационные показатели древостоев пробных площадей ⁽²⁾				
	<i>At</i>	<i>d</i>	<i>h</i>	<i>Lcr</i>	<i>V</i>	<i>As</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>N</i>
<i>Pinus</i>										
Mean	44	14,3	13,4	5,9	227,4	54	14,9	13,8	200,2	3,6
Min	8	0,5	1,5	0,7	0,1	5	1,4	1,2	1,4	0,1
Max	387	55,0	36,6	21,4	3985,0	280	60,0	35,7	700,0	83,6
SD	34,8	9,7	7,1	3,1	397,4	38,5	8,9	7,1	135,2	6,1
CV. %	79,0	67,9	53,0	52,0	174,7	71,5	59,7	51,3	67,5	170,0
n	2093	2094	2094	2094	2094	2250	2250	2250	2250	2250
<i>Picea</i>										
Mean	44	13,8	12,6	7,8	295,3	75	19,9	18,0	317,5	2,0
Min	10	0,7	1,4	1,1	0,1	3	0,4	0,3	0,005	0,2
Max	250	67,6	42,8	24,6	6839,0	270	48,9	38,6	1000,0	34,8
SD	31,5	11,5	9,0	4,7	655,0	46,3	10,0	8,0	204,1	2,9
CV. %	71,3	83,0	71,4	60,4	221,8	62,1	50,1	44,5	64,3	142,6
n	712	712	712	711	712	582	582	582	582	582
<i>Abies</i>										
Mean	53	18,2	15,0	9,5	433,4	80	21,1	17,9	310,4	2,0
Min	8	0,8	1,7	1,3	0,3	16	1,6	2,2	21,0	0,1
Max	180	65,5	32,7	22,2	5031,0	200	74,0	45,0	1294,0	54,1
SD	33,7	12,5	8,1	4,5	653,7	35,2	9,6	6,7	222,3	4,4
CV. %	64,0	68,5	53,9	47,3	150,8	43,8	45,3	37,4	71,6	222,3
n	260	260	260	260	260	228	228	228	228	228
<i>Haploxyton</i>										
Mean	43	9,9	8,4	5,7	92,7	152	29,1	19,9	326,6	1,1
Min	15	1,5	1,7	1,5	0,7	28	2,0	2,4	27,9	0,1
Max	157	30,5	24,0	14,1	769,0	380	62,8	31,0	656,0	16,2
SD	37,4	6,9	5,6	2,9	172,9	63,8	10,5	5,5	157,8	1,6
CV. %	87,1	70,1	66,9	51,7	186,5	42,0	36,1	27,4	48,3	146,3
n	80	80	80	80	80	120	120	120	120	120
<i>Larix</i>										
Mean	78	14,6	12,9	7,1	214,3	127	17,2	15,3	154,9	2,3
Min	14	0,5	1,5	1,1	0,1	14	1,0	1,8	0,5	0,01
Max	424	72,9	34,0	21,8	6276,0	380	72,9	35,0	612,0	112,0
SD	71,7	9,2	5,6	3,4	480,7	70,8	10,2	7,2	137,8	8,1
CV. %	92,2	63,1	43,3	48,5	224,3	56,0	58,9	47,2	89,0	359,7
n	255	256	256	256	256	236	235	236	236	235
<i>Betula</i>										
Mean	40	14,4	15,8	7,7	183,4	45	13,4	15,1	167,9	5,4
Min	6	1,1	2,3	1,3	0,2	5	1,0	1,5	0,5	0,2
Max	126	41,8	34,5	17,8	1294,7	240	48,2	30,3	484,0	116,0
SD	19,0	7,6	5,9	3,0	208,0	27,7	7,8	6,6	103,1	13,3
CV. %	48,1	53,0	37,1	38,4	113,4	61,8	57,7	43,5	61,4	246,7
n	934	934	934	934	934	482	482	482	481	482

Окончание таблицы 1

Статистики ⁽¹⁾	Таксационные показатели модельных деревьев ⁽²⁾					Таксационные показатели древостоев пробных площадей ⁽²⁾				
	<i>At</i>	<i>d</i>	<i>h</i>	<i>Lcr</i>	<i>V</i>	<i>As</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>N</i>
<i>Populus</i>										
Mean	27	15,1	15,3	6,6	243,2	32	14,2	15,3	203,2	5,8
Min	6	1,1	2,7	1,4	1,0	2	1,1	2,2	3,1	0,2
Max	57	42,8	28,8	15,0	1572,0	140	38,3	31,0	772,0	131,4
SD	13,1	9,8	5,9	2,8	334,7	22,5	8,8	6,8	133,0	13,8
CV.%	47,6	64,9	38,3	42,3	137,6	71,2	62,1	44,6	65,5	239,4
n	343	343	343	343	343	242	242	242	242	242
<i>Alnus</i>										
Mean	35	16,3	17,3	7,1	272,3	36	14,8	16,2	229,6	4,9
Min	6	2,2	4,9	1,5	1,6	5	1,2	2,7	18,9	0,3
Max	95	42,1	27,8	18,0	1508,0	93	32,0	28,0	558,0	96,2
SD	19,9	8,3	5,4	2,7	322,4	18,1	7,3	5,7	124,9	12,0
CV.%	57,0	51,1	31,2	38,7	118,4	51,0	49,6	35,2	54,4	246,9
n	397	397	397	397	397	134	134	134	134	134
<i>Quercus</i>										
Mean	41	16,1	14,6	6,1	285,4	67	21,5	17,2	220,5	2,0
Min	6	1,5	2,2	0,6	0,8	8	1,5	2,2	5,8	0,1
Max	166	55,9	32,6	18,7	3812,0	250	74,0	34,1	614,0	41,2
SD	24,3	9,8	6,8	3,8	418,1	47,2	13,5	7,4	141,7	3,4
CV.%	59,9	61,2	46,7	63,3	146,5	70,7	62,8	43,3	64,3	167,1
n	365	365	365	365	365	448	448	448	448	448
<i>Fagus</i>										
Mean	34	11,6	14,0	6,9	166,4	77	22,9	19,1	305,6	1,9
Min	8	1,1	2,8	2,1	0,3	8	1,5	2,5	18,0	0,1
Max	172	60,5	39,3	24,2	5877,5	400	52,8	39,0	754,0	51,8
SD	23,0	8,0	6,4	3,1	504,0	46,4	12,3	7,6	151,2	4,5
CV.%	67,1	68,4	45,6	44,5	302,9	60,2	53,7	39,6	49,5	233,5
n	229	229	229	229	229	207	204	203	206	205
<i>Tilia</i>										
Mean	56	19,0	17,8	11,2	320,9	74	22,6	17,7	240,2	1,7
Min	21	4,0	7,5	2,6	5,0	5	1,5	1,7	15,0	0,1
Max	115	38,6	24,8	19,6	1093,0	150	44,3	28,0	619,0	52,0
SD	18,7	7,7	4,0	4,2	266,3	42,9	10,5	6,0	135,2	4,2
CV.%	33,6	40,3	22,7	37,4	83,0	57,8	46,6	34,0	56,3	243,4
n	188	188	188	188	188	249	249	249	249	249

⁽¹⁾Mean, Min и Max – соответственно среднее, минимальное и максимальное значения; SD – стандартное отклонение; CV – коэффициент вариации; n – число наблюдений;

⁽²⁾*At* – возраст дерева, лет; *d* – диаметр ствола дерева, см; *h* – высота дерева, м; *Lcr* – длина кроны, м; *V* – объем ствола дерева, дм^3 ; *As* – средний возраст деревьев в древостое, лет; *D* – средний диаметр древостоя на высоте груди, см; *H* – средняя высота древостоя, м; *M* – запас, $\text{м}^3/\text{га}$; *N* – густота древостоя, тыс. экз./га.

Однако современные возможности регрессионного анализа позволяют включать в расчет многофакторных зависимостей результаты подобного неравновесного количества исходных данных по разным родам (подродам), используя метод так называемых фиктивных переменных (dummy variables). Проблема неравновесных данных (в дисперсионном анализе – это неравномерный комплекс) снимается применением систем уравнений, взаимно «синхронизированных» блоком фиктивных переменных [1]. Каждый блок фиктивных переменных, для наших 11 родов, обозначенных последовательностью $X_0 \dots X_{10}$, представляет группу модельных деревьев или пробных площадей, приходящуюся на данный род, и повторяется в исходной матрице экспериментальных данных согласно количеству модель-

ных деревьев или пробных площадей для данного рода. За исходный (нулевой) блок в нашем случае приняты данные для подрода двухвойных сосен, наиболее представленных в базе данных, хотя выбор рода для нулевого блока или его замена другим никак не влияет на получаемые результаты. Этот блок закодирован нулями для всех родов. Каждый из остальных 10 родов имеет в блоке одну единицу (табл. 2).

Далее мы рассчитываем модели так называемого смешанного типа (mixed models), включающие в качестве независимых переменных как численные переменные (таксационные показатели), так и блок фиктивных переменных [15]. Поскольку базы данных на уровнях дерева и древостоя не связаны между собой, поставленные задачи исследования мы выполняем для них порознь.

Таблица 2

Схема кодирования блоком фиктивных переменных принадлежности исходных данных к разным родам

Род (подрод)	Блок фиктивных переменных									
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
<i>Pinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Picea</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Abies</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Haploxydon</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Larix</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Betula</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Populus</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Alnus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Quercus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Fagus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Tilia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

(а) Моделирование относительной высоты деревьев

Для ранжирования родов по величине относительной высоты необходимо выявить структуру модели, т. е. выполнить анализ информативности таксационных показателей дерева в объяснении изменчивости искомого показателя. На предварительном этапе для каждого рода отдельно рассчитывали зависимость относительной высоты от основных таксационных показателей дерева:

$$\ln(h/d) = a_0 + a_1 \ln At + a_2 (\ln At)^2 + a_3 \ln V + a_4 (\ln At)(\ln V) + a_5 \ln(Lcr/H) + \sum_{bi} X_i, \quad (1)$$

где h/d – относительная высота дерева, м/см; $(\ln At)(\ln V)$ – комбинированная переменная учитывающая совместное действие возраста и объема ствола; Lcr/h – относительная длина кроны, м/м; $\sum_{bi} X_i$ – блок фиктивных переменных.

