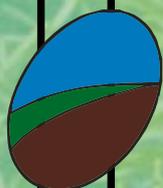


ISSN 1993-0135

ХВОЙНЫЕ

БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ



2022

Том XL
Номер 1

<http://www.sibsau.ru>

Красноярск

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

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XL
№ 1

Красноярск
2022

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XL, № 1

Журнал основан в 1962 г.
(до 2002 г. носил название «Лиственница»)
Выходит 6 раз в год

Главный редактор

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

Ответственный секретарь

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

CONIFERS of the BOREAL AREA

Theoretical and Applied Research Journal

Volume XL, № 1

The journal was founded in 1962
(Prior to 2002 it had the title «Larch»)
Issued 6 times a year

Editor-In-Chief

Dr. Natalia P. Bratilova, Professor

Executive secretary

Dr. Aleksandr A. Korotkov

EDITORIAL BOARD:

- Avdeeva** Elena V., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Alashkevich Yury D., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Ermolin Vladimir N., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Ivanov Valery A., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Kobayashi Ryosuke, Cand. Sc. in 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., Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Krutovsky Konstantin V., Dr., Associate Professor (Texas A&M University, College Station, USA)
Kuznetsov Boris N., Dr., Professor (Institute of Chemistry and Chemical Technology, Krasnoyarsk)
Matveeva Rimma N., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Niemz Peter, Professor (Institute for Building Materials (IfB) Wood Physics (Overview wood at the ETH Zurich))
Ogurtsov Victor V., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Onuchin Alexandr A., Dr. (Institute of Forest, Krasnoyarsk)
Pen Robert Z., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Ryazanova Tatyana V., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Safin Ruslan R., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Kazan National Research Technological University, Kazan)
Selikhovkin Andrey V., Dr., Professor (Saint-Petersburg State Forest-Technical Academy)
Shevelev Sergei L., Dr., Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Storojenko Vladimir G., Dr. (Institute of Forest Sciences, Moscow)
Suboch Georgii A., Dr. Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Suhovolsky Vladislav G., Dr., Professor (Institute of Forest, Krasnoyarsk)
Verkhovets Sergei V., Cand. Sc. in Agriculture, Docent (Director of the Project Office of the REC MU “Yenisei Siberia”, Krasnoyarsk)
Vyvodtsev Nikolay V. (Pacific National University, Khabarovsk)
Usoltsev Vladimir A. (Ural State Forestry University, Ekaterinburg)
Zalesov Sergey V. (Ural State Forestry University, Ekaterinburg)
Yakubov Haris H. (Moscow State University, Moscow)

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

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

Статьи в журнале публикуются бесплатно после обязательного рецензирования
и при оформлении их в соответствии с требованиями редакции (www.hbz.sibsau.ru).

Журнал выходит 6 раз в год.

Электронная версия журнала представлена на сайте Научной электронной библиотеки
(<http://www.elibrary.ru>) и сайте журнала (<https://hbz.sibsau.ru/>)

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

Учредитель и издатель

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

Адрес учредителя и издателя

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

Адрес редакции

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

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

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

Подписано в печать 15.02.2022. Дата выхода в свет 28.02.2022. Формат 70×108/8.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 11,9. Уч.-изд. л. 15,2. Тираж 700 экз.
Заказ С 368/22. Цена свободная.

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

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

Содержание

Коротков А. А. Юбилей Хорошего человека (Римма Никитична Матвеева)	7
---	---

БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ, ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Орнатский А. Н., Щербаков А. Ю. Корреляция показателей пигментного состава хвои ели европейской в географических культурах	9
Волкова А. С., Ануев Е. А., Милашкин И. Г. Актуальные вопросы описания границ лесного фонда (на примере города Красноярска)	18
Горелов А. Н., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Сравнительная оценка таксационных показателей плюсовых деревьев сосны обыкновенной на лесосеменной плантации	27
Корпачев В. П., Пережилин А. И., Андрияс А. А. Технические проблемы, создаваемые строительством водохранилищ ГЭС на лесных землях	38
Свалова А. И., Братилова Н. П., Лузганов А. Г. Оценка подпологовых культур сосны кедровой сибирской в урочище «Майдат» пригородной зоны Красноярска	46
Танцырев Н. В. Интенсивность возобновления кедрового стланика в связи с урожаями семян в Южной Якутии	54
Тишков А. С., Мерзленко М. Д., Мельник П. Г., Наумов Е. Г. Показатели культур ели европейской при разной густоте посадки	59
Усольцев В. А., Цепордей И. С., Норицин Д. В. Аллометрические модели для оценки биомассы корней лесообразующих родов Евразии дистанционными методами с учетом глобального потепления	65

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Долматов С. Н., Колесников П. Г. Исследование влияния стальных теплопроводных включений на теплотехнические свойства ограждающей конструкции из древесно-цементного композита	76
Плотников С. М. Устранение покоробленности древесных плит за счет дисбаланса поверхностной влажности стружечного ковра	84
Холопов В. Н., Федченко В. Б. Тяговые силы высокоманевренного транспортного средства	91
Авторская ссылка	94

Contents

Korotkov A. A. Anniversary of a Good Man (Rimma Nikitichna Matveeva)	7
---	---

BIOLOGY AND ECOLOGY, FORESTRY

Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Ornatsky A. N., Shcherbakov A. Yu. Correlation of indicators of the pigment composition of european spruce needles in geographical cultures	9
Volkova A. S., Anyev E. A., Milashkin I. G. Actual question descriptions the boundaries of forest (on the example of Krasnoyarsk)	18
Gorelov A. N., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Comparative assessment of the taxation indicators of plus trees of scots pine on a forest seed plantation	27
Korpachev V. P., Perezhilin A. I., Andriyas A. A. Technical problems, created by construction of reservoirs of hpp on forest lands	38
Svalova A. I., Bratilova N. P., Luzganov A. G. Assessment of cultures under forest canopy of siberian cedar pine in the tract "Maydat" in the suburban zone of Krasnoyarsk	46
Tantsyrev N. V. The intensity of japanese stone pine renewal in connection with the seed yields in South Yakutia	54
Tishkov A. S., Merzlenko M. D., Melnik P. G., Naumov E. G. Indicators of european spruce crops with different planting density	59
Usoltsev V. A., Tsepordey I. S., Noritsin D. V. Allometric models for estimating the root biomass of Eurasian forest-forming genera by remote sensing as related to global warming	65

TECHNOLOGY OF LOGGING AND MECHANICAL OPERATION OF WOOD

Dolmatov S. N., Kolesnikov P. G. Research of the influence of steel heat-conducting inclusions on thermal properties of the fronting structure from wood-cement composite	76
Plotnikov S. M. Removing of warping of wood boards thanks to imbalance of surface humidity of the chip mat	84
Kholopov V. N., Fedchenko V. B. Traction forces highly maneuverable vehicle	91
Author's link	94

Юбилей Хорошего человека

РИММА НИКИТИЧНА МАТВЕЕВА



Шестого февраля празднует свой 80-летний Юбилей Римма Никитична МАТВЕЕВА, выдающийся ученый, испытатель, учитель, наставник, и просто хороший человек.

Будучи студенткой, гимнасткой в далеком 1961 году, случайно занялась научной работой в кружке, созданным при кафедре лесной селекции Ольгой Павловной Олисовой. Римма Никитична, успешно выполняя поручения выдаваемым руководителем, настолько увлеклась интересным, новым для себя делом, что в результате влюбилась в кедр сибирский. Она проводила выкопку сеянцев из гряд, грузила их на телегу, сама управляла лошастью, проезжая по семь километров от дендрария до участка с посадками, проводила посадку под меч Колесова, полола, косила,

и так каждые десять дней, в любую погоду, в течение всего вегетационного периода. Этот титанический, педантичный труд взвалила на себя не крепкий парень, а хрупкая молодая девушка Римма. Результат эксперимента удивил маститых ученых, которые и не предполагали, что полученный результат приживаемости более 90 процентов можно получить вне ограниченного срока (сезона) посадки, а цель поставленная Риммой Никитичной об установлении оптимальных сроков посадки была достигнута. Так зарождался талант большого ученого. Позже было поставлено много опытов по изучению семян, их подготовкой к посеву, обработка сеянцев стимуляторами, микроэлементами, и даже уникальный опыт с облучением семян лучами Рентгена.

После окончания института в 1965 году Римма Никитична уехала в лесхоз, получать полевой опыт, работая сначала помощником лесничего, затем инженером охраны леса, продолжая при этом в свободное от работы время ставить научные эксперименты. Среди грядок в огороде были посеяны семена кедровых шишек обработанные гибберлином, гетероауксином, нефтяным ростовым веществом. Такой же опыт был и в лесу, на лесной поляне. Ставила опыты по прививке кедровых шишек. В 1966 году комиссия отдела восстановления Красноярского управления лесами случайно увидели в огороде среди овощей растущие растения кедровых шишек, заинтересовались и удивились талантам молодой ученой из лесхоза, и уже в следующем 1967 году отправили Римму Никитичну в Москву от Красноярского края на Всероссийское совещание по вегетативному размножению с докладом о результатах своих опытных работ. В этом же году Римме Никитичне предложили поступить в аспирантуру. В 1974 году Риммой Никитичной успешно была защищена кандидатская диссертация на тему «Выращивание сеянцев кедровых шишек с применением гетероауксина и дополнительного освещения», в основу которой легли отчасти и результаты, полученные из опытов, поставленных в собственном огороде.

Римма Никитична была назначена заведующим кафедрой лесных культур СТИ в 1976 году. Прошли годы, с новыми экспериментами, идеями, исследованиями. Особо стоит выделить уникальные опыты по черенкованию кедровых шишек сибирского, практически не укореняемого вида, но не для Риммы Никитичны. Несколько лет, она укореняла черенки, нарезанные с растений разного возраста, форм, географического происхождения, применяла различные стимуляторы и микроэлементы, с учетом сроков и фаз развития. Создала и отработала методику размножения главного растения Сибирской тайги. И как результат – под Красноярском имеются плантации

лесных культур сосны кедровых шишек сибирского черенкового происхождения, которых нет больше нигде в мире.

В 1994 году Риммой Никитичной была защищена докторская диссертация на тему «Особенности хранения семян, выращивания посадочного материала и создание культур целевого назначения сосны сибирской».

В настоящее время продолжают исследования по изучению плантаций кедровых шишек разного географического происхождения, формового разнообразия с использованием посадочного материала, отобранного по элементам ранней диагностики при непосредственном участии Риммы Никитичны и ее учеников. Римма Никитична имеет более 600 публикаций, является соавтором учебника, 40 монографий. Была научным консультантом докторской диссертации и научным руководителем 20 кандидатских диссертаций. Римма Никитична «Заслуженный лесовод РФ», Академик Российской академии естественных наук, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, награждена множеством Благодарственных писем и Грамотами разного уровня, имеет дипломы Победителя социалистических соревнований, Лауреат Всероссийского конкурса научных работ, является председателем диссертационного совета.

Сейчас Римма Никитична работает профессором на кафедре селекции и озеленения Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева.

Редколлегия журнала «Хвойные бореальной зоны», друзья, коллеги и ученики искренне поздравляют Римму Никитичну с Юбилеем, желают крепкого здоровья, счастья и новых творческих успехов!!!

А. А. Коротков
кандидат сельскохозяйственных наук,
СибГУ им. М. Ф. Решетнева

КОРРЕЛЯЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПИГМЕНТНОГО СОСТАВА ХВОИ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ

Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, А. Н. Орнатский, А. Ю. Щербаков

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

Изучали корреляционную взаимозависимость между фенотипическими проявлениями показателей пигментного состава хвои у представителей одиннадцати территориально разобщенных популяций ели европейской в географических культурах, созданных в Нижегородской области. Объект исследования расположен в зоне хвойно-широколиственных лесов (третья лесорастительная зона) и входит в район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации. Лесорастительные условия местности благоприятны для ели европейской. На этапе полевых работ выделяли типичные деревья, общее число которых составило 368 шт. С каждого из них одновременно отобраны образцы однолетней хвои. Количественные оценки содержания в фотосинтезирующем аппарате учетных растений хлорофилла-а, хлорофилла-б, каротиноидов получены спектрофотометрическим методом по уравнениям Веттштейна и Хольма. Установлена взаимная зависимость в содержании и соотношении пластидных пигментов в хвое ели европейской. Содержание хлорофилла-а в большей мере связано с суммарным количеством зеленых пигментов ($r = 0,984 \pm 0,009$) и с наличием хлорофилла-б ($r = 0,843 \pm 0,028$). Содержание хлорофилла-б имело выраженные корреляции с суммой зеленых пигментов ($r = 0,927 \pm 0,020$) и содержанием хлорофилла-а ($r = 0,843 \pm 0,028$). Связь содержания каротиноидов с наличием хлорофилла-а ($r = 0,729 \pm 0,036$) и хлорофилла-б ($r = 0,614 \pm 0,41$) была достаточно тесной. Подтверждена адекватность описания уравнениями прямой линии взаимозависимости между хлорофиллом-а и хлорофиллом-б: $y = 1,771x + 0,763$ ($R^2 = 0,7113$), между хлорофиллом-а и суммой хлорофиллов: $y = 0,683x + 0,068$ ($R^2 = 0,9674$), а также между хлорофиллом-а и общим количеством пигментов: $y = 0,645x + 0,026$; ($R^2 = 0,9681$). Корреляция признаков пигментного состава хвои представителей разных популяций ели европейской в географических культурах, созданных на территории Нижегородской области, является вполне устойчивым и статистически надежным показателем в оценке общего физиологического состояния исследованных растений.