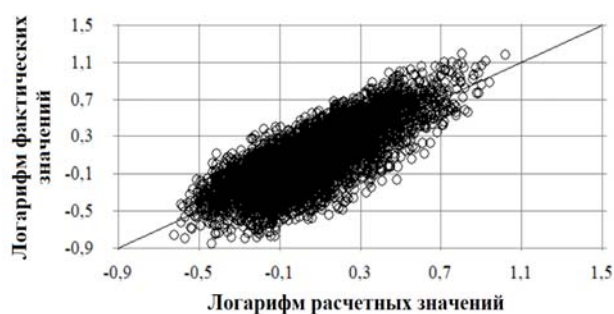


Рис. 1. Соотношение фактических и расчетных по модели (5) значений h/d

Зависимость относительной высоты от возраста в логарифмических координатах введена в модель в виде полинома второго порядка, поскольку с возрастом названная зависимость выходит на плато. В процессе регрессионного анализа выяснилось, что регрессионный коэффициент a_5 при переменной $\ln(Lcr/H)$ статистически значим, и этот факт подтверждает ранее установленную исследователями обратную

пропорциональную связь относительной длины кроны и относительной высоты дерева. Но включив относительную длину кроны в модель в качестве одной из независимых переменных, мы при табулировании модели по средним значениям независимых переменных выравниваем все роды не только по возрасту и объему ствола, но и по величине относительной длины кроны, тогда как она не может быть стабильной при родовой изменчивости относительной высоты.

В итоге была получена следующая модель:

$$\begin{aligned} \ln(h/d) = & -0,8781 + 0,8052 \ln A - 0,1099 (\ln A)^2 - \\ & - 0,2098 \ln V + 0,0229 (\ln A)(\ln V) - 0,1070 X_1 - \\ & - 0,0842 X_2 - 0,2959 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & X_3 - 0,0681 X_4 + 0,1847 X_5 + 0,2122 X_6 + \\ & + 0,2479 X_7 + 0,0152 X_8 + 0,2243 X_9 + 0,0845 X_{10}; \end{aligned}$$

$$\text{adj}R^2 = 0,464; \text{SE} = 0,23. \quad (5)$$

В модели (5) и далее: $\text{adj}R^2$ – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных; SE = стандартная ошибка модели; свободный член модели скорректирован на логарифмическое преобразование. Регрессионные коэффициенты при численных переменных модели (5) достоверны на уровне $p < 0,001$. Вклады переменных возраста, объема ствола и блока фиктивных переменных в объясняемую ими изменчивость составили соответственно 22, 12 и 66 %, что означает, что таксационные показатели и межродовая изменчивость относительной высоты объясняют соответственно 34 и 66 % изменчивости искомого показателя. Соотношение фактических и расчетных значений h/d показано на рис. 1.

Различия коэффициентов при фиктивных переменных, кодирующих принадлежность данных к тому или иному роду, означают величину сдвига их h/d вдоль по оси ординат. Подставив в модель (5) средние значения возраста и объема стволов, приведенные в табл. 1 для каждого рода, мы получаем возможность названные сдвиги использовать для ранжирования родов по величине h/d в их убывающей последовательности (рис. 2).

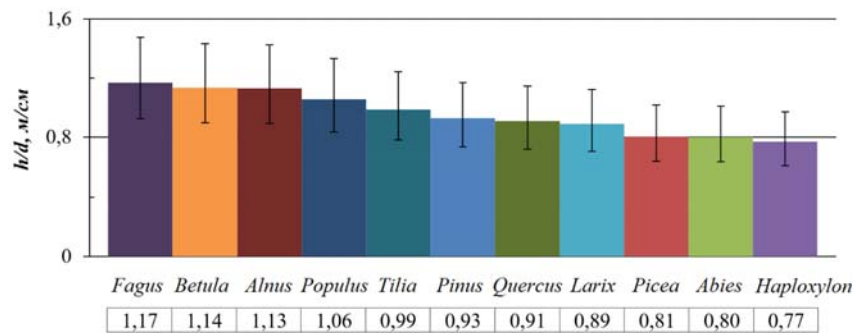


Рис. 2. Диаграмма распределения 11 лесобразующих родов Евразии по величине относительной высоты деревьев

(б) Моделирование относительной высоты древостоев

На предварительном этапе для каждого рода отдельно рассчитывали зависимость относительной высоты древостоев от их основных таксационных показателей:

$$\ln(H/D) = a_0 + a_1 \ln A_s + a_2 \ln N + a_3 (\ln A_s)(\ln N) + a_4 \ln M, \quad (6)$$

где H/D – относительная высота древостоя, м/см; $(\ln A_s)(\ln N)$ – комбинированная переменная, учитывающая совместное влияние возраста и густоты на искомый показатель. В результате расчета модели (6) по каждому роду установлено, что регрессионный коэффициент a_3 при переменной $(\ln A_s)(\ln N)$ статистически значим лишь для древостоев 3 из 11 родов, а именно, сосны, ели и березы ($t = 4,9-9,8 > t_{999} = 3,29$). Поэтому переменная $(\ln A_s)(\ln N)$ исключена из структуры модели (6), и последующий анализ выполнен согласно следующей модели:

$$\ln(H/D) = a_0 + a_1 \ln A_s + a_2 \ln N + a_3 \ln M + \sum b_i X_i. \quad (7)$$

Регрессионные коэффициенты при численных переменных модели (7) достоверны на уровне $p < 0,001$, кроме коэффициента a_1 при переменной $\ln A_s$ ($t = 1,0 < t_{95} = 1,96$). Поэтому мы исключаем ее из числа независимых переменных, и получаем окончательную модель:

$$\begin{aligned} \ln(H/D) = & -0,5084 + 0,1757 \ln N + 0,0731 \ln M + \\ & + 0,0093 X_1 - 0,0149 X_2 - 0,1857 X_3 + 0,1415 X_4 + \\ & + 0,2385 X_5 + 0,2057 X_6 + 0,1916 X_7 + 0,0308 X_8 + \\ & + 0,0273 X_9 - 0,0115 X_{10}; \\ \text{adj}R^2 = & 0,591; \text{SE} = 0,17. \end{aligned} \quad (8)$$

Регрессионные коэффициенты при численных переменных модели (8) достоверны на уровне $p < 0,001$. Вклады переменных $\ln N$, $\ln M$ и блока фиктивных переменных в объясненную изменчивость составили соответственно 37, 14 и 49 %, что означает, что таксационные показатели и межродовая изменчивость относительной высоты объясняют соответственно 51 и 49 % изменчивости искомого показателя, что несомненно отличается от соответствующих показателей модели (5). Соотношение фактических и расчетных по модели (8) значений H/D показано на рис. 3.

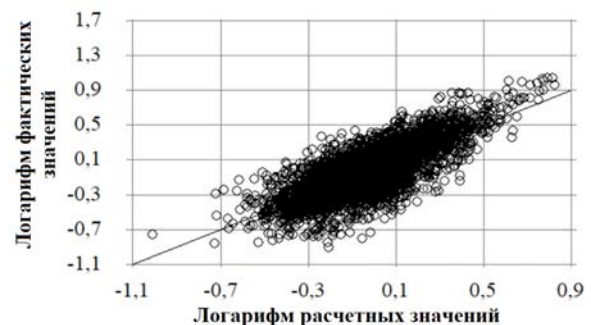


Рис. 3. Соотношение фактических и расчетных по модели (8) значений H/D

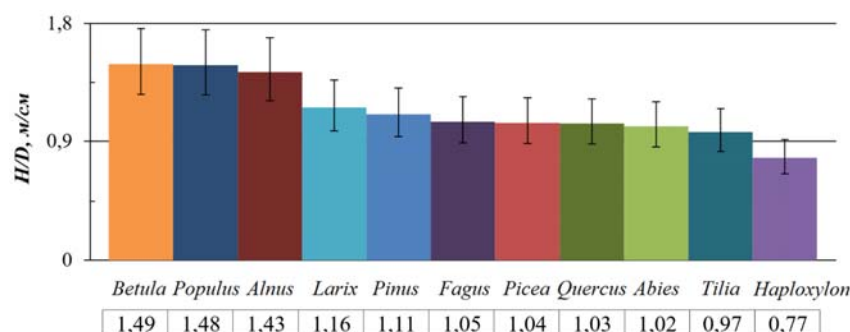


Рис. 4. Диаграмма распределения 11 лесобразующих родов Евразии по величине относительной высоты древостоев

Таблица 3

Коэффициенты ранговой корреляции согласно зависимостям (9), (10) и (11)

Зависимость	Источник и соответствующая независимая переменная							В среднем
	[5] (Y)	[17] (S ₁)	[22] (S ₂)	[16] (S ₃)	[10] (S ₄)	[4] (S ₅)	[34] (S ₆)	
(9)	–	0,91	0,83	0,98	0,99	0,93	0,96	0,93
(10)	0,41	0,30	0,13	0,21	0,15	0,19	0,42	0,26
(11)	0,71	0,76	0,51	0,61	0,66	0,63	0,58	0,72

Подставив в модель (8) средние значения густоты и запаса, приведенные в табл. 1 для каждого рода, мы получаем диаграмму распределения 11 лесообразующих родов Евразии по величине относительной высоты древостоев H/D (рис. 4).

(в) Проверка положения Я. С. Медведева [5] о связи относительной высоты со степенью светолюбия дерева на уровне лесообразующих родов Евразии

Отношение древесных видов к свету Н.С. Нестеров [8] называет краеугольным камнем лесоведения. Он приводит основные известные классификации древесных видов по степени светолюбия (теневыносливости) и отдает предпочтение методу Я. С. Медведева [5] как наиболее объективному, построенному на количественной основе. Поэтому, используя технику рангового корреляционного анализа [6], вначале попытаемся соотнести ранее предложенные классификации [4; 10; 16; 17; 22; 34] с классификацией Я. С. Медведева [5]. Для этого ранги (порядковые номера) древесных видов его классификации (Y) последовательно коррелируем с рангами тех же видов в классификациях предыдущих исследователей (S₁, S₂, ... S₆) согласно зависимостям

$$Y = f(S_1); Y = f(S_2); \dots Y = f(S_6). \quad (9)$$

Рассчитав уровни корреляции рангов по Я. С. Медведеву с рангами классификаций его предшественников, выполненных на уровне видов, на втором этапе мы попытаемся выяснить уровни корреляции между рангами (Z), полученными на рис. 1 в порядке снижения h/d вдоль по оси абсцисс (что должно соответствовать повышению теневыносливости, или снижению светолюбия, анализируемых древесных родов), и рангами классификаций всех предшествующих исследователей, выполненных на уровне древесных видов, согласно зависимостям

$$Z = f(Y); Z = f(S_1); Z = f(S_2); \dots Z = f(S_6). \quad (10)$$

Результаты последовательных расчетов зависимостей (9) и (10), показанные в табл. 3, свидетельствуют о существенном различии корреляций рангов светолюбия между видами (9) с корреляциями рангов светолюбия, полученных нами на уровне родов и рангов светолюбия видов, по методу Я. С. Медведева [5].

Ранжирование древостоев по степени светолюбия родов (см. рис. 4) использовано далее для сопоставления его с ранжированиями деревьев по степени светолюбия видов. Для этого зависимости (10) модифицированы к виду (11) с тем отличием, что ранжирование деревьев (Z) заменено ранжированием древостоев (J):

$$J = f(Y); Z = f(S_1); Z = f(S_2); \dots Z = f(S_6). \quad (11)$$

Как видим (см. табл. 3), ранжирование видов по светолюбию, предложенное Я. С. Медведевым, хорошо согласуется ($r = 0,93$) с ранжированиями видов, полученными другими исследователями. Но наше ранжирование, выполненное по методу Я. С. Медведева на уровне родов, а не видов, согласуется с остальными ранжированиями хуже, а именно для деревьев $r = 0,26$ и для древостоев $r = 0,72$.

Первые исследователи светолюбия европейских видов отмечали существенные различия по светолюбию березы пушистой и березы повислой, а сосна обыкновенная и черная были отнесены соответственно к светолюбивым и теневыносливым видам [17]. Существенные различия по светолюбию были показаны для сосен обыкновенной, черной и веймутовой [16]. Различия по светолюбию между ольхой черной и серой, а также между сосной обыкновенной и крымской были установлены М. К. Турским [10]. Таким образом, при объединении видов в роды на трансконтинентальном уровне неучтенное нами межвидовое варьирование на уровне родов [28] привело к смещениям в их ранжировании по отношению к ранжированию видов, что и выразилось в менее тесных корреляциях (0,26 и 0,72 против 0,93).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по материалам 5858 модельных деревьев и 5175 древостоев для основных древесных родов (подродов), произрастающих на территории Евразии, впервые установлено влияние таксационных показателей на относительную высоту деревьев и древостоев различных лесообразующих родов и выполнено их ранжирование по величине относительной высоты при фиксированных таксационных показателях. Все регрессионные коэффициенты построенных моделей значимы на уровне $p < 0,001$, что обеспечивает воспроизводимость полученных результатов. Распределение родов по относительной высоте рассмотрено в качестве характеристики их светолюбия. Ранговый корреляционный анализ показал высокую корреляцию рангов европейских видов по светолюбию (около 0,93) в семи известных шкалах, но корреляция между рангами по светолюбию древесных родов и соответствующими рангами европейских видов оказалась существенно ниже (0,26 и 0,72), по-видимому, вследствие неучтенного межвидового варьирования изменчивости светолюбия деревьев и древостоев.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М. : Статистика, 1973. 392 с.
2. Керн Э. Э. Основы лесоводства. М. : Новая деревня, 1924. 307 с.
3. Кофман Г. Б. Рост и форма деревьев. Новосибирск : Наука. Сиб. отд., 1986. 211 с.

4. Любименко В. Н. О чувствительности хлорофиллоносного аппарата светлюбивых и теневыносливых растений. С-Петербург : тип. СПб. градоначальства, 1905. 27 с.
5. Медведев Я. С. Опыт исследования гущины леса // Лесной журнал. 1910. Вып. 4-5. С. 432–438.
6. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. М. : Наука, 1971. 576 с.
7. Нагимов З. Я. Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. 06.03.03. Екатеринбург : УГЛТА, 2000. 40 с.
8. Нестеров Н. С. Очерки по лесоведению. М. : Госсельхозиздат, 1960. 485 с.
9. Собачкин Д. С., Бенькова В. Е., Собачкин Р. С., Бузыкин А. И. Влияние густоты на таксационные показатели сосновых молодняков естественного и искусственного происхождения // Лесоведение. 2000. № 2. С. 3–9.
10. Турский М. К. Лесоводство. М. : Изд. В. Н. Маракуева, 1892. 356 с.
11. Усольцев В. А. О закономерностях роста березы порослевого и семенного происхождения // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 1978. № 6. С. 87–93.
12. Эйтинген Г. Р. Влияние густоты древостоя на рост насаждений // Лесной журнал. 1918. № 6-8. С. 241–276.
13. Egbäck S., Karlsson B., Högberg K.-A. et al. Effects of phenotypic selection on height-diameter ratio of Norway spruce and Scots pine in Sweden // *Silva Fennica*. 2018. Vol. 52(2). Article id7738.
14. Erasmus J., Kunneke A., Drew D. M., Wessels C. B. The effect of planting spacing on *Pinus patula* stem straightness, microfibril angle and wood density // *Forestry*. 2018. Vol. 91. P. 247–258.
15. Fu L. Y., Zeng W. S., Tang S. Z. et al. Using linear mixed model and dummy variable model approaches to construct compatible single-tree biomass equations at different scales – A case study for Masson pine in Southern China // *Journal of Forest Science*. 2012. Vol. 58. N. 3. P. 101–115.
16. Gayer K. Der gemischte Wald, seine Begründung und Pflege, insbesondere durch Horst- und Gruppenwirtschaft. Berlin: Verlag P. Parey, 1886. 168 p.
17. Geyer G. Lehrbuch der forstlichen Bodenkunde und Klimatologie. Erlangen: Verlag von F. Enke, 1856. 569 p.
18. Giagli K., Vavřík H., Fajstavr M. et al. Stand factors affecting the wood density of naturally regenerated young silver birch growing at the lower altitude of the Czech Republic region // *Wood Research*. 2019. Vol. 64(6). P. 1011–1022.
19. Gomat H. Y., Deleporte P., Moukini R. et al. What factors influence the stem taper of *Eucalyptus*: growth, environmental conditions, or genetics? // *Annals of Forest Science*. 2011. Vol. 68(1). P. 109–120.
20. Gray H. R. The form and taper of forest-tree stems. Oxford Univ., Imp. For. Inst. Paper 32, 1956. 74 p.
21. Jiang L., Brooks J.R. Taper, volume, and weight equations for red pine in West Virginia // *Northern Journal of Applied Forestry*. 2008. Vol. 25(3). P. 151–153.
22. Kraft G. Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Hannover: Klindworth's Verlag, 1884. 147 p.
23. Krajnc L., Farrelly N., Harte A. M. The influence of crown and stem characteristics on timber quality in softwoods // *Forest Ecology and Management*. 2019. Vol. 435. P. 8–17.
24. Méndez-Dewar G., González-Espinosa M., Equihua M. Spatial heterogeneity of light and tree sapling responses in the understory of disturbed montane forests // *iForest*. 2014. Vol. 8. P. 448–455.
25. Pang L., Ma Y., Sharma R. P. et al. Developing an improved parameter estimation method for the segmented taper equation through combination of constrained two-dimensional optimum seeking and least square regression // *Forests*. 2016. Vol. 7. Article 194.
26. Roth B. E., Li X., Huber D. A., Peter G. F. Effects of management intensity, genetics and planting density on wood stiffness in a plantation of juvenile loblolly pine in the south-eastern USA // *Forest Ecology and Management*. 2007. Vol. 246. P. 155–162.
27. Sharma R. K. Comparison of development of radiata pine (*Pinus radiata* D. Don) clones in monoclonal and clonal mixture plots. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Forestry in the University of Canterbury, 2008. 241 p.
28. Tang Q., Huang Y., Ding Y., Zang R. Interspecific and intraspecific variation in functional traits of subtropical evergreen and deciduous broad-leaved mixed forests // *Biodiversity Science*. 2016. Vol. 24(3). P. 262–270.
29. Tumenbayeva A. R., Sarsekova D. N., Malek S. Carbon sequestration of above-ground biomass of *Pinus sylvestris* L. in the green belt of the city of Astana // *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*. 2018. Vol. 60(3). P. 137–142.
30. Usoltsev V. A. Single-tree biomass data for remote sensing and ground measuring of Eurasian forests: digital version. The second edition, enlarged. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University; Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020a. Available at: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9647>.
31. Usoltsev V. A. Forest biomass and primary production database for Eurasia: digital version. The third edition, enlarged. Monograph. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2020b. Available at: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/9648/1/Base_v2.xlsx.
32. Waghorn M. J., Watt M. S., Mason E. G. Influence of tree morphology, genetics, and initial stand density on outerwood modulus of elasticity on 17-year-old *Pinus radiata* // *Forest Ecology and Management*. 2007. Vol. 244. P. 86–92.
33. Watt M. S., Moore J. R., Facon J.-P. et al. Modelling environmental variation in Young's modulus for *Pinus radiata* and implications for determination of critical buckling height // *Annals of Botany*. 2006. Vol. 98. P. 765–775.
34. Wiesner J. Der Lichtgenuss der Pflanzen: photometrische und physiologische Untersuchungen mit besonderer Rücksichtnahme auf Lebensweise, geographische Verbreitung und Kultur der Pflanzen. Leipzig: Verlag von W. Engelmann, 1907. 322 p.
35. Wilson J. S., Oliver C. D. Stability and density management in Douglas-fir plantations // *Canadian Journal of Forest Research*. 2011. Vol. 30(6). P. 910–920.

REFERENCES

1. Dreyper N., Smit G. Prikladnoy regressionnyy analiz. M. : Statistika, 1973. 392 s.
2. Kern E. E. Osnovy lesovodstva. M. : Novaya drevnyaya, 1924. 307 s.
3. Kofman G. B. Rost i forma drev'yev. Novosibirsk : Nauka. Sib. otd., 1986. 211 s.