Ключевые слова: ель европейская, географические культуры, хвоя, пигментный состав, хлорофилл, каротиноиды, корреляция, регрессия.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 1, P. 9–17

CORRELATION OF INDICATORS OF THE PIGMENT COMPOSITION OF EUROPEAN SPRUCE NEEDLES IN GEOGRAPHICAL CULTURES

N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov, A. N. Ornatsky, A. Yu. Shcherbakov

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

We studied the correlation interdependence between the phenotypic manifestations of the indicators of the pigment composition of needles in representatives of eleven geographically separated populations of Norway spruce in geographical cultures created in the Nizhny Novgorod region. The object of research is located in the zone of coniferous-broad-leaved forests (the third forest-growing zone) and is included in the area of coniferous-broad-leaved (mixed) forests of the European part of the Russian Federation. The forest growing conditions of the area are favorable for Norway spruce. At the stage of field work, typical trees were isolated, the total number of which was 368 pcs. Samples of annual needles were simultaneously selected from each of them. Quantitative estimates of the content of chlorophyll-a, chlorophyll-b, and carotenoids in the photosynthetic apparatus of accounting plants were obtained by the spectrophotometric method using the Wettstein and Holm equations. The mutual dependence in the content and ratio of plastid pigments in the coniferous spruce of the Norway spruce is established. The content of chlorophyll-a

is more related to the total amount of green pigments ($r = 0.984 \pm 0.009$) and the presence of chlorophyll-b ($r = 0.843 \pm 0.028$). The content of chlorophyll-b had pronounced correlations with the sum of green pigments ($r = 0.927 \pm 0.020$) and the content of chlorophyll-a ($r = 0.843 \pm 0.028$). The association of carotenoid content with the presence of chlorophyll-a ($r = 0.729 \pm 0.036$) and chlorophyll-b ($r = 0.614 \pm 0.41$) was quite close. The adequacy of the description of the direct line equations of the interdependence between chlorophyll-a and chlorophyll-b: $y = 1,771x + 0.763$ ($R^2 = 0.7113$), between chlorophyll-a and the sum of chlorophylls: $y = 0.683x + 0.068$ ($R^2 = 0.9674$), as well as between chlorophyll-a and the total number of pigments: $y = 0.645x + 0.026$; ($R^2 = 0.9681$). The correlation of the characteristics of the pigment composition of the needles of representatives of different populations of Norway spruce in geographical cultures created on the territory of the Nizhny Novgorod region is quite a stable and statistically reliable indicator in assessing the general physiological state of the studied plants.

Keywords: Norway spruce, geographical crops, needles, pigment composition, chlorophyll, carotenoids, correlation, regression.

ВВЕДЕНИЕ

Острота проблем лесовосстановления и необходимость их безотлагательного решения нашли отражение в принятой правительством Российской Федерации стратегии развития лесного комплекса до 2030 года. Этот программный документ отчетливо обозначил вектор перехода к инновационный типу организации хозяйства в лесах страны, им намечен последовательный переход к интенсивным формам его ведения, обеспечивающим устойчивое и неистощительное лесопользование на платформе научно обоснованных мероприятий, включая лесокультурную деятельность. В первую очередь это относится к основным лесобразующим породам, в число которых вполне обосновано включены представители рода Ель, а в его составе – ель европейская (*Picea abies* (L.) Н. Karst.), являющаяся одним из наиболее значимых древесных растений не только в России, но за рубежом. Располагая обширным ареалом, этот вид отличается заметной экологической пластичностью и обладает значительной изменчивостью своих многочисленных характеристик. Их систематическое и детальное изучение рассматривается как одна из важнейших отраслевых задач в плане обеспечения объективной информацией хозяйствующих субъектов и участников лесных отношений. На территории Нижегородской области ель европейская выступает важным элементом аборигенной флоры, где входит в состав естественных и искусственных насаждений различной структуры, состава и функционального назначения, что предопределяет актуальность её предметных исследований в регионе с самых разных сторон [1; 8; 9; 12; 13; 15; 16]. Важность и своевременность их проведения подтверждается последовательной реализацией подобных исследований во многих других странах [17–20]. При этом, выявление закономерностей строения, развития и функционирования фотосинтезирующего аппарата традиционно рассматривается как одно из наиболее приоритетных направлений лесоводственной науки, в соответствии с чем анализ содержания и соотношения в хвое пластидных пигментов, которое в значительной мере обуславливает фотосинтетическую активность древесных видов и, в конечном итоге, продуктивность, долговечность и устойчивость их насаждений, признается в полной мере актуальным [1; 8; 12; 13; 15; 16]. Повышенный интерес неизменно вызывают вопросы формирования этих важнейших биологических характеристик древесных пород, их

наследуемость, изменчивость и взаимная обусловленность динамики фенотипических проявлений [2–7; 12–16].

Цель исследований – установить характер и степень взаимозависимости фенотипических проявлений характеристик пигментного состава хвои представителей разных популяций ели европейской, произрастающих в географических культурах на территории Нижегородской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования выступали географические культуры ели европейской, созданные в 1978 году на территории Сергачского межрайонного лесничества Нижегородской области, которая отнесена к зоне хвойно-широколиственных лесов (третья лесорастительная зона) и входит в район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации. Лесорастительные условия местности вполне благоприятны для ели европейской. Состав обследованных насаждений представлен одиннадцатью природными популяциями ели европейской, различающимися в территориальном плане своим происхождением. В рамках опыта им были присвоены обозначения, соответствующие официальным названиям существовавших на момент заготовки семян областей, союзных и автономных республик бывшего СССР: Ленинградская; Вологодская; Могилевская; Псковская; Литовская; Львовская; Московская; Архангельская; Карельская; Калининградская; Костромская. На этапе полевых работ выделяли типичные учетные деревья, число которых в зависимости от сохранности по вариантам опыта составило 6–63 шт. С каждого их них были отобраны биологические пробы, которые представляли собой нормально развитые хорошо охвоённые побеги с не менее чем трехлетним приростом без видимых признаков поражения биотическими и абиотическими факторами. Они служили источником хвои для формирования экстракционных навесок, используемых в последующем определении содержания в ней пластидных пигментов.

Лабораторные исследования выполнены по традиционным методикам определения содержания пластидных пигментов. Применен спектрофотометрический анализ как наиболее точный метод количественного определения пигментного состава листового

аппарата растений. Он позволяет установить содержание пигментов по оптической плотности вытяжки без её предварительного разделения при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения: хлорофилла-*a* (663 нм), хлорофилла-*b* (645 нм), каротиноидов (440 нм). Концентрации пигментов вычисляли по соответствующим уравнениям Ветштейна и Хольма. В качестве экстрагирующего вещества использован 96-процентный раствор этилового спирта. Для пересчета содержания анализируемых пигментов на единицу массы абсолютно сухого вещества хвои определяли его количество в каждой навеске после высушивания в лабораторных сушильных шкафах HS 61 А. Учитываемыми параметрами пигментного состава хвои выступали концентрации хлорофилла-*a*, хлорофилла-*b* и каротиноидов в оптической пробе. Также предусматривалось привлечение в анализ производных признаков, которыми в нашей работе выступали суммарные величины и оценки отношений количественных показателей содержания пластидных пигментов, а также оценки их долевого участия в формировании общего пигментного состава хвои [1; 2–7; 12–16]. Вычисление основных статистик, проведение корреляционного и регрессионного осуществляли согласно общеизвестным методическим схемам

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Представители территориально разобобщенных популяций обладали неодинаковыми характеристиками пигментного состава их фотосинтезирующего аппарата. В частности, у представителей популяции из Псковской области хлорофилла-*a* в хвое содержалось больше ($3,25 \pm 0,06$ мг/г), а у растений из Калининградской области меньше ($2,57 \pm 0,04$ мг/г), чем у других. В содержании хлорофилла-*b* соотношение популяционных оценок носило сходный характер, притом что наибольшие величины ($1,37 \pm 0,05$ мг/г и $1,37 \pm 0,06$

мг/г) были характерны для представителей популяций из Костромской и Карельской областей, а наименьшие ($1,07 \pm 0,03$ мг/г и $1,09 \pm 0,03$ мг/г) – Архангельской и Калининградской. Присутствие в хвое каротиноидов также неоднородно. Их наибольшее количество было свойственно образцам из Костромской области ($0,44 \pm 0,02$ мг/г), а наименьшее – популяциям из Могилевской и Архангельской областей ($0,32 \pm 0,01$ мг/г). Основной перечень описательных статистик важнейших характеристик содержания и соотношения пластидных пигментов в табличной форме представлен нами ранее [1].

Варьирование разных признаков пигментного состава хвои неодинаково и в показателях содержания пластидных пигментов чаще соответствовало низкому и среднему уровню по шкале Мамаева, в то время как в оценках их отношений или их доли участия в общем пигментном составе – среднему и повышенному (табл. 1).

В обобщенных массивах данных оценки коэффициентов вариации для показателей содержания пигментов составили: 20,41 % – содержание хлорофилла-*a* (Пр-1); 23,21 % содержание хлорофилла-*b* (Пр-2); 20,51 % – суммарное содержание хлорофилла (Пр-3); 22,47 % – содержание каротиноидов (Пр-4). Те же оценки для показателей отношения содержания пигментов и их доли участия в общем пигментном составе оказались более стабильными (низкий и очень низкий уровень шкалы Мамаева) и принимали значения: 11,62 % – отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию хлорофилла-*b* (Пр-5); 23,21 % – отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию каротиноидов (Пр-6); 16,73 % – отношение содержания хлорофилла-*b* к содержанию каротиноидов (Пр-7); 3,66 % – доля содержания хлорофилла-*a* (Пр-8); 8,79 % – доля содержания хлорофилла-*b* (Пр-9); 15,96 % – доля содержания каротиноидов (Пр-9).

Таблица 1
Коэффициенты вариации признаков пигментного состава хвои ели европейской в географических культурах в Нижегородской области¹

Происхождения, области	Признаки пигментного состава хвои									
	Пр-1	Пр-2	Пр-3	Пр-4	Пр-5	Пр-6	Пр-7	Пр-8	Пр-9	Пр-10
Ленинградская	17,98	23,30	19,13	17,08	12,03	9,28	9,28	3,58	8,56	7,95
Вологодская	11,20	19,68	11,96	14,27	21,63	13,22	13,22	5,21	12,92	8,05
Могилевская	13,85	22,47	13,42	14,53	13,63	26,85	26,85	5,58	12,48	13,64
Псковская	4,57	9,18	4,86	8,36	9,69	5,32	5,32	2,38	6,36	7,26
Литовская	22,48	21,10	21,48	24,06	10,03	18,00	18,00	3,73	9,13	15,54
Львовская	25,13	27,18	10,06	25,39	7,41	8,84	8,84	2,09	5,27	7,82
Московская	22,21	23,98	22,57	16,56	4,81	11,92	11,92	1,50	3,55	11,33
Архангельская	13,76	17,08	14,42	20,03	8,81	11,27	11,27	2,18	5,57	10,47
Карельская	10,89	14,32	11,83	11,98	4,59	4,20	4,20	1,39	3,22	4,88
Калининградская	11,34	15,62	11,09	14,92	9,62	17,61	17,61	4,24	9,99	12,68
Костромская	23,26	25,81	23,50	26,10	14,39	13,08	13,08	3,40	7,95	26,75
Total	20,41	23,21	20,51	22,47	11,62	16,73	16,73	3,66	8,79	15,96

¹Признаки: Пр-1 – содержание хлорофилла-*a*; Пр-2 – содержание хлорофилла-*b*; Пр-3 – суммарное содержание хлорофилла; Пр-4 – содержание каротиноидов; Пр-5 – отношение содержания хлорофилла-*a*; к содержанию хлорофилла-*b*; Пр-6 – отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию каротиноидов; Пр-7 – отношение содержания хлорофилла-*b* к содержанию каротиноидов; Пр-8 – доля хлорофилла-*a*; Пр-9 – доля хлорофилла-*b*; Пр-10 – доля каротиноидов.

Статистическая надежность и достоверность полученных характеристик содержания и соотношения пигментов, участвующих в фотосинтезе, и подтвержденная существенность различий между представителями территориально разобщенных популяций ели европейской, размещенных в географических культурах в Нижегородской области, обусловили возможность определения взаимозависимости их фенотипических проявлений методами корреляционного и регрессионного анализа (табл. 2, 3, 4).

Содержание хлорофилла-а в хвое ели европейской в большей мере связано с суммарным количеством зеленых пигментов ($r = 0,984 \pm 0,009$) и с наличием хлорофилла-б ($r = 0,843 \pm 0,028$). Такая связь по шкале Чеддока оценивается как положительная достоверная и очень высокая в первом случае или высокая – во втором. Несколько меньшая ($r = 0,729 \pm 0,036$), но соответствующая тому же уровню тесноты связи, корреляция содержания хлорофилла-а обнаружена во взаимодействии с содержанием каротиноидов. С другими показателями пигментного состава хвои содержание хлорофилла-а коррелирует в меньшей степени, и оценки достоверности чаще (признаки 5, 7, 8, 9) не достигают критического уровня ($t_{05} = 1,967$; $t_{01} = 2,590$).

Содержание хлорофилла-б имело несколько иную картину формирования корреляций с другими признаками пигментного состава хвои (см. табл. 2) при сохранении ряда ключевых тенденций. Наибольшие оценки, как и по содержанию хлорофилла-а, наблю-

дались в отношении суммы зеленых пигментов ($r = 0,927 \pm 0,020$), что по шкале Чеддока рассматривается как положительная достоверная и очень высокая теснота связи. Взаимозависимость между содержанием хлорофилла-б и содержанием хлорофилла-а, сохранила свою величину и направленность ($r = 0,843 \pm 0,028$), равно как и качественную оценку тесноты связи по шкале Чеддока (высокая). По отношению к содержанию каротиноидов корреляция содержания хлорофилла-б меньше ($r = 0,614 \pm 0,041$), является положительной и в качественных оценках шкалы Чеддока соответствует заметному уровню тесноты связи. С рядом показателей пигментного состава хвои (признаки 5, 7, 8, 9) содержание хлорофилла-б имело умеренную тесноту связи: $r = -0,470 \pm 0,046$ – отношение содержания хлорофилла-а к содержанию хлорофилла-б; $r = 0,414 \pm 0,048$ – отношение содержания хлорофилла-б к содержанию каротиноидов; $r = -0,472 \pm 0,046$ – доля хлорофилла-а; $r = 0,472 \pm 0,046$ – доля хлорофилла-б.