4. Lyubimenko V. N. O chuvstvitel'nosti khlorofilononogo apparata svetolyubivyykh i tenevynoslivyykh rasteniy. S-Peterburg : tip. SPb. gradonachal'stva, 1905. 27 s.
5. Medvedev YA. S. Opyt issledovaniya gushchiny lesa // Lesnoy zhurnal. 1910. Vyp. 4-5. S. 432–438.
6. Mitropol'skiy A. K. Tekhnika statisticheskikh vychisleniy. M. : Nauka, 1971. 576 s.
7. Nagimov Z. Ya. Zakonomernosti rosta i formirovaniya nadzemnoy fitomassy sosnovykh drevostoyev : avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk. 06.03.03. Yekaterinburg : UGLTA, 2000. 40 s.
8. Nesterov N. S. Ocherki po lesovedeniyu. M. : Gossel'khozizdat, 1960. 485 s.
9. Sobachkin D. S., Ben'kova V. Ye., Sobachkin R. S., Buzykin A. I. Vliyaniye gustoty na taksatsionnyye pokazateli sosnovykh molodnyakov yestestvennogo i iskusstvennogo proiskhozhdeniya // Lesovedeniye. 2000. № 2. S. 3–9.
10. Turskiy M. K. Lesovodstvo. M. : Izd. V. N. Marakuyeva, 1892. 356 c.
11. Usoltsev V. A. O zakonomernostyakh rosta berezy poroslevogo i semennogo proiskhozhdeniya // Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki Kazakhstana. 1978. № 6. S. 87–93.
12. Eyttingen G. R. Vliyaniye gustoty drevostoya na rost nasazhdeniy // Lesnoy zhurnal. 1918. № 6-8. S. 241–276.
13. Egbäck S., Karlsson B., Högborg K.-A. et al. Effects of phenotypic selection on height-diameter ratio of Norway spruce and Scots pine in Sweden // Silva Fennica. 2018. Vol. 52(2). Article id7738.
14. Erasmus J., Kunneke A., Drew D. M., Wessels C. B. The effect of planting spacing on *Pinus patula* stem straightness, microfibril angle and wood density // Forestry. 2018. Vol. 91. P. 247–258.
15. Fu L. Y., Zeng W. S., Tang S. Z. et al. Using linear mixed model and dummy variable model approaches to construct compatible single-tree biomass equations at different scales – A case study for Masson pine in Southern China // Journal of Forest Science. 2012. Vol. 58. N. 3. P. 101–115.
16. Gayer K. Der gemischte Wald, seine Begründung und Pflege, insbesondere durch Horst- und Gruppenwirtschaft. Berlin: Verlag P. Parey, 1886. 168 p.
17. Geyer G. Lehrbuch der forstlichen Bodenkunde und Klimatologie. Erlangen: Verlag von F. Enke, 1856. 569 p.
18. Giagli K., Vavřík H., Fajstavr M. et al. Stand factors affecting the wood density of naturally regenerated young silver birch growing at the lower altitude of the Czech Republic region // Wood Research. 2019. Vol. 64(6). P. 1011–1022.
19. Gomat H. Y., Deleporte P., Moukini R. et al. What factors influence the stem taper of *Eucalyptus*: growth, environmental conditions, or genetics? // Annals of Forest Science. 2011. Vol. 68(1). P. 109–120.
20. Gray H. R. The form and taper of forest-tree stems. Oxford Univ., Imp. For. Inst. Paper 32, 1956. 74 p.
21. Jiang L., Brooks J.R. Taper, volume, and weight equations for red pine in West Virginia // Northern Journal of Applied Forestry. 2008. Vol. 25(3). P. 151–153.
22. Kraft G. Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Hannover: Klindworth's Verlag, 1884. 147 p.
23. Krajnc L., Farrelly N., Harte A. M. The influence of crown and stem characteristics on timber quality in softwoods // Forest Ecology and Management. 2019. Vol. 435. P. 8–17.
24. Méndez-Dewar G., González-Espinosa M., Equihua M. Spatial heterogeneity of light and tree sapling responses in the understory of disturbed montane forests // iForest. 2014. Vol. 8. P. 448–455.
25. Pang L., Ma Y., Sharma R. P. et al. Developing an improved parameter estimation method for the segmented taper equation through combination of constrained two-dimensional optimum seeking and least square regression // Forests. 2016. Vol. 7. Article 194.
26. Roth B. E., Li X., Huber D. A., Peter G. F. Effects of management intensity, genetics and planting density on wood stiffness in a plantation of juvenile loblolly pine in the south-eastern USA // Forest Ecology and Management. 2007. Vol. 246. P. 155–162.
27. Sharma R. K. Comparison of development of radiata pine (*Pinus radiata* D. Don) clones in monoclonal and clonal mixture plots. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Forestry in the University of Canterbury, 2008. 241 p.
28. Tang Q., Huang Y., Ding Y., Zang R. Interspecific and intraspecific variation in functional traits of subtropical evergreen and deciduous broad-leaved mixed forests // Biodiversity Science. 2016. Vol. 24(3). P. 262–270.
29. Tumenbayeva A. R., Sarsekova D. N., Malek S. Carbon sequestration of above-ground biomass of *Pinus sylvestris* L. in the green belt of the city of Astana // Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry. 2018. Vol. 60(3). P. 137–142.
30. Usoltsev V. A. Single-tree biomass data for remote sensing and ground measuring of Eurasian forests: digital version. The second edition, enlarged. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University; Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020a. Available at: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9647>.
31. Usoltsev V. A. Forest biomass and primary production database for Eurasia: digital version. The third edition, enlarged. Monograph. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2020b. Available at: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/9648/1/Base_v2.xlsx.
32. Waghorn M. J., Watt M. S., Mason E. G. Influence of tree morphology, genetics, and initial stand density on outerwood modulus of elasticity on 17-year-old *Pinus radiata* // Forest Ecology and Management. 2007. Vol. 244. P. 86–92.
33. Watt M. S., Moore J. R., Facon J.-P. et al. Modelling environmental variation in Young's modulus for *Pinus radiata* and implications for determination of critical buckling height // Annals of Botany. 2006. Vol. 98. P. 765–775.
34. Wiesner J. Der Lichtgenuss der Pflanzen: photometrische und physiologische Untersuchungen mit besonderer Rücksichtnahme auf Lebensweise, geographische Verbreitung und Kultur der Pflanzen. Leipzig: Verlag von W. Engelmann, 1907. 322 p.
35. Wilson J. S., Oliver C. D. Stability and density management in Douglas-fir plantations // Canadian Journal of Forest Research. 2011. Vol. 30(6). P. 910–920.

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

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.815

DOI: 10.53374/1993-0135-2023-2-185-193

Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 2. С. 185–193

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИЛЫ ТРЕНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ И НА ИЗНОС ИНСТРУМЕНТА

П. В. Цаплин, В. Г. Межов, А. В. Кустов, Е. А. Заболотская, Я. С. Гончарова

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

В статье рассматриваются физические характеристики древесностружечных плит, влияющих на трение обрабатывающего инструмента и его износ. Метод термосилового воздействия на поверхность древесностружечных плит при их обработке для мебельного производства, является инновационным методом, исключающим основные недостатки обработки шлифовальными лентами, а именно: образование невозвратных отходов производства, волнистости, ворсистости поверхности, высокой потребляемой мощности. Данный метод термосилового воздействия требует более детального рассмотрения, и, в частности, влияние трения и температуры на грева на обрабатывающий инструмент. Одна из ключевых физических характеристик древесностружечных плит - шероховатость, которая существенно влияет на износ инструмента. Рассмотрены фрикционные свойства материала обрабатывающего инструмента и их влияние на температурные показатели. Древесностружечная плита как полимер имеет свойства деформироваться под действием внешней нагрузки и температуры. Поэтому, в статье справедливо указаны требования, предъявляемые к полимерам. Представлены марки древесностружечных плит, которые могут быть подвержены термосилового воздействия и их полный обзор. В статье раскрыто понятие шероховатость плит, которая существенным образом влияет на износ и трение обрабатывающего инструмента. При этом сделан вывод, что физико-механические характеристики древесностружечных плит для мебельного производства достаточно изучены, шероховатость которых не должна превышать 500 мкм. Представлена теория перехода работы в тепловую энергию, а также влияние температуры плиты на физико-химические свойства древесностружечной плиты. Также в статье представлена методика расчета динамических и кинематических характеристик термopротяжного узла обрабатывающего инструмента для достижения оптимальных значений шероховатости древесностружечной плиты, с целью уменьшения расхода материала под ламинирование и существенного улучшения качества древесностружечных плит.

Ключевые слова: древесно-стружечная плита, шероховатость, узел трения, износ инструмента, фрикционный материал, адгезия.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 2, P. 185–193

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE FRICTION FORCE ON THE SURFACE ROUGHNESS OF WOOD PARTICLE BOARDS AND ON TOOL DETERIORATION

P. V. Tsaplin, V. G. Mezhev, A. V. Kustov, E. A. Zabolotskaya, Ya. S. Goncharova

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

The article examines the problem of the influence of the physical characteristics of particle boards on the friction of the processing tool and its deterioration. The method of applying the thermal force to the surface of particle boards while processing for furniture production is an innovative method that eliminates the main disadvantages of processing with sanding belts, namely: the formation of non-recyclable production waste, waviness, surface woolliness, high power consumption. The method of applying the thermal force and, in particular, the effect of friction and heating temperature on the processing tool requires more detailed consideration. One of the key physical characteristics of particle boards is roughness, which significantly affects deterioration. The frictional properties of the material of the processing tool and their influence on temperature indicators are examined. The particle board as a polymer is deformed under the action of external load and temperature. Therefore, the article objectively defines the requirements for polymers.

The brands of particle boards which can be subjected to thermal power processing and their full review are presented. The article reveals the concept of the particle board roughness, which significantly affects the deterioration and friction force of the processing tool. Moreover, it was concluded that physical and mechanical characteristics of particle boards, the roughness of which should not exceed 500 micrometer, have already been sufficiently studied. The theory of the transformation of work into thermal energy as well as the influence of the temperature of the board on the physicochemical properties of the particle boards is presented. The article also presents a method for calculating the dynamic and kinematic characteristics of the thermo-drawing unit of the processing tool used to achieve optimal values of the particle board roughness, and to reduce material consumption for lamination and significantly improve the quality of particle boards.

Keywords: particle board, roughness, friction unit, tool deterioration, friction material, adhesion.

Согласно ГОСТ 11368–89 Массы древесные прессовочные – это древесные массы горячего прессования из сырьевых отходов древесины, пропитанных растворами резольных фенолформальдегидных смол или их модификаций, поставляемых химической промышленностью [1]. Эти химические соединения представляют связующие вещество, способное связывать частицы древесной композитной плиты. Молекулы связующего построены из множества, многократно повторяющихся одинаковых структурных частиц (звеньев), соединённых между собой химическими связями. Большая молекула, составленная из таких звеньев, называется макромолекулой. Вещества, имеющие число повторяющихся звеньев, называются высокополимерными, или полимерами. Все полимеры находятся либо в жидком, либо в твердом агрегатном состоянии и никогда – в газообразном. Связующее вещество состоит из одного полимера или из полимера и отвердителя (катализатора), иногда с некоторыми добавками (стабилизаторами, пластификаторами, красителями). Связующие относятся к классу термореактивных полимеров. Полимер, как основное вещество, входит в состав клея. Клеи, по составу простые или сложные композиты, способны за счёт сил адгезии в определённых условиях соединить однородные или неоднородные материалы. Клеи по природе бывают животного, растительного, минерального и синтетического происхождения. Кроме полимерного вещества в состав клеев входят различные растворители для понижения или повышения вязкости и увеличения жизнеспособности, пластификаторы для уменьшения хрупкости, отвердители (катализаторы) и т.д.

С 20-х годов XX века в промышленности стали применять синтетические полимеры, вытеснив природные полимерные вещества. В производстве древесных композитных плит распространены полимеры поликонденсационного типа; в качестве связующего применяются в основном карбаминоформальдегидные или фенолформальдегидные смоляные клеи. Из-за состава связующего древесную композитную плиту можно отнести к классу термореактивных полимеров.

Общие требования к полимерам – доступность, простота, дешевизна, стабильность, не токсичность, растворимость, адгезионная и когезионная прочность, водостойкость, термостойкость.

В данном исследовании древесные композитные плиты представлены древесностружечными, так как в основе их лежит древесная стружка. Официальная аббревиатура древесностружечной плиты ДСтП (далее – ДСтП, плита).

ДСтП представляет собой листовой большеформатный высокопористый материал небольшой толщины – от 10 до 25 мм, состоящий из двух компонентов – древесных частиц и связующего. С учётом доли связующего в плите «п» и доли древесины (1–п) пористость определяется из уравнения [2]:

$$П = [1 - \gamma_{пл} - (1 - n/1,54 + h/\gamma_{св})] 100 \%, \quad (1)$$

где $\gamma_{пл}$, $\gamma_{св}$ – соответственно плотность плиты и связующего, г/см³; h – глубина внедрения, мкм; 1,54 – плотность древесного вещества, г/см³.