Корреляции суммарного содержания хлорофилла-а и хлорофилла-б с отдельными оценками их содержания в хвое по вполне понятным причинам высоки ($r = 0,984 \pm 0,009$ и $r = 0,927 \pm 0,020$ соответственно) и в качественных оценках шкалы Чеддока отнесены к категории очень высокой тесноты связи. Высокой тесноте связи соответствует корреляция между суммарным содержанием двух форм хлорофилла и концентрацией каротиноидов ($r = 0,717 \pm 0,036$).

Таблица 2
Коэффициенты корреляции признаков пигментного состава хвои ели европейской в географических культурах¹

Оценки	Признаки пигментного состава хвои									
	Пр-1	Пр-2	Пр-3	Пр-4	Пр-5	Пр-6	Пр-7	Пр-8	Пр-9	Пр-10
Признак 1 – содержание хлорофилла-а (Пр-1)										
r	1,000	0,843	0,984	0,729	0,029	0,165	0,021	0,064	-0,064	-0,227
±mr	0,000	0,028	0,009	0,036	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,051
tr	9999,0	30,0	104,3	20,4	0,6	3,2	0,4	1,2	1,2	4,4
Признак 2 – содержание хлорофилла-б (Пр-2)										
r	0,843	1,000	0,927	0,614	-0,470	0,278	0,414	-0,472	0,472	-0,295
±mr	0,028	0,000	0,020	0,041	0,046	0,050	0,048	0,046	0,046	0,050
tr	30,0	9999,0	47,1	14,9	10,2	5,5	8,7	10,2	10,2	5,9
Признак 3 – суммарное содержание хлорофилла-а, и хлорофилла-б (Пр-3)										
r	0,984	0,927	1,000	0,717	-0,137	0,209	0,154	-0,114	0,114	-0,258
±mr	0,009	0,020	0,000	0,036	0,052	0,051	0,052	0,052	0,052	0,051
tr	104,3	47,1	9999,0	19,7	2,7	4,1	3,0	2,2	2,2	5,1
Признак 4 – содержание каротиноидов (Пр-4)										
r	0,729	0,614	0,717	1,000	-0,054	-0,443	-0,313	0,028	-0,028	0,478
±mr	0,036	0,041	0,036	0,000	0,052	0,047	0,050	0,052	0,052	0,046
tr	20,4	14,9	19,7	9999,0	1,0	9,5	6,3	0,5	0,5	10,4
Признак 5 – отношение содержания хлорофилла-а к содержанию хлорофилла-б (Пр-5)										
r	0,029	-0,470	-0,137	-0,054	1,000	-0,026	-0,510	0,956	-0,956	0,067
±mr	0,052	0,046	0,052	0,052	0,000	0,052	0,045	0,015	0,015	0,052
tr	0,6	10,2	2,7	1,0	9999,0	0,5	11,3	62,1	62,1	1,3
Признак 6 – отношение содержания хлорофилла-а к содержанию каротиноидов (Пр-6)										
r	0,165	0,278	0,209	-0,443	-0,026	1,000	0,795	-0,191	0,191	-0,849
±mr	0,052	0,050	0,051	0,047	0,052	0,000	0,032	0,051	0,051	0,028
tr	3,2	5,5	4,1	9,5	0,5	9999,0	25,1	3,7	3,7	30,8
Признак 7 – отношение содержания хлорофилла-б к содержанию каротиноидов (Пр-7)										
r	0,021	0,414	0,154	-0,313	-0,510	0,795	1,000	-0,687	0,687	-0,587
±mr	0,052	0,048	0,052	0,050	0,045	0,032	0,000	0,038	0,038	0,042
tr	0,4	8,7	3,0	6,3	11,3	25,1	9999,0	18,1	18,1	13,9

Окончание таблицы 2

Оценки	Признаки пигментного состава хвои									
	Пр-1	Пр-2	Пр-3	Пр-4	Пр-5	Пр-6	Пр-7	Пр-8	Пр-9	Пр-10
Признак 8 – доля содержание хлорофилла-а (Пр-8)										
r	0,064	-0,472	-0,114	0,028	0,956	-0,191	-0,687	1,000	-1,000	0,151
±mr	0,052	0,046	0,052	0,052	0,015	0,051	0,038	0,000	0,000	0,052
tr	1,2	10,2	2,2	0,5	62,1	3,7	18,1	9999,0	9999,0	2,9
Признак 9 – доля содержание хлорофилла-б (Пр-9)										
r	-0,064	0,472	0,114	-0,028	-0,956	0,191	0,687	-1,000	1,000	-0,151
±mr	0,052	0,046	0,052	0,052	0,015	0,051	0,038	0,000	0,000	0,052
tr	1,2	10,2	2,2	0,5	62,1	3,7	18,1	9999,0	9999,0	2,9
Признак 10 – доля содержание каротиноидов (Пр-10)										
r	-0,227	-0,295	-0,258	0,478	0,067	-0,849	-0,587	0,151	-0,151	1,000
±mr	0,051	0,050	0,051	0,046	0,052	0,028	0,042	0,052	0,052	0,000
tr	4,4	5,9	5,1	10,4	1,3	30,8	13,9	2,9	2,9	9999,0

¹ Показатели: r – парный коэффициент корреляции Пирсона; ±mr – ошибка коэффициента корреляции; tr – критерий достоверности коэффициента корреляции ($t_{05} = 1,967$; $t_{01} = 2,590$).

В перечисленных случаях связь положительна и достоверна, притом что в остальных она, сохраняя статистическую надежность, приобретала как положительную (признаки 6, 7, 9), так и отрицательную (признаки 5, 8) направленность.

Связь содержания каротиноидов с наличием и балансом хлорофилла-а и хлорофилла-б, а также с показателями их отношения к самим каротиноидам или же к оценкам доли участия пластидных пигментов в формировании их общего состава имела свои особенности (см. табл. 2). Наибольшая корреляция отмечена во взаимодействии с содержанием хлорофилла-а, ($r = 0,729 \pm 0,036$) и с суммарным содержанием хлорофилла-а и хлорофилла-б ($r = 0,717 \pm 0,36$) – связь положительная достоверная высокая. Зависимость от проявлений содержания хлорофилла-б при сохранении достоверности и направленности относилась к заметной ($r = 0,614 \pm 0,41$). Достоверная и умеренная по своей величине теснота связи зафиксирована в сопоставлении с динамикой отношения содержания хлорофилла-а к содержанию каротиноидов ($r = -0,443 \pm 0,47$), отношения содержания хлорофилла-б к содержанию каротиноидов ($r = -0,313 \pm 0,50$) и с долей каротиноидов в общем пигментном составе ($r = 0,478 \pm 0,46$). При этом в первом и втором случае связь отрицательная по направленности, а в третьем – положительная. Остальные оценки корреляций невелики и недостоверны.

В конечном итоге констатирована специфика корреляционной зависимости между рассматриваемыми характеристиками содержания и баланса пластидных пигментов в хвое ели европейской, что проявилось в разной величине и направленности расчётных коэффициентов корреляции. Основные закономерности в накоплении фотосинтезирующим аппаратом исследованных растений зеленых пигментов проявились в преимущественном росте количества хлорофилла-б по мере увеличения наличия хлорофилла-а и, как следствие, уменьшении количества первого при снижении концентрации второго. К общим тенденциям отнесена и тесная связь количества каждого из пигментов, обеспечивающих фотосинтез, с их суммарным содержанием в хвое. Чаше коэффициенты корреляции

были статистически надежными и достоверными (см. табл. 2), что определено достаточным количеством наблюдений (общее число учетов по каждому признаку составило 368 первичных единиц выборки) на фоне сложившегося уровня фенотипической дисперсии тестируемых показателей. В вариантах, в которых теснота связи невысока, коэффициенты корреляции обладали минимальными значениями и, как правило, утрачивали статистическую достоверность.

Регрессионный анализ, выполненный в отношении полного перечня задействованных в опыте характеристик пигментного состава хвои в обобщенных для всех популяций ели европейской массивах данных, позволил построить уравнения прямой линии, которые в целом, адекватно описывают зависимость изменений того или иного признака содержания и соотношения пластидных пигментов от характера варьирования других показателей их наличия и баланса (см. табл. 3).

Материалы табл. 3 подтверждают адекватность описания уравнениями вида $y = ax + b$ регрессионной взаимозависимости между хлорофиллом-а (признак 1) и хлорофиллом-б (признак 2): $y = 1,771x + 0,763$ ($R^2 = 0,7113$), между хлорофиллом-а (признак 1) и суммой содержания хлорофилла-а и хлорофилла-б (признак 3): $y = 0,683x + 0,068$ ($R^2 = 0,9674$), а также между хлорофиллом-а (признак 1) и общим количеством пигментов (признак 12): $y = 0,645x + 0,026$; ($R^2 = 0,9681$). По достигнутой величине показателей достоверности аппроксимации (R^2) и знаку перед коэффициентом аргумента функции это соответствует установленной корреляции между теми же характеристиками (см. табл. 2). С содержанием каротиноидов (признак 4) количество хлорофилла-а (признак 1) связано в несколько меньшей степени: $y = 5,323x + 0,999$ ($R^2 = 0,5312$), однако и в этом случае связь хорошо заметна. Удастся констатировать, что направленность линий тренда в указанных уравнениях, знаки и величины коэффициентов при аргументе (а) и свободных членах (b) близки, а сами они статистически достоверны.

При этом в отношении большинства других характеристик пигментного состава содержание хлорофилла-а ведет себя весьма индифферентно. Как следст-

вие, соответствующие оценки достоверности аппроксимации невелики и статистически не могут быть признаны надежными.

Зависимость содержания хлорофилла-*b* от других показателей пигментного состава хвои ели европейской в изучаемых географических культурах имела свои особенности при сохранении некоторых основных тенденций (см. табл. 4). Так, связь между содержанием хлорофилла-*b* (признак 2) и хлорофилла-*a*

(признак 1), что вполне понятно (см. табл. 2, 3), уверенно описывается уравнением $y = 0,402x + 0,037$ ($R^2 = 0,7113$). В наибольшей мере содержание хлорофилла-*b* (признак 2) зависело от наличия в хвое двух форм хлорофилла (признак 3) и от общего количества сосредоточенных в ней пластидных пигментов (признак 12), что отразилось в соответствующих уравнениях: $y = 0,306x - 0,067$ ($R^2 = 0,8584$) и $y = 0,287x - 0,077$ ($R^2 = 0,8462$).

Таблица 3

Регрессионная зависимость содержания хлорофилла-*a* от других показателей пигментного состава хвои ели в географических культурах^{1,2}

Признаки	Уравнения	R ²	t-статистика коэффициентов		Критерий Фишера	
			a	b	F _{оп}	F ₀₅
Признак-2	$y = 1,771x + 0,763$	0,7113	10,595	30,029	901,752	9E-101
Признак-3	$y = 0,6831x + 0,068$	0,9674	104,261	2,472	10870,352	3E-274
Признак-4	$y = 5,323x + 0,999$	0,5312	20,366	10,624	414,786	3,5E-62
Признак-5	$y = 0,059x + 2,724$	0,0009	0,561	10,460	414,786	0,57503
Признак-6	$y = 0,068x + 2,301$	0,0271	3,193	12,769	10,195	0,00153
Признак-7	$y = 0,010x + 2,835$	0,0005	0,407	32,192	0,166	0,68435
Признак-8	$y = 1,434x + 1,865$	0,0041	1,223	2,271	1,495	0,22218
Признак-9	$y = -1,444x + 3,287$	0,0041	-1,223	9,582	1,495	0,22218
Признак-10	$y = -10,228x + 3,689$	0,0513	-4,450	19,773	19,798	1,1E-05
Признак-11	$y = -7,935x + 3,555$	0,0493	-4,355	22,194	18,968	1,7E-05
Признак-12	$y = 0,645x + 0,026$	0,9681	105,468	0,934	11123,600	5E-276
Признак-13	$y = -0,024x + 3,957$	0,0041	-7,286	26,042	53,085	2E-12

¹Обозначения показателей: R² – показатель достоверности аппроксимации; a – коэффициент при аргументе уравнения; b – свободный член уравнения; t-статистика – расчетное значение критерия Стьюдента для оценки статистической надежности коэффициентов уравнения, при $t_{05} = 1,967$ и $t_{01} = 2,590$; F_{оп} – опытное значение критерия Фишера; F₀₅ – табличное значение критерия Фишера на 5-процентном уровне значимости.

²Обозначения признаков: Признак-1 – содержание хлорофилла-*a*; Признак-2 – содержание хлорофилла-*b*; Признак-3 – суммарное содержание хлорофилла; Признак-4 – содержание каротиноидов; Признак-5 – отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию хлорофилла-*b*; Признак-6 – отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию каротиноидов; Признак-7 – отношение содержания хлорофилла-*b* к содержанию каротиноидов; Признак-8 – доля хлорофилла-*a* в пигментном составе; Признак-9 – доля хлорофилла-*b* в пигментном составе; Признак-10 – доля каротиноидов в пигментном составе; Признак-11 – отношение содержания каротиноидов к сумме хлорофиллов; Признак-12 – суммарное содержание пигментов; Признак-13 – содержание сухого вещества.

Таблица 4

Регрессионная зависимость содержания хлорофилла-*b* от других показателей пигментного состава хвои ели в географических культурах¹

Признаки	Уравнения	R ²	t-статистика коэффициентов		Критерий Фишера	
			a	b	F _{оп}	F ₀₅
Признак-1	$y = 0,402x + 0,037$	0,7113	0,946	30,029	901,752	9E-101
Признак-3	$y = 0,306x - 0,067$	0,8584	47,107	-2,472	2219,114	2E-157
Признак-4	$y = 2,135x + 0,439$	0,3769	14,879	8,507	221,372	1,7E-39
Признак-5	$y = -0,454x + 2,298$	0,2209	-10,188	20,980	221,372	1,3E-21
Признак-6	$y = 0,055x + 0,732$	0,0775	5,545	8,762	30,743	5,7E-08
Признак-7	$y = 0,090x + 0,877$	0,1716	8,706	22,966	75,790	1,1E-16
Признак-8	$y = -5,056x + 4,728$	0,2230	-10,249	13,685	105,037	7,8E-22
Признак-9	$y = 5,092x - 0,284$	0,2230	10,249	-1,967	105,037	7,8E-22
Признак-10	$y = -6341x + 1,698$	0,0869	-5,903	19,475	34,851	8,1E-09
Признак-11	$y = -4,725x + 1,598$	0,0770	-5,527	21,258	30,543	6,2E-08
Признак-12	$y = 0,287x - 0,077$	0,8462	44,871	-2,661	2013,448	8E-151
Признак-13	$y = -0,007x + 1,485$	0,2230	-3,971	19,590	15,771	8,6E-05

¹В табл. 4 использованы обозначения признаков, как в табл. 3.

Как и в предыдущем этапе регрессионного анализа, установленная величина показателей достоверности аппроксимации (R^2) и знаки перед коэффициентами аргумента функции были адекватны ранее полученным оценкам корреляции между теми же признаками (см. табл. 2). С присутствием каротиноидов (признак 4) связь хлорофилла-*b* (признак 2) ощутимо меньше: $y = 2,135x + 0,439$ ($R^2 = 0,3769$). В отношении других признаков из числа введенных в схему анализа содержание хлорофилла-*b* (признак 2) выступало достаточно независимым показателем (см. табл. 4). Остальные уравнения, полученные в ходе проведения исследований по другим признакам, имели не столь высокую надежность, однако обнаруженные при анализе их структуры тенденции представляют определенный интерес. В целом, проведенный регрессионный анализ позволил получить результаты, в полной мере адекватные итогам вычисления корреляций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показатели содержания и соотношения пластидных пигментов в хвое представителей территориально удаленных друг от друга популяций ели европейской характеризуются межпопуляционной изменчивостью. Изменение количества пигментов происходит взаимосвязано. Образцы, характеризующиеся более высоким содержанием хлорофилла-*a*, имеют большее количество хлорофилла-*b* и общее количество зеленых пигментов, большее количество каротиноидов и, что вполне логично – большее общее суммарное содержание фотосинтезирующих пигментов. Корреляция признаков пигментного состава хвои представителей разных популяций ели европейской в географических культурах, созданных на территории Нижегородской области, является вполне устойчивым и статистически надежным показателем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н., Щербаков А. Ю. Пигментный состав хвои ели европейской (*Picea abies*) в географических культурах // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. XXXIX, № 3. С. 161–166.
2. Бессчетнова Н. Н. Специфика клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по содержанию основных пигментов в хвое // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири. Материалы III международного Интернет-семинара: г. Томск, 01–31 мая 2007 г. Томск: Томский государственный университет, 2007. С. 19–24.
3. Бессчетнова Н. Н. Содержание основных пигментов в хвое плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник, 2010. № 6. (75) С. 4–10.
4. Бессчетнова Н. Н. Пигментный состав хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной в архивах клонов // Труды факультета лесного хозяйства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии : сборник научных статей. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия. 2011. № 1 (1). С. 56–65.
5. Бессчетнова Н. Н. Индекс неидентичности в селекционной оценке плюсовых деревьев // Вестник

Саратовского государственного аграрного университета им. Н. И. Вавилова. Естественные, технические, экономические науки. 2013. № 07. С. 11–15.

6. Бессчетнова Н. Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Эффективность отбора плюсовых деревьев : монография. Нижний Новгород : Нижегород. гос. сельскохозяй. академия, 2016. 464 с.
7. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Морфометрия и физиология хвои плюсовых деревьев : монография. Нижний Новгород : Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. 368 с.
8. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Ершов П. В. Генотипическая обусловленность пигментного состава хвои плюсовых деревьев ели европейской // Лесной журнал. 2019. № 1. С. 63–76. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.63.
9. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Храмова О. Ю., Дорожкина Л. А. Стимулирующий эффект препарата ЭкоФус в предпосевной обработке семян ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.) // Агрохимический вестник. 2017. № 2. С. 41–44.
10. Бессчетнова Н. Н., Есичева Н. А. Оценка фотосинтетической способности хвои клонов плюсовых деревьев сосны лапландской (*Pinus silvestris* L. Subsp. *Larponica* Fries.) в условиях Нижегородской // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии : матер. междунар. науч.-практ. конференции: Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под общ. ред. Н. Н. Бессчетновой. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА, 2019. С. 123–131.
11. Бессчетнова Н. Н., Котынова М. Ю., Кентбаев Е. Ж., Кентбаева Б. А. Пигментный состав хвои туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в озеленительных посадках г. Нижнего Новгорода // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии: Материалы международной научно-практической конференции: Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под общ. ред. Н. Н. Бессчетновой. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА, 2019. С. 132–138.
12. Ершов П. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Пигментный состав хвои плюсовых деревьев ели европейской // Хвойные бореальной зоны. 2017. Том XXXVI, № 3-4. С. 29–37.
13. Ершов П. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Многомерная оценка плюсовых деревьев ели европейской (*Picea abies*) по пигментному составу хвои // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 233. С. 78–99.
14. Есичев А. О., Бессчетнова Н. Н. Изменчивость пигментного состава хвои клонов плюсовых деревьев лиственницы Сукачева (*L. Sukaczewii* Djil. spec. nov.) в ассортименте лесосеменных плантаций на примере Нижегородской области // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии : материалы международной научно-практической конференции: Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под общ. ред. Н. Н. Бессчетновой. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА, 2019. С. 156–164.

15. Лугинина Л. И., Бессчетнов В. П. Пигментация хвои семян ели обыкновенной (*Picea abies* L.) с закрытой корневой системой // Актуальные проблемы лесного комплекса : материалы XVIII международной научно-технической интернет-конференции «Лес-2017»: Брянск, 1–30 мая 2017 г. / под общей редакцией Е. А. Памфилова : сборник научных трудов. Выпуск 47. Брянск : БГИТУ, 2017. С. 131–137.

16. Самойлова Л. И., Бессчетнов В. П. Содержание пигментов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), выращенной по различным технологиям в Республике Татарстан // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии : материалы междунар. науч.-практ. конференции: Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под общ. ред. Н. Н. Бессчетновой. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА, 2019. С. 212–219.

17. Alexandrov A. Structure of the populations and growth of the progeny of representative populations of *Picea abies* (L.) Karsten in the Rila Mountain // Forest Science. 2006. Vol. 55, Is. 60. Pp. 190–191.

18. Čermák P., Rybníček M., Žid T., Andreassen K., Børja I., Kolář T. Impact of climate change on growth dynamics of Norway spruce in south-eastern Norway // *Silva Fennica*. 2017. Vol. 51, No. 2, article id 1781. Pp. 1–16. DOI: 10.14214/sf.1781.

19. Egbäck S., Nilsson U., Nyström K., Högborg K.-A., Fahlvik N. Modeling early height growth in trials of genetically improved Norway spruce and Scots pine in southern Sweden // *Silva Fennica*. 2017. Vol. 51, No. 3, article id 5662. Pp. 1–19. DOI: 10.14214/sf.5662.

20. Fløistad I. S., Eldhuset T. D. Effect of photoperiod and fertilization on shoot and fine root growth in *Picea abies* seedlings // *Silva Fennica*. 2017. Vol. 51, No. 1, article id 1704. Pp. 1–12. DOI: 10.14214/sf.1704.

REFERENCES

1. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N., Shcherbakov A. Yu. Pigmentnyj sostav hvoi eli evropejskoj (*Picea abies*) v geograficheskij kul'turach // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2021. T. XXXIX, № 3. S. 161–166.

2. Besschetnova N. N. Specifika klonov plyusovyh derev'ev sosny obyknovnojj (*Pinus sylvestris* L.) po sodержaniyu osnovnyh pigmentov v hvoe // *Lesnoe hozyajstvo i zelenoe stroitel'stvo v Zapadnoj Sibiri. Materialy III mezhdunarodnogo Internet-seminara: g. Tomsk, 01–31 maya 2007 g.* Tomsk : Tomskij gosudarstvennyj universitet, 2007. S. 19–24.

3. Besschetnova N. N. Soderzhanie osnovnyh pigmentov v hvoe plyusovyh derev'ev sosny obyknovnojj // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoj vestnik*, 2010. № 6. (75) S. 4–10.

4. Besschetnova N. N. Pigmentnyj sostav hvoi plyusovyh derev'ev sosny obyknovnojj v arhivah klonov // *Trudy fakul'teta lesnogo hozyajstva Nizhegorodskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii : sbornik nauchnyh statej*. Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya. 2011. № 1 (1). С. 56–65.

5. Besschetnova N. N. Indeks neidentichnosti v selekcionnoj ocenke plyusovyh derev'ev // *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. N. I. Vavilova. Estestvennye, tekhnicheskie, ekonomicheskie nauki*. 2013. № 07. S. 11–15.

6. Besschetnova N. N. Sosna obyknovennaya (*Pinus sylvestris* L.). Effektivnost' otbora plyusovyh derev'ev : monografiya. Nizhnij Novgorod : Nizhegorod. gos. sel'skhoz. akademiya, 2016. 464 s.

7. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Sosna obyknovennaya (*Pinus sylvestris* L.). Morfometriya I fiziologiya hvoi plyusovyh derev'ev : monografiya. Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2014. 368 s.

8. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Ershov P. V. Genotipicheskaya obuslovlennost' pigmentnogo sostava hvoi plyusovyh derev'ev eli evropejskoj // *Lesnoj zhurnal*. 2019. № 1. S. 63–76. (Izv. vyssh. ucheb. zavedenij). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.63.

9. O. Yu., Dorozhkina L. A. Stimuliruyushchij effect preparata EkoFus v predposevnoj obrabotke semyan eli evropejskoj (*Picea abies* (L.) H. Karst.) // *Agrohimičeskij vestnik*. 2017. № 2. S. 41–44.

10. Besschetnova N. N., Esicheva N. A. Ocenka fotosinteticheskoy sposobnosti hvoi klonov plyusovyh derev'ev sosny laplandskoj (*Pinus silvestris* L. Subsp. *Lapponica* Fries.) v usloviyah Nizhegorodskoj // *Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo hozyajstva. Lesnoe hozyajstvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii : mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konferencii: Nizhnij Novgorod, 26 sentyabrya 2019 g.* / pod obshch. red. N. N. Besschetnovoj. Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskaya GSKHA, 2019. S. 123–131.

11. Besschetnova N. N., Kotynova M. Yu., Kentbaev E. Zh., Kentbaeva B. A. Pigmentnyj sostav hvoi tui zapadnoj (*Thuja occidentalis* L.) v ozelenitel'nyh posadkah g. Nizhnego Novgoroda // *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 obshch. red. N. N. Besschetnovoj. Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskaya GSKHA, 2019. S. 132–138.

12. Ershov P. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Pigmentnyj sostav hvoi plyusovyh derev'ev eli evropejskoj // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2017. Tom XXXVI, № 3-4. S. 29–37.

13. Ershov P. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Mnogomernaya ocenka plyusovyh derev'ev eli evropejskoj (*Picea abies*) po pigmentnomu sostavu hvoi // *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2018. Vyp. 233. S. 78–99.

14. Esichev A. O., Besschetnova N. N. Izmenchivost' pigmentnogo sostava hvoi klonov plyusovyh derev'ev listvennicy Sukacheva (*L. Sukaczewii* Djil. spec. nov.) v assortimente lesosemennyh plantacij na primere Nizhegorodskoj oblasti // *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 obshch.

red. N. N. Besschetnovoj. Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskaya GSKHA, 2019. S. 156–164.

15. Luginina L. I., Besschetnov V. P. Pigmentaciya hvoi seyancev eli obyknovennoj (*Picea abies* L.) s zakrytoj kornevoj sistemoj // Aktual'nye problem lesnogo kompleksa : materialy XVIII mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy internet-konferencii "Les2017": Bryansk, 1–30 maya 2017 g. / pod obshchej redakciej E. A. Pamfilova : sbornik nauchnyh trudov. Vypusk 47. Bryansk : BGITU, 2017. S. 131–137.

16. Samojlova L. I., Besschetnov V. P. Soderzhanie pigmentov v hvoe sosny obyknovennoj (*Pinus sylvestris* L.), vyrashchennoj po razlichnym tekhnologiyam v Respublike Tatarstan // Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo hozyajstva. Lesnoe hozyajstvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii : materialy mezhdunar. nauch.-prakt. Konferencii : Nizhnij Novgorod, 26 sentyabrya 2019 g. / pod obshch. red. N. N. Besschetnovoj. Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskaya GSKHA, 2019. S. 212–219.

17. Alexandrov A. Structure of the populations and growth of the progeny of representative populations of

Picea abies (L.) Karsten in the Rila Mountain // Forest Science. 2006. Vol. 55, Is. 60. Pp. 190–191.