В зависимости от типа плиты пористость может быть в пределах от 10 до 30 %. При анализе поперечного сечения плит, образованных клеевым каркасом и наполнителем из древесной массы слоёв волокон, стягивающие каркас увеличивают объём пор до 50 % от общего занимаемого объёма плиты [3; 4; 5].

Марки и обозначения плит:

P-1 многослойные P-1M

трехслойные P-1T

P-2 трёхслойные P-2T

однослойные П-20

P-3 трёхслойные P-3T

Имеются классы 1–12 и группы А, Б, В, С, Д обозначений плит.

В наших исследованиях использовался образец плиты P-2T (плита второй марки, трёхслойная).

В технологии изготовления древесных прессованных плит большое значение имеют исследования физико-механических их свойств, различные показатели, заложенные в технических требованиях ГОСТов. Приведены ГОСТ 10632–77, нормирующий основные физико-механические свойства плит и ГОСТ 7016–2007 «Древесина. Шероховатость поверхности». В ГОСТах приведены требования к физико-механическим свойствам плит, такие как:

– влажность (8 %±2 %) – $w = 100 (m_1 - m_0) / m_0$, где m_1 и m_0 соответственно начальная масса и масса в абсолютно сухом состоянии;

– водопоглощение – способность образцов плит поглощать воду при полном погружении в неё на 24 часа $\delta w (\%) = 100 (m_1 - m) / m$, где массы m и m_1 соответственно до погружения и после;

– разбухание – при повышенной водостойкости – 5–25 %, при обычной – 20–30 %. $\Delta h = 100(h_1 - h) / h$, где h и h_1 – толщина образцов соответственно до и после увлажнения, м(см);

– предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти (в зависимости от марок и групп плит 0,295–0,392 МПа);

- предел прочности при статическом изгибе (в зависимости от марок и групп плит и толщины их 13,37 – 24,51 МПа);
- твёрдость (только для плит марок П-3 – не менее 29,4 МПа);
- плотность (в зависимости от марок плит 550–850 кг/м³);
- шероховатость поверхности (нормируется отдельно для шлифованных, в зависимости от марок и групп, 80–32 мкм, для нешлифованных, в зависимости от марок и групп, 320–500 мкм), а для шлифованных плит Р-1 и Р-2 группы А в стандарт введены нормы, необходимые для плит со Знаком качества – 60 мкм.

По качеству поверхности шлифованные плиты делятся на плиты со Знаком качества, I и II сортов, нешлифованные плиты – на плиты I и II сортов. Сортность плит определяется по наличию дефектов (углубления, выступы, царапины и т. д.), что в плитах, шлифованных со Знаком качества и I сорта не допускается.

Плиты Р-1 в настоящее время выпускаются только шлифованными, остальные двух марок (2 и 3) как шлифованными, так и нешлифованными. Физико-механические свойства марок плит Р-1 и Р-2 практически не различаются. Плиты марок 3 (Р-3) имеют повышенные показатели как по прочности, так и по свойству, определяющих их отношения к влаге, что связано со спецификой их использования в строительстве и в других подобных отраслях народного хозяйства. Плиты всех марок изготавливают с применением синтетических смол, согласно ГОСТ 10632–2007. Они не должны выделять в окружающую среду вредные химические вещества в количествах, превышающих допустимые нормы. По содержанию формальдегида плиты делятся на классы эмиссии: Е-1, Е-2, Е-3. Вышеприведённый ГОСТ соответствует Международной организации по стандартизации ИСО и разработанной его рекомендации ИСО Р 286 «Система допусков и посадок ИСО, допуски и отклонения».

Шероховатость поверхности ДСтП (рис. 1) – одна из составляющих качества при механической обработке плит. Шероховатость – чередование выступов и впадин, вследствие строения древесных материалов в процессе резания. Профиль поверхности изделия в поперечном сечении представляет собой волнообразную линию.

От шероховатости зависят припуски на механическую обработку в последующих операциях. Шероховатость поверхности существенно влияет на качества склеивания, облицовывания, экономические расходы лакокрасочных материалов. Показатели шероховатости деревообработки нормализованы ГОСТ 7016–(82) 2007 [6] «Древесина. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики». Стандарт устанавливает номенклатуру и числовые значения параметров шероховатости поверхности механически обработанных плит. Шероховатость поверхности плит характеризуется размерными показателями неровностей (риски, волнистость и т. д.) и наличием или отсутствием ворсистости и мшистости. Ворсистость (наличие отдельных не полностью отделенных волокон) не допускается, если числовое значение R_{Zmax} менее 8 мкм, или если параметр находится в пределах 16–20 мкм. Мшистость (наличие пучков волокон, отделённых не полностью) не допускается, если R_{Zmax} менее 100 мкм. Наиболее точно изображают процессы резания материала следующие параметры шероховатости: R_d (среднее арифметическое отклонение профиля в пределах базовой линии), R_m , R_z , S_z (средний шаг неровностей по впадинам), l – длина базовой линии (выбирается для выделения неровностей), H_{max} и R_{Zmax} (максимальная высота неровностей на поверхности от 0,05 до 80 мкм).

Таблица 1
Классы шероховатости R_{Zmax}

Класс	R_{Zmax} мкм, не более	Класс	R_{Zmax} мкм, не более
1	1600	7	100
2	1200	8	60
3	800	9	32
4	500	10	16
5	320	11	8
6	200	12	4

Оценка точности измерений шероховатости представлена как среднее значение максимальных высот неровностей (H_{max} сред.) определяемое формулой

$$R_{Zmax} = (H_{max1} + H_{max2} + \dots + H_{maxn}) / (n),$$

$$R_{Mmax} = 1/n \sum H_{maxi}, \quad (2)$$

где H_{maxi} – расстояние от высшей до низшей i -й неровности, мкм; n – число измерений.

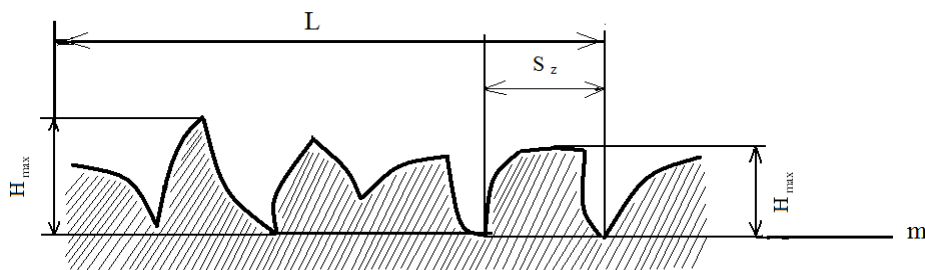


Рис. 1. Основные характеристики шероховатости

Средняя ошибка одного измерения (m) определяется по формуле

$$m = \pm \sqrt{\sum \delta^2 / (n-1)}. \quad (3)$$

где $\delta = H_{\text{imax}} - H_{\text{max ср}}$ – отклонение от среднего арифметического.

Можно заключить, что физико-механические характеристики ДСтП для мебельной промышленности достаточно изучены, шероховатость плит не должна превышать 500 мкм. Поэтому с ростом потребностей в качественной продукции требуются внедрения в обработке ДСтП новых технологий и совершенствование оборудования.

Гильом Амонтон в математическом виде вывел закон о прямой пропорциональности между прижимающей силой одного тела к другому (N) и силой трения (F):

$$F = f \times N, \quad (4)$$

где f – коэффициент трения.

По формуле (4) сила трения F прямо пропорциональна сжимающему весу N и не зависит от сопротивления двух тел и координат одного тела относительно другого, а зависит от относительной скорости двух тел.

Шарль Кулон, основоположник трибологии, проверив справедливость закона Амонтона, пришёл к зависимости:

$$F = f \times N + A, \quad (5)$$

где A – действие поверхностных атомно-молекулярных сил адгезии. Известно, что поверхность твёрдого тела, даже у хорошо отшлифованных гладких поверхностных материалов, обладает неровностями высотой 0,05–0,1 мкм, или размером в 100–1000 Å° (ангстрем).

В период с 1724–1734 гг. Д. Деагулье открыл явление адгезии (когезии), роль которой стало очевидно в XX веке, когда трибологи взялись за решение главной задачи трения: каким образом механическая энергия, подводимая к фрикционной паре, превращается в теплоту.

В конце XIX века на основе открытия о строении вещества появилась идея (Л. Брюллюэн) возможности рассеяния энергии в теплоту при последовательном разрыве и образовании адгезионных связей двух тел. Эту идею непрерывного обмена связей при трении скольжения развили советские учёные В. Кузнецов, Б. Дерягин, Г. Бартенёв и др. Но главным образом благодаря работам Ф. Боудена и Д. Тейбора в Англии и И. В. Крагельского в СССР стали учитывать не только зацепление и смятие неровностей на контакте, но и прилипание тел друг к другу и сформулировали теорию трения применительно к полимерам. Сила трения скольжения проявляется как сила сопротивления относительно перемещению контактирующих тел, не зависящую от величины перемещения. Физическая природа таких сил сложна и многообразна. Переход от трения покоя к трению скольжения происходит скачком, и движение тела с постоянной скоростью сопровождается постоянным сопротивлением этому перемещению. При этом практически всегда

сила трения скольжения ($F_{\text{ск}}$) меньше силы трения покоя ($F_{\text{п}}$), неполной силы трения $F_{\text{ск}} < F_{\text{пок}}$.

В 1939 г. советским учёным И. В. Крагельским была предложена молекулярно-механическая или адгезионно-деформационная теория трения, двойственная природа трения. Получила своё развитие новая отрасль технических знаний – учение о контактном взаимодействии твёрдых тел с учётом окружающей среды. Она доведена применительно к теории трения покоя до количественных зависимостей, хуже – с трением скольжения [7]. Касание твердых тел происходит не по всей поверхности, а в определённых пятнах («очагах») контакта. Фактическая (суммарная) площадь таких очагов меньше заданной (номинальной) площади и растёт с увеличением груза P [7]. Сила трения прямо пропорциональна фактической площади контакта, следовательно, она увеличивается с ростом груза P .

Существует и другая теория, диффузионная, как расширяющая молекулярную теорию, которая объясняет высокую адгезию одного и того же полимера (аутогезия), где нет условий для возникновения двойного электрического слоя, а есть явление диффузии концевых и срединных участков цепочечных молекул одного полимера в другой, чем объясняется их прочная связь. Известно, что у металлов носителями зарядов являются электроны, а в нашем случае у полимерных материалов могут быть и электроны, и ионы. Прочность химических связей намного превышает прочность межмолекулярных, чем обеспечиваются условия совместности однородных молекулярных и надмолекулярных структур, а также совместного действия внешних электрических и магнитных полей. Величина адгезии зависит от капиллярно-пористого строения материала, толщины лакокрасочной плёнки, состава материалов и когезии [7]. Сила трения в прямом отношении зависит от прочности адгезионной связи, зависит от геометрических характеристик истинной площади контакта. Для упрочнения адгезионной связи предпочтительнее пластическая деформация, так как при упругой деформации со снятием нагрузки связь разрушается. [8] Согласно Я. Е. Гегузину и Л. Н. Парицкой скорость протекания пластической деформации, пластическое состояние контактной зоны, более высокая температура для скорости построения атомов формируют контакт, контурную площадь трения.