18. Čermák P., Rybníček M., Žid T., Andreassen K., Børja I., Kolář T. Impact of climate change on growth dynamics of Norway spruce in south-eastern Norway // Silva Fennica. 2017. Vol. 51, No. 2, article id 1781. Pp. 1–16. DOI: 10.14214/sf.1781.

19. Egbäck S., Nilsson U., Nyström K., Högberg K.-A., Fahlvik N. Modeling early height growth in trials of genetically improved Norway spruce and Scots pine in southern Sweden // Silva Fennica. 2017. Vol. 51, No. 3, article id 5662. Pp. 1–19. DOI: 10.14214/sf.5662.

20. Fløistad I. S., Eldhuset T. D. Effect of photoperiod and fertilization on shoot and fine root growth in *Picea abies* seedlings // Silva Fennica. 2017. Vol. 51, No. 1, article id 1704. Pp. 1–12. DOI: 10.14214/sf.1704.

© Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Орнатский А. Н., Щербаков А. Ю., 2022

Поступила в редакцию 10.10.2021
Принята к печати 25.01.2022

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОПИСАНИЯ ГРАНИЦ ЛЕСНОГО ФОНДА
(на примере города Красноярска)**

А. С. Волкова¹, Е. А. Ануев¹, И. Г. Милашкин²

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

²АО «ТГИ «Красноярскгражданпроект»
Российская Федерация, 660025, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 126
E-mail: acvolkova19@gmail.com

В статье рассматривается развитие нормативно-правовой базы кадастрового учета границ лесного фонда. Приведены основные проблемы развития картографической базы по территориальному планированию населенных пунктов в части леса на примере города Красноярска. Приведен обзорный материал существующей нормативно-правовой базы, выявлены противоречия настоящего законодательства в отношении лесных участков. Также в статье представлены наглядно примеры существующей проблематики, на примере города Красноярска. В заключительной части представляется некоторый, возможный ряд методических рекомендаций по решению земельных вопросов в отношении границ лесных участков в границах городской черты.

Ключевые слова: лесной фонд, лесоустройство, описание границ, картографирование.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 1, P. 18–26

**ACTUAL QUESTION DESCRIPTIONS THE BOUNDARIES OF FOREST
(on the example of Krasnoyarsk)**

A. S. Volkova, E. A. Anyev, I. G. Milashkin

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

²JSC “TGI “Krasnoyarskgrazhdanproekt”
126, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation
E-mail: acvolkova19@gmail.com

The article deals with the development of the legal framework of cadastral registration of forest boundaries. The main problems of development of cartographic base on territorial planning of settlements in part of the forest on the example of the city Krasnoyarsk. An overview of the existing legal framework is provided, and contradictions of this legislation in relation to forest areas are identified. The article also provides illustrative examples of existing problems, using the example of the city Krasnoyarsk. In the final part, some possible set of methodological recommendations for solving land issues in relation to the boundaries of forest areas within the city limits is presented.

Keywords: forest fund, forest inventory, description of the boundaries, cartography.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с современными тенденциями к развитию нормативно-правовой базы регулирования земельных отношений, все движимые и не движимые объекты, а также площадные территории должны иметь описание границ и пройти государственный регистрационный контроль.

В тоже самое время если объекты права – земельные участки приведены к определённом порядку и учёту с определённой точность, то материалы лесоустройства представляют из себя – искажённую информацию, так как к точности описания границ нет единых требований, а также многие материалы лесоустройства, которые были выполнены еще в 60-х годах не обновлялись по настоящий момент (т. е. не все материалы обновлены и переведены в электронный общедоступный вид).

Отсюда и начинают возникать проблемы, особенно в части учета земель лесного фонда, так как материалы лесоустройства, регламенты лесничеств, таксационные описания и другие материалы – не предусматривают обязательного сопоставления с материалами о кадастровом делении территории. Также лесным кодексом представляется возможность получения лесных участков без регистрации их на кадастре.

Таким образом, получают разного рода расхождения с электронными системами картографирования информации. В последствии появляются такие проблемные зоны как на территории Муниципального образования город Красноярск, где электронные сведения о границах земель лесного фонда накладываются на участки земель населенного пункта в части размещения существующих объектов капитального строительства (на местах где отмечен лес, как таково-

го леса уже давно нет), линейных объектов капитального строительства таких как линии электропередач и дорог.

Разумеется, причина таких результатов не связана с наличием или отсутствием опытных кадров в сфере управления, больше это связано в отсутствие контакта между сферами регулирования деятельности. К этому относится и то, что материалы лесостроительства имеют устаревшую информацию и их необходимо обновлять, вплоть до инвентаризации всех парков и скверов на территории г. Красноярска.

В настоящее время нет единых условий к предоставлению точных материалов, описывающих границы лесных участков, информация о земле в части лесного фонда требует от правовой базы приведения материалов лесостроительства в соответствие с существующим состоянием.

Как показывает реальная практика по развитию картографической базы территориального планирования, что настоящие материалы по лесостроительству территории в полной мере не удовлетворяют даже самих лесопользователей. Ряд факторов влияющих на состояние лесных территорий, таких как естественный ход роста древостоев, изменения экосистемы под воздействием негативных природных и антропогенных факторов таких как пожары, рубка, выбросы от предприятий и автотранспорта, требуют от картографических материалов (особенно на бумажном носителе) обновления

Многие авторы разбирающие подобные темы акцентируют внимание, на статье 68 Лесного кодекса Российской Федерации [3] в части лесостроительства, но в разной редакции хотелось бы отметить данную часть в редакции от 27.12.2018 г. в качестве напоминания, что задачи лесостроительства включают в себя:

- проектирование лесничеств (*установление площади, определение квартальной сетки и установление границ*);
- проектирование эксплуатационных лесов, защитных лесов, резервных лесов, а также особо защитных участков лесов;
- закрепление на местности местоположения границ лесничеств, участков лесничеств, лесных участков и земель, на которых расположены эксплуатационные леса, защитные леса, резервные леса, особо защитные участки лесов;
- таксацию лесов;
- проектирование мероприятий по охране, защите, воспроизводству лесов.

Целью настоящей работы является анализ существующего правового поля в сфере описания границ населенных территорий и лесных участков, на основе утвержденного генерального плана города Красноярска, выявление противоречий и возможных решений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлась лесорастительная часть территории г. Красноярска и пригорода.

Материалами для исследования послужили данные публичной кадастровой карты, карты категорий земли, ортофотоплан территории и планшеты лесни-

цеств (Базайское участковое лесничество и Городское участковое лесничество) в границах Красноярска.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Общие проблемы лесостроительства. Красноярск обладает уникальными по своей природе ландшафтами, озелененные территории города, представлены лесными участками с такими преобладающими породами деревьев как – береза, сосна, лиственница, а также не редкими экземплярами на территории города представлены липа, осина и ива. Основными легкими в границах города являются Базайское участковое лесничество и Городское участковое лесничество. Пригородная зона представлена лесными массивами, условно разделенными на шесть кластеров общей площадью 348,314 тыс. га в радиусе 50 км вокруг города, в состав которых входит порядка 515 зарегистрированных кадастровых участка лесного фонда. Также стоит отметить, что лесорастительная зона Красноярска включая его пригородную зону относится к Среднесибирскому подтаёжно-лесостепному району (территория с низкой степенью экологической напряженности, район представлен бесценными лесными комплексами).

Однако вопросы лесостроительства уже много лет создают проблемы в описании границ территориальных зон. Выделим основные пункты по направлению описания границ существующего лесного фонда:

1. Площадь лесных участков в едином государственном реестре недвижимости (ЕГРН) превышает площадь лесных участков в государственном лесном реестре (ГЛР) поскольку направляемые сведения на регистрацию по упрощенному порядку дублировались ввиду отсутствия координат характерных точек границ;

2. Сведения о границах лесничеств формировались по разным картографическим материалам, в том числе и 60-х годов в связи с чем границы лесничеств не соответствуют действующей ситуации на местности на сегодняшний день, но даже если материал соответствует действительности, то он не оцифрован и применять его графически (при разработке генерального плана) не целесообразно из-за отсутствия координатного описания, иными словами вектора на территорию. То есть фактически планшет — это картинка, которая выступает в качестве подосновы со сдвигом в масштабе, в разных ситуациях сдвиг получается разный где-то до 20 метров от реального, а где-то и до 200 метров.

3. Отсутствует доступ к уже оцифрованной электронной базе материалов лесостроительства (ответы на официальные запросы данных можно ожидать до года).

4. Лесная политика в настоящий момент не согласованная, существует проблема разночтение правовых документов, отсутствие единых требований к точности описания границы;

5. Процедура постановки на учет участков леса, не совершенная;

6. Существует вопрос нехватки квалифицированных кадров (повешение ответственности за предоставляемую услугу).

Также, в общих чертах к актуальным проблемам лесоустройства стоит отнести такие проблемы как:

– незаконные рубки, истощение земель лесного фонда и захват новых территорий в экономических целях в том числе участков леса защитного назначения, нелегальная заготовка ценных пород древесины, лесные пожары по вине лесопользователей, низкая гражданская позиция (для данного ряда проблем необходимо отдельное исследование, в настоящем обсудим проблему описания границ существующего леса).

На сегодняшний день проводятся работы по исключению задублированных сведений и корректировки границ лесных участков и лесничеств по границам предоставленных до 2016 года земельных участков в рамках исполнения «Федеральный закон 280» (так называемая лесная амнистия). Основная цель данного закона заключается в том, чтобы предоставить приоритет данным ЕГРН в части категорий земель над существующей информационной базой лесного реестра (лесного плана). Это значит, что если в полученной выписке из ЕГРН прописано, что границы выбранного участка не являются границами лесного участка, то данная информация значителен достоверной.

Также данный закон направлен на выведение из состава земель лесного фонда и лесопарковых зеленых поясов участков, ранее застроенных (для установления категории подходящей для хозяйственного использования). Но распространяется данный закон только на те участки, которые были зарегистрированы до 08.08.2008 года – для садоводства, огородничества и личного подсобного хозяйства) и до 01.01.2016 года – для объектов капитального строительства, не рассчитанных для потребностей лесопользователей и соответственно зарегистрировавших объект недвижимости до 2016 года. Для всех остальных участков, не попавших не под один из критериев, закон подразумевает исключение (в судебном порядке) хозяйственной деятельности в пользу категории земель лесного фонда.

Хотелось бы отметить интересное, по нашему мнению, решение проблемы, которое представила в своем докладе «об особенностях учета лесных участков на территории Ленинградской области» заместитель директора Ленинградской кадастровой палаты Галина Мишуро на всероссийской конференции «Выполнение кадастровых работ на землях лесного фонда. Проблемы и пути решения», состоявшейся в Москве.

В своем докладе Галина Мишуро рассказала об уникальной практике кадастрового учета лесных участков, осуществляемой в Ленинградской области. Объектами лесных аукционов на территории 47-го региона являются не самостоятельные земельные участки, а части земельных участков. Соответственно, регистрация и кадастровый учет лесных земель осуществляется в отношении не самостоятельных объектов, а именно частей земельных участков. Такой подход позволил избежать Ленинградской области проблем, коснувшихся остальных субъектов Российской Федерации: несоответствия данных государственного кадастра недвижимости (ГКН) и Единого государственного реестра прав на недвижимое имущество и сделок с ним (ЕГРП), а также дублирования сведений в ГКН [7].

Существующее правовое регулирование (обзор противоречий и недостатков в современной нормативно-правовой базе)

С юридической точки зрения существует определённые противоречия между отдельными законами Российской Федерации:

1. По существующему законодательству граница населённого пункта не может включать в себя границы лесничеств и даже иметь точек пересечения с ними (Федерального закона № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости» п. 2: «2. Орган регистрации прав в срок не позднее пятнадцати рабочих дней с даты поступления в порядке межведомственного информационного взаимодействия документов (содержащихся в них сведений), необходимых для внесения сведений в Единый государственный реестр недвижимости, направляет уведомление о невозможности внесения соответствующих сведений в Единый государственный реестр недвижимости при наличии следующих оснований: 4) границы лесничества, сведения о местоположении которых содержатся в поступивших документах, пересекают границы населённого пункта, территориальной зоны, за исключением случая, если выявлена воспроизведенная в Едином государственном реестре недвижимости ошибка в определении местоположения границ таких населённого пункта, территориальной зоны в документах, на основании которых сведения вносились в Единый государственный реестр недвижимости [4]» – что напрямую указывает на то, что границы населённого пункта не могут пересекать лесничества.

2. По земельному законодательству (ст. 7 Земельного кодекса) земельные участки могут иметь только одну категорию земель. В данном случае либо земли населённого пункта, либо земли лесного фонда [2].

3. Землями населённого пункта являются земли внутри границ населённого пункта. Перевод любых категорий земель в земли населённого определяется установлением границ населённого пункта п. 2 ст. 83 и п.1 ст. 84 ЗК РФ и п.1 ст. 8 Федерального закона от 21.12.2004 № 172-ФЗ «О переводе земель или земельных участков из одной категории в другую» (далее – Закон № 172-ФЗ). То есть по факту если земельный участок находится внутри границ населённого пункта, то автоматически у него категория земли населённых пунктов [5].

4. Закон о переводе земель из категории в категорию (№ 172-ФЗ) начал действовать с 21 декабря 2004 года. Границы населённых пунктов во многих случаях появились раньше вступления в силу Земельного кодекса, поэтому установление черты населённого пункта для перевода в земли населённого пункта может быть оспорено.

5. В соответствии с Градостроительным кодексом (ст. 24 ГрК РФ) и законами о местном самоуправлении (ст. 12 ФЗ № 131 от 06.10.2003 г.) границы населённого пункта определяются и устанавливаются генеральным планом, который утверждается местными органами самоуправления [1].