Известно, что в основе трения лежит рассеяние энергии в микрообъёмах, возникающих в зонах касания двух твердых тел при их относительном скольжении, вызванного интенсивным обменом адгезионных связей. Это – природа трения. Причина трения в основном связана с адгезией, с формированием поверхностного слоя толщиной в пределах 10^{-2} до 10^{-4} см. Подтвердилось, что фундаментальной причиной трения служит не механическое деформирование дорожки, а адгезионный эффект в тончайших поверхностных граничных плёнках. Трибологами Боуденом и Тейбором было открыто наличие мостиков холодной сварки при трении твёрдых тел в атмосферных условиях; и как они полагали, трение в основном обусловлено сопротивлением на срез мостиков холодной сварки.

Объёмным деформированием твёрдых тел они пренебрегали, за исключением трения высокоэластичных тел, где, по их мнению, трение вызывается потерями на гистерезис. По мнению И. В. Крагельского не менее важным фактором, вызывающего трение, является объёмное деформирование материала. Суть в том, что и значение адгезии сводится к тому, что из-за образования адгезионных связей между плёнками твёрдых тел, вследствие изменения напряжённого состояния, увеличивается сопротивление объёмного деформирования и увеличивается сам объём. В этом полное объяснение природы и причины трения.

В настоящее время природа шероховатости и волнистости достаточно изучена и существенно является то обстоятельство, что под влиянием термонагрузок и вследствие неоднородности механических свойств поверхности шероховатость поверхности изменяется. При механическом контакте сжатия нагрузкой возникают упругие и пластические деформации, формируются пятна касания, представляющие собой фрикционные связи, поражающиеся совместным действием нормальных и тангенциальных сил. В результате трения образуются мостики сварки, которые продолжают существовать при снятии нормальной нагрузки. Пятна образуются, существуют, исчезают в зависимости от фрикционной связи. Поверхностные слои двух тел изменяются действием объёмного деформирования, происходит внедрение более жёстких элементов поверхности в более мягкие в тангенциальном направлении. Из результатов экспериментов И. В. Крагельского и Л. В. Есина установлена зависимость нарушения фрикционной связи от относительного внедрения единичной неровности h/R (h – глубина внедрения, R – радиус внедрившейся неровности) и относительной прочности адгезионной связи σ/σ_s (где σ – тангенциальное напряжение, кг/см^2 ; σ_s – нормальное напряжение, кг/см^2), возникшей между плёнками или самими телами, если плёнки удалены [7].

Фрикционный материал должен обладать устойчивым значением коэффициента трения, быть теплоустойчивым и не зависеть от давления и скорости. Фенолформальдегидная смола (связующее ДСтП) имеет высокую температуру разложения и, как скелет, уплотняется в плите, снижая после фрезерования разнотолщинность, снижает коэффициент трения при увеличении температуры, не снижая прочности ДСтП после термосиловой обработки. Существует три наиболее важных положения, являющихся базовой характеристикой фрикционного контакта:

- 1) адгезионно-фрикционная природа внешнего трения;
- 2) обязательное условие внешнего трения в правиле положительного градиента сдвигового сопротивления;
- 3) влияние шероховатости на возможность внешнего трения.

Внешнее трение твёрдых тел – сложное явление, зависящее от многих процессов, протекающих на границе раздела в зонах фактического контакта и в тонких поверхностных слоях этих тел при относительном тангенциальном их перемещении. Процесс деформирования можно считать внешним трением, когда

относительное перемещение твёрдых тел в тангенциальном направлении не нарушает однородность материала, а деформацией его ниже тонкого поверхностного слоя можно пренебречь. Общая сумма внешнего трения равна сумме двух составляющих, молекулярной (F_m) и деформационной (F_d):

$$F = F_m + F_d, \quad (6)$$

где F_d – для заданной шероховатости и удельной нагрузки вычисляется по формуле

$$F_d = 0,5 \Delta^{1/2} (P/P_2)^{1/4}, \quad (7)$$

где Δ – комплексная характеристика шероховатости, равная $\Delta = R_{\max} / r_b^{1/4}$; P – удельная нагрузка; P_2 – фактическое нормальное давление на пятне контакта;

В адгезионно-деформационной природе внешнего трения, коэффициент внешнего трения определяется формулой [9]:

$$f = +\beta + k\alpha\sqrt{h/R}, \quad (8)$$

где τ_0 и β – параметры уравнения, характеризующие сдвиговое сопротивление молекулярных связей (определяются экспериментально), в работе приводятся значения констант для ряда пар трения; P_f – фактическое давление; α_f – коэффициент гистерезисных потерь при объёмном деформировании, уменьшенное в 2,2 раза ($\alpha_f - 2,2 \alpha$); $k = 0,5$ – коэффициент, характеризующий форму неровностей и распределения их по высоте; h/R – относительное внедрение единичной неровности.

Для снижения трения скольжения ($F_{ск}$) до возможного минимума следует уменьшить энергию единичного объёма (модель Д. Томлинсона), равной слабой связи между атомами, примерно в 100 раз, до уровня порядка 10^{-3} , близкое к показателям «жидкостного» трения. Это возможно третьему телу, смазочной плёнке, создать также трение на поверхности контакта, предмету атомно-молекулярной инженерии.

При увеличении нормальной нагрузки (P_n) коэффициент внешнего трения может возрастать и уменьшаться. В общем случае при изменении P_n в широком диапазоне наблюдается прохождение f через минимум ($f_{\min}$). Шероховатость поверхности, составляющая $f_{\min}$ называется оптимальной. При анализе зависимости коэффициента трения от нормальной нагрузки правильной будет пользоваться не величиной нормальной нагрузки (P_n) а контурным давлением (P_k) так как одинаковым нормальным нагрузкам в зависимости от конструкции узла трения, соответствуют разные контурные давления. Из молекулярно-механической теории трения следует, что изменение коэффициента внешнего трения от контурного давления определяется видом деформаций в зонах фактического касания. При возрастании контурного давления при упругих деформациях в зонах контакта молекулярная составляющая коэффициента трения F_m уменьшается, а деформационный F_d – возрастает [9]. Поэтому изменение общего коэффициента внешнего трения при увеличении давления будет зависеть от соотношения между этими составляющими в значении коэффициента трения (8). Эти составляющие взаимно связаны

между собой и их арифметическое сложение при вычислении общей суммы можно использовать в первом приближении [9]. Деформационная составляющая определяется механическими свойствами трущихся тел, величиной положительной нагрузки и микротопографией поверхности (шероховатости) [9]. Таким образом, вопрос о взаимодействии между F_m и F_d сводится к выявлению соотношений между касательными и нормальными напряжениями для единичной фрикционной связи и является актуальным для дальнейшего развития теории трения [7].

Второе положение. Правилom положительного градиента сдвигового сопротивления для обеспечения внешнего трения, как обязательного условия, является формирование на поверхности твёрдого тела тонкой плёнки, нанесённой извне, или генерируемой самим трущимся телом с малым сдвиговым сопротивлением. Важным фактором при трении является различие между прочностью адгезионной связи и прочностью нижележащих слоёв. Если связь менее прочна, чем нижележащие слои, то имеет место положительный градиент механических свойств по глубине, т. е.

$$\frac{d\sigma_x}{dz} > 0, \quad (9)$$

где σ_x – разрушающее напряжение в направлении плоскости касания, z – координата, перпендикулярная к плоскости касания.

Если

$$\frac{d\sigma_x}{dz} < 0, \quad (10)$$

т. е. адгезионная связь прочнее нижележащих слоёв, градиент отрицателен и внешнее трение вообще невозможно.

Третье положение. Внешнее трение возможно в случае, если на трущихся поверхностях формируется шероховатость и невозможно для идеально гладких однородных поверхностей, так как не будет поступать окружающая среда, необходимая для формирования третьего тела. Невозможно внешнее трение и для очень шероховатых тел, поскольку вместо трения будет зацепление (реечный эффект). Наличие неровно-

стей на поверхностях твёрдых тел приводит к дискретному касанию и к высоким локальным давлениям, возникающим при соприкосновении высоких выступов. Эти давления мгновенно падают при выходе выступов из зацепления. Поэтому шероховатость должна иметь некоторое промежуточное значение относительно возможности внешнего трения.

Величина комплекса, соответствующая минимальному коэффициенту трения при неизменном контурном давлении, будет существенно зависеть от характеристик, определяющих работу узла трения, и механических характеристик менее жёсткого элемента трущейся пары. Получили формулу в зоне упругого насыщенного контакта для определения минимального коэффициента трения при одинаковых значениях τ_0 , $\alpha_{\text{эф}}$, μ и E , неизменных условиях работы узла трения, соответствующей оптимальной шероховатости поверхности более жёсткого элемента пары трения [10]:

$$f_{\min} = 1,5 [\tau_0^{1/2} \alpha_{\text{эф}}^{1/2} (1 - \mu^2)^{1/2} / E^{1/2}] + \beta, \quad (11)$$

где τ_0 – сдвиговое сопротивление при экстраполяции нормального давления к нулю; $\alpha_{\text{эф}}$ – коэффициент гистерезисных потерь; μ – коэффициент Пуассона; E – модуль упругости; β – коэффициент упрочнения молекулярной связи (безразмерный), фрикционная постоянная.

Следовательно, $f_{\min}$ для данного узла трения не зависит от величины приложенной нормальной нагрузки, ни от шероховатости поверхности, а определяется условиями работы пары трения. При упругом насыщенном контакте коэффициент внешнего трения зависит, как следует из данной формулы (12), от отношения $\tau_0 \alpha_{\text{эф}} (1 - \mu^2) / E$.

При пластических деформациях, в зонах фактического контакта молекулярная составляющая коэффициента внешнего трения от микротопографии поверхностей не зависит. Деформационная составляющая с увеличением комплекса Δ возрастает. Таким образом, при пластическом ненасыщенном контакте коэффициент внешнего трения с увеличением шероховатости поверхности возрастает. Изменение коэффициента трения в зависимости от Δ при различных P_c показано на рис. 2 [9].