6. Нормы законодательства о переводе лесных земель в нелесные (№ 172-ФЗ и Лесной кодекс) предусматривают что данную процедуру осуществляет

уполномоченный орган Правительства Российской Федерации [3].

Выводы: в настоящее время существуют противоречия в федеральном законодательстве в том, что границы лесного фонда определяет Правительство РФ, а границы населённых пунктов определяют органы местного самоуправления. И на настоящий момент существуют установленные границы и населённых пунктов, и лесного фонда с пересечением между собой. Но существуют письма и решения высшего арбитражного суда по разрешению спорных вопросов.

1. В соответствии с Постановлением Президиума ВАС РФ от 02.09.2008 № 16490/07 по делу № А76-738/2007-22-204:

а. Если установление границы произошло до января 2005 года, то такие земли не могут считаться землями населённого пункта автоматически.

б. Нормы Земельного кодекса (ст. 83, 84) не говорят, о том, что для земель внутри границы населённого пункта автоматически установлена категория земель населённых пунктов.

Таким образом, по решению суда: если граница населённого пункта была установлена до января 2005 года, то земли лесного фонда внутри этих границ всё равно являются землями лесного фонда, то есть участки внутри границ населённого пункта имеет категорию земли лесного фонда. Перевод таких участков в земли населённых пунктов необходимо согласовать с Правительством РФ.

2. Если граница населённого пункта установлена после января 2005 года, но до августа 2017 года, то на основании п. 3 ст. 83, 84 Земельного кодекса РФ включение земельных участков в границы населённых пунктов не влечёт за собой прекращение прав собственников земельных участков, землепользователей, землевладельцев и арендаторов земельных участков.

а. Перевод земель лесного фонда в другую категорию должен происходить с согласия собственника. Собственником является Рослесхоз.

б. По земельному и градостроительному законодательству, действующему в этот период согласование с Рослесхозом не являлось обязательным пунктом, поэтому было утверждено большое количество генеральных планов населённых пунктов.

в. Все эти генеральные планы и соответственно могут быть оспорены в части пересечения интересов лесников и администраций муниципалитетов (что и произошло с частью земель г. Красноярска) и по судебному решению категория земель может быть изменена с земель населённого пункта на земли лесного фонда.

3. Федеральный закон от 29 июля 2017 г. № 280-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в целях устранения противоречий в сведениях государственных реестров и установления принадлежности земельного участка к определенной категории земель» внёс изменения в Градостроительный кодекс РФ и обязал согласовывать границы населённых пунктов с Рослесхозом [6]. Поэтому если границы населённых пунктов, утверждены после этой даты и включали в себя земли лесного фонда и согласованы с Рослесхозом, то такие

земли считаются землями с категорией – земли населённого пункта.

В настоящее время для территории города Красноярска существует следующая судебная практика: Определения Судебной коллегии по административным делам Верховного Суда Российской Федерации от 04.10.2018 № 53-АПГ18-12 «Об отмене решения Красноярского краевого суда от 23.04.2018 и признании частично недействующим решения Красноярского городского Совета депутатов от 13.03.2015 № 7-107 «О Генеральном плане городского округа города Красноярск и о признании утратившими силу отдельных решений Красноярского городского Совета» и иными требованиями законодательства.

Согласно данным «НТИЦ «КрасГИП» по лесоустройству, на территории города Красноярска существуют земельные участки лесного фонда при действующем в тоже самое время генеральном плане, утверждённым решением Красноярского городского Совета депутатов от 13.03.2015 № 7-107 «О Генеральном плане городского округа города Красноярск и о признании утратившими силу отдельных решений Красноярского городского Совета». Далее рассмотрим наглядные примеры расхождения информации.

Территориальные зоны градостроительного использования обозначены буквенными символами, из которых СП-1 (зона кладбищ), СП-3 (зоны режимных объектов), (П-3 (коммунально-складские зоны), З-1 (зоны зеленых насаждений общего пользования), З-2 (зоны иных зелёных насаждений), Р-3 (зоны городской рекреации), Р-1 (зоны рекреационные лесопарковые), Ж-1 (зоны застройки индивидуальными жилыми домами (1-3 эт.)), Ж-4 (зоны застройки многоэтажными жилыми домами (9 эт. и выше)).

На фрагменте территории кладбища «Бадалык» можем увидеть не соответствие границ лесного фонда по материалам лесоустройства с актуальной информацией о границах территориальных зон (по целевому назначению) и земельных участков поставленный на учет.

Далее в подтверждение выше сказанного на рис. 1.2 представлен тот же фрагмент территории, но по материалам публичной кадастровой карты, где представлены категории земель (оранжевый цвет – земли населённого пункта, зелёный – земли лесного фонда).

Рассмотрим несколько вариантов, когда материалы лесоустройства не соответствуют данным электронного портала федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (публичная кадастровая карта) (рис. 2, рис. 2.1).

Территориальные зоны градостроительного использования обозначены буквенными символами, из которых П-3 (коммунально-складские зоны), З-1 (зоны зеленых насаждений общего пользования), Р-1 (зоны рекреационные лесопарковые), Р-2 (зоны территорий спортивного назначения), Р-3 (зоны городской рекреации), Р-5 (зоны объектов физической культуры и спорта), Ж-1 (зоны застройки индивидуальными жилыми домами (1-3 эт.)), Ж-4 (зоны застройки многоэтажными жилыми домами (9 эт. и выше)), О-1 (зоны делового, общественного и коммерческого назначения, объектов культуры), О-3 (зоны объектов здравоохранения), МФ (многофункциональные зоны).

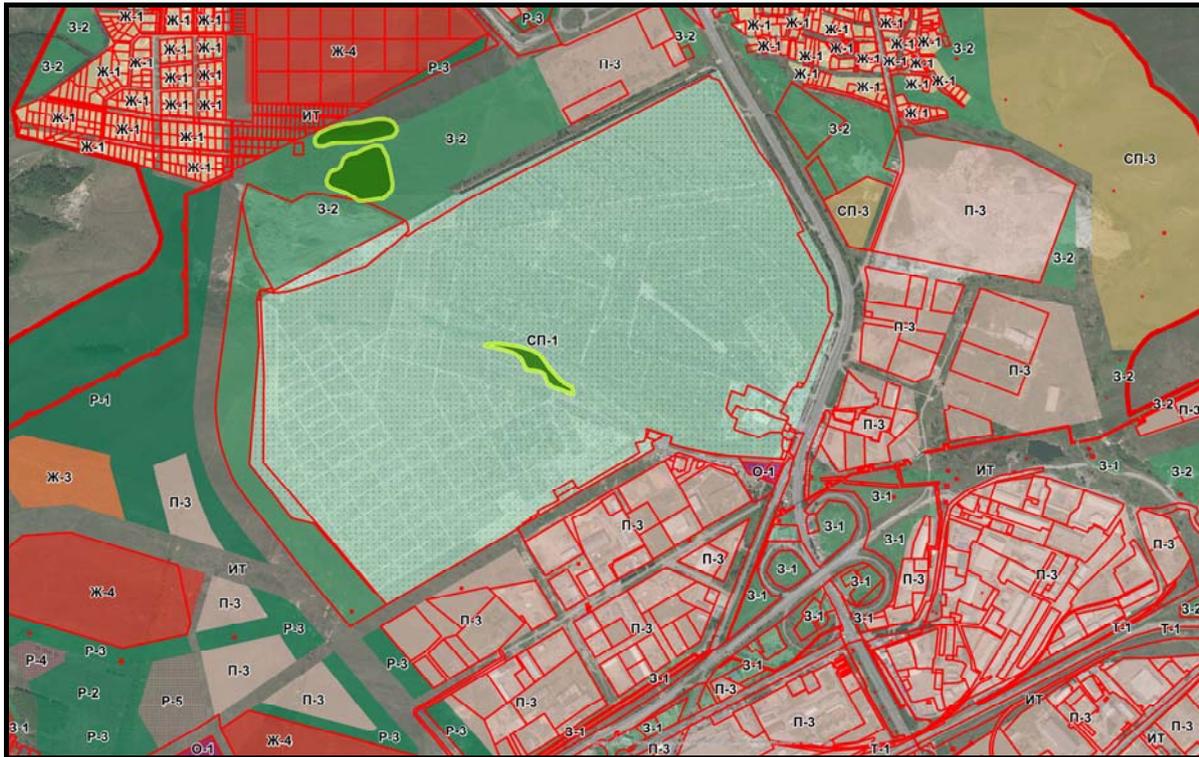


Рис. 1. Фрагмент территории кладбища «Бадалык»:

- границы города Красноярск;
- границы земельных участков, поставленных на ГКН;
- границы лесного фонда (по материалам лесоустройства)



Рис. 1.2. Фрагмент территория кладбища «Бадалык» (публичная кадастровая карта):

на фрагменте представлены учтенные участки публично-правовых образований г. Красноярск. В настоящее время на данном фрагменте категория земель лесного фонда отсутствует (материалы лесоустройства вступают в противоречие с существующей ситуацией)



Рис. 3. Фрагмент территории СНТ «Ветеран», Октябрьский район:
— границы города Красноярска; — границы земельных участков, поставленных на ГКН;
— границы лесного фонда (по материалам лесоустройства)

Примечание: данный пример является самым спорным и противоречивым фрагментом на территории города Красноярска



Рис. 3.1. Фрагмент территории СНТ «Ветеран», Октябрьский район (публичная кадастровая карта)



Рис. 4. Фрагмент территории поселка «Удачный»:

- границы города Красноярск;
- границы земельных участков, поставленных на ГКН;
- границы лесного фонда (по материалам лесоустройства)

Примечание: на фрагменте представлена часть дачного массива, где по материалам лесного реестра располагаются земли лесного фонда, но по данным из ЕГРН, объекты недвижимого имущества оформлены до 2011 года, следовательно, по «280-ФЗ» участки и объекты недвижимого имущества необходимо исключить из границ лесного фонда.

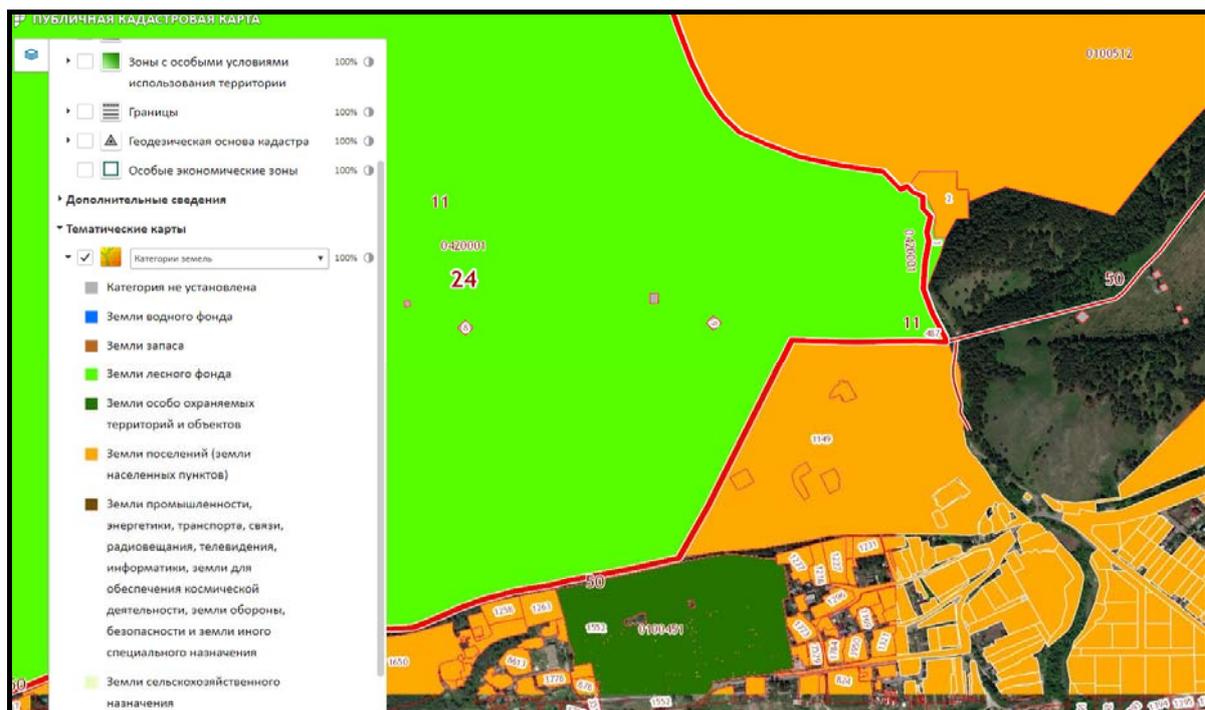


Рис. 4.1. Фрагмент территории поселка «Удачный» (публичная кадастровая карта)

Подробную расшифровку всех территориальных зон по условным обозначениям и видам разрешенного и условно разрешенного использования можно найти в Правилах землепользования и застройки городского округа город Красноярск (с изм. от 18.06.2019 г.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОД

На территории города Красноярска находятся земельные участки, которые в одно и тоже время по материалам лесоустройства являются землями лесного фонда, а по материалам утвержденного генерального плана и публичной кадастровой карте землями населенного пункта.

По решению суда генеральный план города Красноярска отменён в части несоответствия материалам лесоустройства.

Для приведения материалов генерального плана в соответствие с законодательством необходимо проведение комплекса работ, а именно:

- уточнение границ лесного фонда;
- внесение изменений в генеральный план г. Красноярска;
- в соответствии с частью 20 статьи 24 Градостроительного кодекса РФ создание и работа специальной комиссии в целях определения при подготовке проекта генерального плана поселения или городского округа границ населенных пунктов, образуемых из лесных поселков или военных городков, а также определения местоположения границ земельных участков, на которых расположены объекты недвижимого имущества, на которые возникли права граждан и юридических лиц, в целях их перевода из земель лесного фонда в земли населенных пунктов по решению органа местного самоуправления поселения или городского округа.