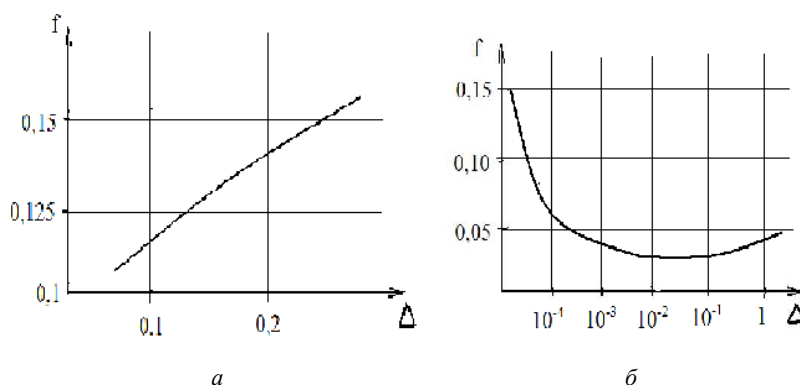


Рис. 2. Изменение коэффициента трения в зависимости от шероховатости поверхности при: а – ненасыщенном упругом контакте; б – ненасыщенном пластическом контакте

Работа силы трения (F) переходящей в тепло.

Снижение шероховатости – это износ поверхности ДСтП. В первом приближении работа силы трения термопротяжного узла преобразуется в теплоту в виде преобразования

$$\text{или} \quad A - Q \quad \frac{\lambda m}{l \Delta t} = 2\pi R_b k, \quad (12)$$

где λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала; m – масса материала; l – толщина материала; Δt – изменение температуры материала; R_b – радиус водила; k – число оборотов водила.

Нагрузка и температурный режим узла трения нарушают вид фрикционной связи, влияя глубиной внедрения (h/R) и относительной прочностью адгезионной связи. Нагрузка увеличивает глубину внедрения (h) и приводит к переходу от упругого контакта к пластическому деформированию и далее микрорезанию или задиру. Прочность адгезионной связи выражается зависимостью [7]:

$$\sigma = \sigma_0 + \beta P_r, \quad (13)$$

где σ_0 – прочность адгезионной связи при отсутствии нагрузки; β – коэффициент прочности молекулярной связи; P_r – фактическое давление на контакте.

Температура изменяет механические свойства материала и его поверхностных слоёв. При этом влияние скорости скольжения и скорости деформирования незначительное [11] у металлов. У полимеров (ДСтП) скорость деформирования влияет на механические свойства. Механизм разрушения материалов при трении связан с отгеснением материала внедрившемся контактом. Как показали экспериментальные исследования, при переходе от статического нагружения к ударному, сопротивление материалов разрушения возрастает лишь на 20–30 % и в редких случаях в 2–3 раза [7]. Под влиянием температуры у металлов образуется слой плёнки окисла или иного химического соединения пониженной прочности, необходимой для внешнего трения. Так от изменённых механических свойств материала и режима трения зависит вид нарушения фрикционных связей: высота и радиус кривизны (h , R) при вершине неровностей. Неровности могут моделироваться в виде сегментов асимметричных эллипсоидов, шара, а в единичных случаях – цилиндрическими сегментами. В условиях пластического контакта внешнее трение возможно лишь при незначительных внедрениях контактирующих неровностей, и поэтому расчётная модель представляет собой взаимодействие абсолютно жёстких сферических сегментов одинакового радиуса, расположенных на различной высоте с пластическим деформированным гладким полупространством, в форме шероховатости жёсткого контр тела. В условиях упругого контакта рассматриваются две модели: взаимодействие шероховатой поверхности (ДСтП) с гладкой (сталью) – жёсткое гладкое полупространство с упруго деформационными сферическими выступами, а взаимодействие двух шероховатых поверхностей – как взаимодей-

ствие упругих сферических моделей. И. В. Крагельский, Д. В. Конвисаров, П. А. Ребиндер внесли общие концепции на процесс износа. Все эти концепции позволяют учитывать, рассчитывать и влиять на механизм износа.

Методика расчёта динамических и кинематических характеристик термопротяжного узла для достижения оптимальной шероховатости ДСтП.

Теория теплопередачи – это учение о процессе распространения теплоты в пространстве с неоднородным полем температур. Существует три основных вида теплообмена: теплопроводность, конвекция и тепловое излучение. В данном случае происходит обмен энергией с молекулярным переносом теплоты движущейся стальной пластины с непосредственно соприкасающимся телом ДСтП. Такая теплопроводность в твёрдых телах с внедрившимися частицами осуществляется при условии невозможности возникновения конвективных токов и определяется тепловым движением микрочастиц стальной ленты. Передача теплоты теплопроводностью связана с наличием разности температур тел: стальной пластины и плиты ДСтП. Внутренний механизм теплопроводности объясним на основе молекулярно-кинетической теории: перенос энергии осуществляется вследствие теплового движения и энергетического взаимодействия между микрочастицами. В процессе термосилового воздействия происходит, нагрев поверхности протяжного термосилового механизма от силы трения $F_{тр}$, сопровождающийся теплопроводностью трущихся тел. Совокупность значений температуры для всех точек пространства в данный момент времени представляет температурное поле, которая в общем случае имеет вид

$$t = f(x, y, z, \tau), \quad (14)$$

где t – температура тела; x, y, z – координаты точки; τ – время.

Согласно закону сохранения энергии, выделенное количество тепловой энергии требуется для нагрева пластины до температуры необходимой для достижения минимума шероховатости поверхности ДСтП. Точки с одинаковой температурой в совокупности образуют изотермическую поверхность. Изменение температуры в теле наблюдается лишь в направлениях, пересекающих изотермические поверхности. Резкое изменение температуры получается в направлении нормали n к изотермической поверхности. Предел отношения изменения температуры Δt к расстоянию между изотермами по нормали Δn называется градиентом температуры:

$$\lim \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{dt}{dn} \text{ grad } t = vt, \quad (15)$$

Если, нагрев взаимодействующих тел при трении происходит неравномерно по всему объёму, то при расчёте тепловой энергии требуется ввести градиент температуры.

Переход трения в теплоту осуществляется суммарной мощностью двигателя ($P_{дв}$) в составе следующих компонентов:

$$N_{\text{дв}} = N_{\text{води́ла}} (N_{\text{резания}} + N_{\text{трения}}) + N_{\text{подачт плиты}} + \\ + N_{\text{нагрев пластины}} + N_{\text{хол.ход}},$$

т. е.

$$N_{\text{дв}} = N_{\text{рез}} + N_{\text{тр}} + N_{\text{под}} + N_{\text{нагр}} + N_{\text{хол.ход}}, \quad (16)$$

$$N_{\text{рез}} = F_{\text{рез}} V_{\text{окр.фрез.}}$$

Сила резания $F_{\text{рез}}$ зависит от глубины резания h , удельного веса плиты γ и площади контакта S режущего инструмента с плитой, т. е.

$$F_{\text{рез}} = h \gamma S. \quad (17)$$

Линейная окружная скорость – равномерное движение по окружности с постоянной частотой вращения и в технике определяется числом оборотов в минуту, а поэтому

$$V_{\text{окр}} = \frac{\pi R n}{30}, \quad (18)$$

где R – радиус фрезы; n – число оборотов.

Откуда

$$N_{\text{рез}} F_{\text{рез}} V_{\text{окр рез}} = \frac{h \gamma S \pi R n}{30}, \quad (19)$$

где γ – удельный вес плиты.

Дифференциал величины $S \gamma \pi R n h / 30$ равен произведению постоянной $S \gamma \pi R n / 30$ на переменную. Тогда

$$dN_{\text{рез}} = \frac{\gamma \pi R n S}{30} dh. \quad (20)$$

$P_{\text{тр}}$ равен произведению $F_{\text{тр}}$ на окружную линейную скорость, т. е.

$$N_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} V_{\text{окр.}} \quad (21)$$

Согласно формуле (4) общая сумма внешнего трения равна сумме двух составляющих $F_{\text{мол}}$ и $F_{\text{деф}}$, в которой $F_{\text{деф}}$ для заданной шероховатости и удельной нагрузки равна по (5):

$$F_{\text{деф}} = 0,5 \Delta^{1/2} (P/P_r)^{1/4},$$

где P – удельная нагрузка; P_r – фактическое нормальное давление на контакт.

Отсюда

$$N_{\text{тр}} = \frac{\left[F_{\text{мол}} + 0,5 \Delta^{1/2} \left(\frac{P}{P_r} \right) \right]^{1/4} \pi R n}{30}. \quad (21)$$

Дифференциал $N_{\text{тр}}$ равен произведению постоянной $\pi R n / 30$ на дифференциал $F_{\text{тр}}$,

Далее дифференцируем $F_{\text{тр}}$ как сумму двух переменных:

$$dF_{\text{мол}} + d \left[0,5 \Delta^{1/2} \left(\frac{P}{P_r} \right)^{1/4} \right] = dF_{\text{мол}} + \frac{1}{2} \Delta^{-1/2} d\Delta \times \\ \times \left(\frac{P}{P_r} \right)^{1/4} + \frac{1}{2} \Delta^{1/2} \times \frac{1}{4} \left(\frac{P}{P_r} \right)^{-3/4} d \left(\frac{P}{P_r} \right) = \\ = dF_{\text{мол}} + \frac{1}{4} \left(\frac{P}{P_r} \right)^{1/4} \Delta^{-1/2} d\Delta + \frac{1}{8} \Delta^{1/2} \left(\frac{P}{P_r} \right)^{-3/4} \times$$

$$\times \frac{PrPrdP - PdPr}{P_r^2}.$$

$$dN_{\text{тр}} = V_{\text{окр}} dF_{\text{тр}} = \frac{\pi R n}{30} [dF_{\text{мол}} + \frac{1}{2} \Delta^{-1/2} d\Delta \times$$

$$\times \left(\frac{P}{P_r} \right)^{1/4} + \frac{1}{2} \Delta^{1/2} \times \frac{1}{4} \left(\frac{P}{P_r} \right)^{-3/4} \times$$

$$\times d \left(\frac{P}{P_r} \right)] + [dF_{\text{мол}} + \frac{1}{4} \left(\frac{P}{P_r} \right)^{1/4} \Delta^{-1/2} d\Delta +$$

$$+ \frac{1}{8} \Delta^{1/2} \left(\frac{P}{P_r} \right)^{-3/4} \times \left(\frac{PrPrdP - PdPr}{P_r^2} \right)]. \quad (22)$$

$$N_{\text{под}} = V_{\text{под}} (\text{const}) (F_{\text{рез}} + F_{\text{тр}}) =$$

$$= V_{\text{пол}} (\gamma h S + F_{\text{мол}} + F_{\text{деф}}). \quad (23)$$

$$dN_{\text{под}} = V_{\text{под}} (\gamma dh + dF_{\text{мол}} + \frac{1}{4} \left(\frac{P}{P_r} \right)^{1/4} \Delta^{-1/2} d\Delta +$$

$$+ \frac{1}{8} \Delta^{1/2} \left(\frac{P}{P_r} \right)^{-3/4} \left(\frac{PrPrdP - PdPr}{P_r^2} \right)). \quad (24)$$

Расчёт мощности на нагрев пластины:

$$N_{\text{наг}} = F_{\text{тр}} V_{\text{окр}} = Q = \int q ds, \quad (25)$$

где Q – тепловой поток; q – удельное значение теплового потока; S – площадь пластины (const).

$$dN_{\text{наг}} = S dq. \quad (26)$$

Общий дифференциал мощности двигателя ($dN_{\text{дв}}$) в процессе калибрования термосиловым методом равен сумме дифференциалов мощностей резания, мощности трения, осуществляющего нагрев пластины и мощности подачи рабочих органов с учетом трения в кинематических узлах.