В дальнейшем органы местного самоуправления могут ходатайствовать перед Рослесхозом о переводе земель лесного фонда в иные категории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 24.04.2020) [Электронный ресурс] // СПС Консультант Плюс. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/.
2. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 18.03.2020) [Электронный ресурс] // СПС Консультант Плюс. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/.
3. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (в ред. от 03.08.2018) [Электронный ресурс] // СПС Консультант Плюс. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/.
4. Федеральный закон «О государственной регистрации недвижимости» от 13.07.2015 № 218-ФЗ (в ред. от 02.08.2019) [Электронный ресурс] // СПС Консультант Плюс. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_AW_182661/.

5. Федеральный закон «О переводе земель или земельных участков из одной категории в другую» от 21.12.2004 № 172-ФЗ (в ред. от 01.05.2019) [Электронный ресурс] // СПС Консультант Плюс. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_AW_50874/.

6. Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в целях устранения противоречий в сведениях государственных реестров и установления принадлежности земельного участка к определенной категории земель» от 29.07.2017 № 280-ФЗ [Электронный ресурс] // СПС Консультант Плюс. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221238/.

7. Гусева О. Н. Актуальные проблемы кадастрового учета лесных участков // Научное сообщество студентов XXI столетия // Общественные науки: сб. ст. по мат. LXVI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 6(65). URL: [https://sibac.info/archive/social/6\(65\).pdf](https://sibac.info/archive/social/6(65).pdf) (дата обращения: 20.03.2020).

REFERENCES

1. Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii ot 29.12.2004 № 190-FZ (red. ot 24.04.2020) [Elektronnyj resurs] // SPS Konsul'tant Plyus. Rezhim dostupa: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/.
2. Zemel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii ot 25.10.2001 № 136-FZ (red. ot 18.03.2020) [Elektronnyj resurs] // SPS Konsul'tant Plyus. Rezhim dostupa: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/.
3. Lesnoj kodeks Rossijskoj Federacii ot 04.12.2006 № 200-FZ (v red. ot 03.08.2018) [Elektronnyj resurs] // SPS Konsul'tant Plyus. Rezhim dostupa: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/.
4. Federal'nyj zakon "O gosudarstvennoj registracii nedvizhimosti" ot 13.07.2015 № 218-FZ (v red. ot 02.08.2019) [Elektronnyj resurs] // SPS Konsul'tant Plyus. Rezhim dostupa: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_AW_182661/.
5. Federal'nyj zakon "O perevode zemel' ili zemel'nyh uchastkov iz odnoj kategorii v druguju" ot 21.12.2004 № 172-FZ (v red. ot 01.05.2019) [Elektronnyj resurs] // SPS Konsul'tant Plyus. Rezhim dostupa: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_50874/.
6. Federal'nyj zakon "O vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye акты Rossijskoj Federacii v celyah ustraneniya protivorechij v svedeniyah gosudarstvennyh reestrov i ustanovleniya prinadlezhnosti zemel'nogo uchastka k opredelennoj kategorii zemel' " ot 29.07.2017 № 280-FZ [Elektronnyj resurs] // SPS Konsul'tant Plyus. Rezhim dostupa: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221238/.
7. Guseva O. N. Aktual'nye problemy kadaastrovogo ucheta lesnyh uchastkov // Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya // Obshchestvennye nauki : sb. st. po mat. LXVI mezhdunar. stud. nauch.-prakt. konf. № 6(65). URL: <https://sibac.info/>.

© Волкова А. С., Ануев Е. А.,
Милашкин И. Г., 2022

Поступила в редакцию 15.04.2021
Принята к печати 25.01.2022

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ЛЕСОСЕМЕННОЙ ПЛАНТАЦИИ

А. Н. Горелов, Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов

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

*В базовых документах общегосударственного формата селекционное совершенствование лесов определено важным вектором развития лесного хозяйства страны на период до 2030 г., что обуславливает актуальность научных работ в указанном направлении. Первостепенное значение это имеет для основных лесообразующих пород, к числу которых отнесена сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), широко распространенная в северном полушарии и являющаяся представителем аборигенной флоры в Среднем Поволжье и Нижегородской области. Исследовали таксационные показатели плюсовых деревьев сосны обыкновенной, клоны которых сосредоточены на лесосеменной плантации № 36. Её территория входит в район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации (зона хвойно-широколиственных лесов), а по лесосеменному районированию включена во второй лесосеменной район указанной породы. Методика выдержана с соблюдением принципа единственного логического различия, построена на требованиях к типичности, пригодности, надежности, оптимальности и целесообразности опыта. Работы проведены полевым стационарным методом со сплошным подеревом перечетом таксационных показателей. Установлена выраженная фенотипическая неоднородность клонового состава плюсовых деревьев, которая проявилась как между их вегетативными потомствами, так и внутри последних. По высоте ствола средние величины принимали значения от $103,02 \pm 7,26$ см до $151,90 \pm 7,24$ см, а обобщенное среднее составило $129,29 \pm 1,12$ см. По диаметру ствола наибольшее среднее было $32,84 \pm 2,14$ мм, наименьшее – $19,07 \pm 1,37$ мм, обобщенное среднее составило $28,04 \pm 0,30$ мм. Высота ствола в большей степени коррелирует с его диаметром у шейки корня: $r \pm tr = 0,891 \pm 0,010$ при $tr = 90,70$, что соответствует положительной, достоверной и высокой тесноте связи по шкале Чеддока. Однофакторный дисперсионный анализ подтвердил существование обнаруженных фенотипических различий между плюсовыми деревьями. Эффект влияния меж-клоновых различий слабо выражен, его наибольшая величина ($3,33 \pm 2,27$ %) отмечена по напряженности роста дерева, а наименьшая ($3,13 \pm 2,28$ %) зафиксирована по высоте ствола.*

Ключевые слова: сосна обыкновенная, селекционная оценка, плюсовое дерево, клоны, лесосеменные плантации.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 1, P. 27–37

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE TAXATION INDICATORS OF PLUS TREES OF SCOTS PINE ON A FOREST SEED PLANTATION

A. N. Gorelov, N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov

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

*In the basic documents of the national format, the selective improvement of forests is defined as an important vector of the development of the country's forestry for the period up to 2030, which determines the relevance of scientific work in this direction. This is of paramount importance for the main forest-forming species, which include the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), which is widespread in the northern hemisphere and is a representative of the native flora in the Middle Volga region and the Nizhny Novgorod region. The taxational indicators of plus trees of Scots pine were studied, the clones of which are concentrated on the forest seed plantation No. 36. Its territory is included in the area of coniferous-broadleaf (mixed) forests of the European part of the Russian Federation (the zone of coniferous-broadleaf forests), and according to forest-seed zoning it is included in the second forest-seed area of the specified breed. The methodology is maintained in compliance with the principle of a single logical difference, based on the requirements for typicality, suitability, reliability, optimality and expediency of the experience. The work was carried out by a field stationary method with a continuous sub-tree list of taxation indicators. A pronounced phenotypic heterogeneity of the clone composition of plus trees was established, which manifested itself both between their vegetative offspring and within the latter. In terms of trunk height, the average values ranged from 103.02 ± 7.26 cm to 151.90 ± 7.24 cm, and the*

generalized average was 129.29 ± 1.12 cm. By trunk diameter, the largest average was 32.84 ± 2.14 mm, the smallest was 19.07 ± 1.37 mm, the generalized average was 28.04 ± 0.30 mm. The height of the trunk is more correlated with its diameter at the root neck: $r_{tr} = 0.891 \pm 0.010$ at $tr = 90.70$, which corresponds to a positive, reliable and high closeness of the connection on the Cheddock scale. Univariate analysis of variance confirmed the significance of the detected phenotypic differences between the plus trees. The effect of the influence of inter-clones differences is weakly expressed, its largest value (3.33 ± 2.27 %) is marked by the intensity of the growth of the tree, and the smallest (3.13 ± 2.28 %) is fixed by the height of the trunk.

Keywords: Scots pine, selection evaluation, plus tree, clones, forest seed plantations.

ВВЕДЕНИЕ

Принятая правительством страны Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года предусматривает последовательный переход к интенсивным формам ведения лесного хозяйства, основанным на его инновационном характере, устойчивом управлении лесами, непрерывном и неистощительном лесопользовании. В этом контексте приоритет отдается главным лесообразователям, к числу которых с полным основанием можно отнести и сосну обыкновенную (*Pinus sylvestris* L.) [17–19], активно используемую в хозяйственном плане не только у нас в стране [35; 51], но и за рубежом [58; 62; 63]. Благодаря уникальному комплексу своих полезных признаков и свойств она постоянно находится в поле зрения отечественных [1–5; 33; 34] и зарубежных [51–65] исследователей. Детальному анализу подвергается её селекционный потенциал, внутривидовая изменчивость и полиморфизм по широкому спектру признаков, имеющих хозяйственное, адаптационное и идентификационное значение [6; 8; 10; 27; 28; 30; 31; 46; 47; 50]. Предметом глубоких исследований выступают её биология и общее физиологическое состояние [25; 34; 36; 37], способность противостоять испарению воды и резистентность к дефициту атмосферной и почвенной влаги [14; 29], пигментный состав, обуславливающий режимы фотосинтеза, который во многом определяет валовую продуктивность и репродуктивный потенциал [11; 48; 53; 59], размеры и строение хвои [19; 21; 42; 51; 52; 55–57; 61; 65], параметры семян и шишек [3; 17; 20; 30; 39; 45], содержание запасных веществ [2; 12; 13; 15], особенности развития ксилемы [4; 9], другие не менее важные и, подчас, сложные вопросы [3; 5; 7; 17–19].

Цель исследований – сравнительная оценка таксационных показателей плюсовых деревьев сосны обыкновенной, вегетативные потомства которых размещены в составе лесосеменных плантаций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выступали клоны 50 плюсовых деревьев сосны обыкновенной, введенных в состав лесосеменной плантации первого порядка (ЛСП I) № 36. Она расположена в лесном выделе № 7 лесного квартала № 139 Семеновского районного лесничества Нижегородской области и имеет географические координаты N 56.74161° E 44.35436° . Её территория, согласно действующему официальному районированию, входит в район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации (зона хвойно-

широколиственных лесов), а по лесосеменному районированию включена во второй лесосеменной район сосны обыкновенной. Для данной породы здесь сложились вполне благоприятные для произрастания и семеношения климатические и почвенные условия [40], о чем свидетельствуют масштабные работы по искусственному лесовосстановлению, проводимые на обширных площадях, и успешное создание многочисленных объектов постоянной лесосеменной базы и единого генетико-селекционного комплекса [21–23; 32; 38; 41; 43; 44]. Указанная ЛСП создана в 2016 году привитыми саженцами, возраст которых на момент посадки составил 2 года. Источником привоя для их производства выступали архивы клонов, входящие в состав единого генетико-селекционного комплекса, дислоцированные в том же регионе, а собственно прививку выполняли специалисты государственного автономного учреждения Нижегородской области «Семеновский спецлесхоз». Размещение посадочных мест было 6×8 м, схема смешения клонов – блочная при исходной повторяемости каждого ортета 50 ракетами. Продуцирующая площадь составила 12,44 га, тип лесорастительных условий на ней соответствовал категории В₂.

Методология работ предусматривала неукоснительное соблюдение принципа единственного логического различия, а также их соответствие всем требованиям к типичности, пригодности, надежности, оптимальности и целесообразности опыта. Реализован полевой стационарный метод при сплошном подеревном перечеке, в ходе которого высота растений устанавливалась мерной рейкой с точностью до 1 см, а диаметр у шейки корня – электронным штангенциркулем (Electronic Digital Caliper – G06064731) с точностью до 0,1 мм. При этом учитывали ранее накопленный опыт таксации подобных селекционно-семеноводческих объектов [22; 23; 32]. Началу натурных обследований предшествовала ревизия чистоты состава лесосеменной плантации и детекция его соответствия проектным схемам смешения по критерию сходства величины угла крепления ветвей к стволу у одноименных клонов [18; 24; 26].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлена выраженная фенотипическая неоднородность клонового состава плюсовых деревьев, которая проявилась как между их вегетативными потомствами, так и внутри последних (табл. 1). Так, по высоте ствола (см. табл. 1) средние величины принимали значения от $103,02 \pm 7,26$ см (клон К-107) до $151,90 \pm 7,24$ см (клон К-118), что сформировало превышение в 1,47 раза или на 48,88 см. Обобщенное для

всего массива среднее составило $129,29 \pm 1,12$ см. При этом отношение лимитов составило 17,94, а их диапазон достиг 271 см. Характер распределения значений диаметра ствола тех же плюсовых деревьев в основных чертах был адекватен картине, сложившейся в ходе статистического анализа их высот. В этом случае наибольшее среднее было $32,84 \pm 2,14$ мм (клон К-118), а наименьшее – $19,07 \pm 1,37$ мм (клон К-107). Такие оценки образовали превышение в 1,72 раза или на 13,77 мм, притом что обобщенное для всего массива среднее составило $28,04 \pm 0,30$ мм. Диапазон лимитов достиг 68,90 мм, а их отношение – 18,23.