Суммарная функциональная мощность двигателя зависит от переменных: глубины резания (h), молекулярной составляющей силы трения ($F_{\text{мол}}$), неровности контактирующих поверхностей (Δ), нагрузки и давления на контакте (P , P_r), теплового потока (Q), силы тока (I) и напряжения на контакте (U). Механическая и электрическая энергия таким образом переходят в теплоту, изменяя параметры шероховатости пластины в процессе её механической обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. ГОСТ 11368–89. Изделия из древесины и древесных материалов. Массы древесные прессовочные [Текст]. Взамен ГОСТ 11368–79, введ. 26.06.89. М. : Изд-во стандартов, 1990. 22 с.
2. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине [Текст] / под ред. Б. Н. Уголева. М. : Лесная промышленность, 1989. 296 с.
3. Ермолович А. Г., Ереско С. П. Совершенствование процесса прессования строительных материалов, [Текст] : монография. Красноярск : СибГТУ, 2005, 150 с.

4. Пен Р. З. Планирование эксперимента в Statgraphics [Текст]. Красноярск : СибГТУ, 2003. 246 с.

5. Справочное руководство по древесине : пер. с англ. Л. П. Горелина, Т. В. Михайлова [Текст]. М. : Лесная промышленность, 1979. 554 с.

6. ГОСТ 7016–82. Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности [Текст]. Взамен ГОСТ 7016–75, введ. 01.07.83. М. : Изд-во стандартов, 1987. 5 с.

7. Крагельский И. В. Трение и износ [Текст]. М. : Машиностроение, 1968. 480 с.

8. Басин В. Г. Адгезионная прочность [Текст]. М. : Химия, 1981. 208 с.

9. Справочник по сушке древесины / под ред. Е. С. Богданова [Текст]. М. : Лесная промышленность, 1990. 304 с.

10. Соснин М. И., Климова М. И. Физические основы прессования древесностружечных плит [Текст]. Новосибирск : Наука, 1981. 190 с.

11. Кряжев Н. А. Фрезерование древесины [Текст]. М. : Лесная промышленность, 1979. 200 с.

REFERENCES

1. GOST 11368–89. Products from wood and wood materials. Wood pressing masses [Text]. Instead of GOST 11368–79, introduced. 06.26.89. M. : Publishing house of standards, 1990, 22 p.

2. Borovikov A. M., Ugolev B. N. Handbook of wood [Text] / ed. B. N. Ugolev. M. : Timber industry, 1989. 296 s.

3. Ermolovich A. G., Eresko S. P. Improving the process of pressing building materials [Text] : monograph. Krasnoyarsk : SibGTU, 2005, 150 p.

4. Pen R. Z. Planning an experiment in Statgraphics [Text]. Krasnoyarsk : SibGTU, 2003. 246 p.

5. Reference guide to wood : translated from english L. P. Gorelina, T. V. Mikhailov [Text]. M. : Forestry industry, 1979, 554 p.

6. GOST 7016–82. Products from wood and wood materials. Surface roughness parameters [Text]. Instead of GOST 7016–75, introduced. 07.01.83. M. : Publishing house of standards, 1987, 5 p.

7. Kragelsky I. V. Friction and wear [Text]. M. : Mashinostroyeniye, 1968, 480 p.

8. Basin V. G. Adhesion strength [Text]. M. : Chemistry, 1981. 208 p.

9. Handbook of wood drying / ed. E. S. Bogdanov [Text]. M. : Forestry industry, 1990, 304 p.

10. Sosnin M. I., Klimov M. I. Physical bases of chipboard pressing [Text]. Novosibirsk : Science, 1981, 190 p.

11. Kryazhev N. A. Wood milling [Text]. M. : Forestry industry, 1979, 200 p.

© Цаплин П. В., Межов В. Г., Кустов А. В.,
Заболотская Е. А., Гончарова Я. С., 2023

Поступила в редакцию 05.02.2023

Принята к печати 04.04.2023

АВТОРСКАЯ ССЫЛКА

¹Безруких В. А. Экологический императив бореальной зоны в развитии Красноярского края, с. 109–112

²Безруких В. А. Особенности формирования природопользования бореальной зоны Приенисейской Сибири, с. 113–117

Авдеева Е. В., см. ¹Безруких В. А.

Авдеева Е. В., см. ²Безруких В. А.

Аксянова Т. Ю., см. Ступакова О. М.

Безкоровайная И. Н., см. Тарасов П. А.

Бессчетнов В. П., см. Вышегородцев А. В.

Бессчетнова Н. Н., см. Вышегородцев А. В.

Буторова О. Ф., см. Ерохина З. В.

Буторова О. Ф., см. Матвеева Р. Н.

Вышегородцев А. В. Видоспецифичность регенеративной способности черенков тиса при интродукции в Нижегородскую область, с. 118–132

Гаврилова О. И. Особенности структуры молодняков, сформировавшихся на участках лесных культур, с. 133–138

Гончарова Я. С., см. Цаплин П. В.

Грязькин А. В., см. Гаврилова О. И.

Дырдин С. Н., см. Матвеева Р. Н.

Ерохина З. В. Показатели культур кедров сибирского (*Pinus sibirica* du tour) в Таштыпском лесничестве Республики Хакасия, с. 139–144

Жигулин Е. В., см. Оплетев А. С.

Заболотская Е. А., см. Цаплин П. В.

Залесов С. В., см. Оплетев А. С.

Иванов В. А., см. Тарасов П. А.

Иванов Д. В., см. ¹Безруких В. А.

Иванова Г. А., см. Тарасов П. А.

Комаров И. В., см. Матвеева Р. Н.

Коростелев А. С., см. Матвеева Р. Н.

Коротков А. А., см. ²Безруких В. А.

Кузнецова О. А., см. ¹Безруких В. А.

Кузнецова О. А., см. ²Безруких В. А.

Кустов А. В., см. Цаплин П. В.

Лигаева Н. А., см. ¹Безруких В. А.

Лигаева Н. А., см. ²Безруких В. А.

Лубинь Го, см. Гаврилова О. И.

Матвеева Р. Н. Изменчивость показателей 17-летних модельных деревьев сосны кедровой сибирской, с. 145–150

Матвеева Р. Н., см. Ерохина З. В.

Межов В. Г., см. Цаплин П. В.

Мурашко Н. В., см. Ерохина З. В.

Норицин Д. В., см. Усольцев В. А.

Оплетев А. С. Опыт многократного выращивания контейнерного посадочного материала для искусственного лесовосстановления в теплицах с регулируемым микроклиматом, с. 151–156

Пак К. А., см. Гаврилова О. И.

Ступакова О. М. Видовое разнообразие, композиция и состояние искусственных хвойных насаждений скверов города Красноярска, с. 157–160

Тарасов П. А. Постпирогенная динамика агрохимических показателей песчаных подзолов в сосняках южной тайги, с. 161–174

Тун Чэн, см. Гаврилова О. И.

Усольцев В. А. Ранжирование лесообразующих родов Евразии по бежистости (относительной высоте) ствола, с. 175–184

Цаплин П. В. Исследование влияния силы трения на шероховатость поверхности древесностружечных плит и на износ инструмента, с. 185–193

Цепордей И. С., см. Усольцев В. А.

Широков А. И., см. Вышегородцев А. В.

Щерба Ю. Е., см. Матвеева Р. Н.

AUTHOR'S LINK

¹Bezrukikh V. A. Environmental imperative of the boreal zone in the development of the Krasnoyarsk territory, p. 109–112

²Bezrukikh V. A. Features of natural management in the boreal zone of the Yenisei Siberia, p. 113–117

Aksyanova T. Yu., see Stupakova O. M.

Avdeeva E. V., see ¹Bezrukikh V. A.

Avdeeva E. V., see ²Bezrukikh V. A.

Besschetnov V. P., see Vyshegorodtsev A. V.

Besschetnova N. N., see Vyshegorodtsev A. V.

Bezkorovaynaya I. N., see Tarasov P. A.

Butorova O. F., see Erokhina Z. V.

Butorova O. F., see Matveeva R. N.

Dyrdin S. N., see Matveeva R. N.

Erokhina Z. V. Indicators of Siberian cedar cultures (*Pinus sibirica* du tour) in the tashtypsky forestry in the Republic of Khakassia, p. 139–144

Gavrilova O. I. Peculiarities of the structure of young stands formed on forest plantation plots, p. 133–138

Goncharova Ya. S., see Tsaplin P. V.

Gryashin A. V., see Gavrilova O. I.

Ivanov D. V., see ¹Bezrukikh V. A.

Ivanov V. A., see Tarasov P. A.

Ivanova G. A., see Tarasov P. A.

Komarov I. V., see Matveeva R. N.

Korostelev A. S., see Matveeva R. N.

Korotkov A. A., see ²Bezrukikh V. A.

Kustov A. V., see Tsaplin P. V.

Kuznetsova O. A., see ¹Bezrukikh V. A.

Kuznetsova O. A., see ²Bezrukikh V. A.

Ligaeva N. A., see ¹Bezrukikh V. A.

Ligaeva N. A., see ²Bezrukikh V. A.

Lubin Go., see Gavrilova O. I.

Matveeva R. N. Variability of 17-year-old model trees indicators of Siberian cedar pine, p. 145–150

Matveeva R. N., see Erokhina Z. V.

Mezhov V. G., see Tsaplin P. V.

Murashko N. V., see Erokhina Z. V.

Noritsin D. V., see Usoltsev V. A.

Opletaev A. S. Experience of multi-rotation cultivation of container planting material for artificial reforestation in greenhouses with controlled microclimate, p. 151–156

Pak K. A., see Gavrilova O. I.

Shcherba Yu. E., see Matveeva R. N.

Shirokov A. I., see Vyshegorodtsev A. V.

Stupakova O. M. Species diversity, composition and condition of artificial coniferous plantations of squares in Krasnoyarsk, p. 157–160

Tarasov P. A. Post-fire changes in nutritional characteristics of sandy podzol in pine forests of the southern taiga, p. 161–174

Tsaplin P. V. Study of the influence of the friction force on the surface roughness of wood particle boards and on tool deterioration, p. 185–193

Tsepordey I. S., see Usoltsev V. A.

Usoltsev V. A. Ranking of the forest-forming genera of Eurasia by the slenderness (relative height) of the stem, p. 175–184

Vyshegorodtsev A. V. Species specificity of the regenerative ability of yew cuttings during introduction to the Nizhny Novgorod region, p. 118–132

Zabolotskaya E. A., see Tsaplin P. V.

Zalesov S. V., see Opletaev A. S.

Zhigulin E. V., see Opletaev A. S.

Tun Then., see Gavrilova O. I.