Площадь поперечного сечения ствола, как один из важнейших таксационных показателей, обладала более контрастными фенотипическими различиями, при сохранении ранее обнаруженных тенденций в распределении значений его линейных параметров у сравниваемых клонов. Наибольшее среднее ($9,91 \pm 1,17$ см²), которое было отмечено у клона К-118), превосходило соответствующий минимум ($3,45 \pm 0,48$ см²), зафиксированный у клона К-107, в 2,78 раза или на $6,46$ см². Размах абсолютных значений еще более заметен: их разность составила $41,61$ см², а соотношение достигло уровня 332,15. При этом обобщенное среднее значение оценивалось в $7,63 \pm 0,15$ см².

Вполне адекватной косвенной оценкой объема и полндревесности стволовой части растений на ЛСП № 36 может выступать объем конуса, построенного на площади поперечного сечения ствола. Его применение особенно актуально в работе с деревьями, не вышедшими за границы ювенильной фазы онтогенеза. Таковыми являются те, которые размещены на рассматриваемой в работе ЛСП. В формировании этого интегрального по своей структуре показателя участвует как высота растений, так и их диаметр. Близкие по величине значения, превосходившие все остальные, удалось зафиксировать у вегетативных потомств плюсовых деревьев с индексами К-117 и К-118: $596,30 \pm 131,18$ см³ и $594,20 \pm 92,58$ см³ соответственно. Они превысили установленный для данного объекта минимум ($161,03 \pm 32,14$ см³), наблюдавшийся у клонов плюсового дерева К-107, на $435,27$ см³ или в 3,70

раза. Баланс лимитов рассматриваемого показателя наиболее контрастен, их диапазон составил 3076,16 см³, а отношение – 2160,94.

Объективной характеристикой биологического состояния растений на ЛСП выступает предложенный Л. Ф. Семериковым [49] показатель напряженности роста дерева, который представляет собой отношение его высоты к площади поперечного сечения ствола и отражает не только площадь жизненного пространства особи, но и несет информацию о внутренних процессах роста, характере распределения потоков вещества и энергии между органами. В данном контексте оценки плюсовых деревьев также весьма неоднородны. Наибольшая из них ($0,57 \pm 0,12$ см/мм²), отмеченная у клона К-322, превосходила наименьшую ($0,24 \pm 0,02$ см/мм²), возникшую у клона К-105, на $0,33$ см/мм² или в 2,42 раза. Превышение абсолютного максимума над абсолютным минимумом здесь достигло $4,01$ см/мм² или в 113,01 раза. Обобщенное среднее, к которому в той или иной мере приближались остальные оценки, приобрело значение $0,35 \pm 0,01$ см/мм².

Остальные характеристики клонового состава плюсовых деревьев на ЛСП № 36 обладали собственной спецификой в формировании и распределении их значений. Можно констатировать, что оценки статистической надежности полученных результатов в подавляющем большинстве случаев близки к критическим для принятого в лесоводственных исследованиях 5-процентного уровня значимости. Превышение в ряде случаев анализа по отдельным клонам пороговых величин относительной ошибки обусловлено высоким уровнем изменчивости линейных параметров ствола и производных от них признаков, что, вообще, характерно для ювенильной фазы онтогенеза вегетативного потомства плюсовых деревьев на крупных по размерам ЛСП, к числу которых относится и рассматриваемая ЛСП № 36. Понятно, что для достижения требуемой точности опыта высокий уровень дисперсии мог быть компенсирован большим числом учетов и наблюдений.

Таблица 1
Характеристики надземной части плюсовых деревьев сосны обыкновенной^{1,2,3}

Признаки	M	СКО	max.	min.	Δ_{lim}	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
h	129,29	51,99	287,00	16,00	271,00	1,12	40,21	114,93	0,87
D _{1,3}	28,04	13,64	72,90	4,00	68,90	0,30	48,66	94,98	1,05
h/d	4,99	1,36	13,57	1,31	12,26	0,03	27,20	169,93	0,59
S	763,71	676,63	4173,93	12,57	4161,36	14,64	88,60	52,16	1,92
g	0,21	0,05	0,76	0,07	0,69	0,00	24,55	188,23	0,53
K	0,35	0,38	4,04	0,04	4,01	0,01	108,16	42,73	2,34
V _K	426,13	477,51	3077,59	1,42	3076,16	10,33	112,06	41,23	2,43
V _ц	1278,94	1432,62	9232,76	4,27	9228,49	31,01	112,02	41,24	2,42

¹Показатели: M – среднее; СКО – стандартное отклонение; max. – максимальное значение; min. – минимальное значение; Δ_{lim} – размах изменчивости; $\pm m$ – абсолютная ошибка; Cv – коэффициент вариации, %; t – критерий Стьюдента; P – относительная ошибка, %.

²Признаки: h – высота; d – диаметр ствола; h/d – отношение высоты к диаметру; S – площадь поперечного сечения ствола; g – сбеги ствола; K – напряженность роста дерева; V_K – объем вписанного конуса; V_ц – объем цилиндра построенного на площади поперечного сечения ствола.

³Число учетных параметров (первичных единиц выборки) по каждому таксационному показателю – 2136 шт.

Таблица 2
Корреляция между признаками ствола плюсовых деревьев сосны обыкновенной^{1,2}

Признаки	Критерии	Признаки							
		h	D _{1,3}	h/d	S	g	K	V	V
h	r	1,000	0,891	-0,247	0,827	0,170	-0,561	0,837	0,837
	±mr	0,000	0,010	0,021	0,012	0,021	0,018	0,012	0,012
	tr	999(9)	90,70	11,75	68,08	7,97	31,35	70,73	70,68
D _{1,3}	r	0,891	1,000	-0,568	0,969	0,550	-0,664	0,928	0,928
	±mr	0,010	0,000	0,018	0,005	0,018	0,016	0,008	0,008
	tr	90,7	999(9)	31,89	182,49	30,41	40,97	114,97	115,00
h/d	r	-0,247	-0,568	1,000	-0,506	-0,893	0,815	-0,406	-0,407
	±mr	0,021	0,018	0,000	0,019	0,010	0,013	0,020	0,020
	tr	11,8	31,89	999(9)	27,08	91,82	65,07	20,54	20,56
S	r	0,827	0,969	-0,506	1,000	0,529	-0,536	0,981	0,981
	±mr	0,012	0,005	0,019	0,000	0,018	0,018	0,004	0,004
	tr	68,1	182,49	27,08	999(9)	28,78	29,31	230,54	230,61
g	r	0,170	0,550	-0,893	0,529	1,000	-0,613	0,413	0,413
	±mr	0,021	0,018	0,010	0,018	0,000	0,017	0,020	0,020
	tr	8,0	30,41	91,82	28,78	999(9)	35,86	20,92	20,93
K	r	-0,561	-0,664	0,815	-0,536	-0,613	1,000	-0,465	-0,465
	±mr	0,018	0,016	0,013	0,018	0,017	0,000	0,019	0,019
	tr	31,3	40,97	65,07	29,31	35,86	999(9)	24,26	24,26
V _к	r	0,837	0,928	-0,406	0,981	0,413	-0,465	1,000	1,000
	±mr	0,012	0,008	0,020	0,004	0,020	0,019	0,000	0,000
	tr	70,7	114,95	20,54	230,48	20,92	24,26	999(9)	999(9)
V _ц	r	0,837	0,928	-0,407	0,981	0,413	-0,465	1,000	1,000
	±mr	0,012	0,008	0,020	0,004	0,020	0,019	0,000	0,000
	tr	70,6	114,95	20,55	230,50	20,92	24,25	999(9)	999(9)

¹Показатели: r – парный коэффициент корреляции Пирсона; ±mr – ошибка коэффициента корреляции; tr – критерий достоверности коэффициента корреляции ($t_{05} = 1,96$).

²Признаки: h – высота; d – диаметр ствола; h/d – отношение высоты к диаметру; S – площадь поперечного сечения ствола; g – сбеж ствола; K – напряженность роста дерева; V_к – объем вписанного конуса; V_ц – объем цилиндра построенного на площади поперечного сечения ствола.

Однако в нашем случае такой подход было невозможно реализовать в силу ограниченного числа клонов, представлявших каждое из плюсовых деревьев в составе данной ЛСП: численное представительство лимитировано проектным ассортиментным составом.

Удалось установить факт наличия, масштабы и форму проявления взаимосвязей между таксационными показателями клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной, использованных при создании ЛСП № 36 (табл. 2).

Корреляционный анализ вскрыл общую ситуацию, определяя неодинаковый уровень оценок связи между значениями анализируемых признаков при их парном сравнении. В частности, высота ствола (признак 1) в наибольшей степени зависела от его диаметра у шейки корня (признак 2): $r \pm mr = 0,891 \pm 0,010$ при $tr = 90,70$. Такая теснота связи характеризовалась как положительная, достоверная и высокая по шкале Чед-

дока. Связь высоты ствола с признаками, в формировании которых принимал участие его диаметр, а именно, площадь поперечного сечения у шейки корня (признак 4), объем конуса (признак 7) и объем цилиндра (признак 8), построенных на площади поперечного сечения ствола, имела близкие по величине и такие же по направленности значения, что вполне логично. С остальными признаками высота ствола связана в меньшей мере, при этом с отношением высоты к диаметру (признак 3) и с показателем напряженности роста (признак 7) связь отрицательная: $r \pm mr = -0,247 \pm 0,021$ при $tr = 11,75$ и $r \pm mr = -0,561 \pm 0,018$ при $tr = 31,35$.

Взаимодействие диаметра у шейки корня (признак 2) с остальными признаками также имеет дифференцированные оценки. Наибольшие наблюдались во взаимодействии этого признака с площадью поперечного сечения (признак 4) и объемами построенных на ней

конуса и цилиндра (признаки 7 и 8). Достигнув величин $g \pm mg = -0,969 \pm 0,005$ при $tr = 182,49$ (признак 4) и $g \pm mg = -0,928 \pm 0,008$ при $tr = 114,97$ (признаки 7 и 8), оценки соответствовали весьма высокой силе связи. В целом, все рассматриваемые признаки, имея как положительные, так и отрицательные оценки корреляций, подтвердили их статистическую значимость.

Установленные фенотипические различия между плюсовыми деревьями (по их вегетативным потомствам) проявились на выровненном фоне экологических условий, что может служить основанием для признания наследственного характера (генотипической природы) причин их возникновения. Дисперсионный анализ, проведенный по однофакторной схеме, подтвердил существенность обнаруженных различий (табл. 3).

По большинству признаков (6 из 8), за исключением отношения высоты к диаметру (признак 3) и сбega ствола (признак 5), меж-клоновые различия оказались существенными на 5-процентном уровне значимости: расчетные критерии Фишера превысили пороговые значения для заданного в опыте числа степеней свободы. В вариантах с подтвержденной существенно-стью различий они достигали величин от 1,38 (признак 1) до 1,47 (признак 6) при критическом пороге 1,36. Такой результат позволил продолжить выполнение дисперсионного анализа для оценки доли влияния различий между плюсовыми деревьями на формирование общего фона фенотипической дисперсии. Этот эффект оказался слабо выраженным и в расчетах по алгоритму Плохинского его наибольшая величина ($3,33 \pm 2,27$ %) отмечена по напряженности роста дерева (признак 6), в то время как наименьшая ($3,13 \pm 2,28$ %) зафиксирована по высоте ствола (признак 1). Остальные оценки при условии их достоверности располагались в указанном интервале. Привлечение для вычисления тех же показателей алгоритма Снедекора дало заметно меньший, но вполне адекватный результат. В вариантах анализа с подтвержденной существенно-стью различий между сравниваемыми плюсовыми

деревьями полученные оценки доли влияния меж-клоновых различий статистически надежны – на это указывают расчетные величины показателей достоверности оценок силы влияния фактора (F_h^2), превысившие табличные значения. Тот факт, что по ряду производных признаков, таких как отношение высоты к диаметру (признак 3) и сбег ствола (признак 5), различия были невелики и не достигли уровня существенных, свидетельствует о стабильности соотношений между высотой и диаметром всех исследуемых растений.

Оценки существенности различий (см. табл. 3) между сравниваемыми плюсовыми деревьями по анализируемым признакам позволили установить предел, преодолев который фактическая разность средних величин, приобретает статус существенных. Так, по высоте ствола (признак 1) плюсовое дерево К-107 в оценках по НСР на 5-процентном уровне значимости имело существенные отклонения в меньшую сторону от тридцати пяти других, входящих в состав ЛСП № 36, а плюсовое дерево К-118 – в большую сторону от двадцати четырех. У плюсового дерева К-97 таких различий зафиксировано 12; у плюсовых деревьев К-118, К-212, К-96, К-168, К-305 – по 10; у плюсовых деревьев К-105 и К-308 – по 9; у плюсовых деревьев К-299, К-208, К-306 – по 7; у плюсовых деревьев К-119 и К-213 – по 6. В то же время большинство других плюсовых деревьев имело существенные различия только с одним или с двумя другими, а позиции учетных деревьев с номерами № 1, № 3, № 4 и № 5 в статистическом комплексе таковы, что они не сформировали существенных различий ни с одним из других объектов в комплексе сравнения. При более строгой оценке в Тьюки-тесте (D_{05}) в подавляющем большинстве случаев существенные различия установлены не были. Только у клонов К-107 отмечено существенное отклонение в меньшую сторону от двух других, а у клонов К-97 и К-118 – в большую сторону от одного.

Таблица 3
Существенность различий между плюсовыми деревьями по параметрам ствола^{1, 2}

Учетные зоны, признаки	$F_{оп}$	Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_h^2$)						Критерии различий	
		по Плохинскому			по Снедекору			НСР ₀₅	D_{05}
		h^2	$\pm s_h^2$	F_h^2	h^2	$\pm s_h^2$	F_h^2		
h	1,38	0,0313	0,0228	1,3754	0,0087	0,0233	0,3741	21,956	39,605
$D_{1,3}$	1,44	0,0328	0,0227	1,4416	0,0102	0,0232	0,4402	5,758	10,386
h/d	1,29	0,0294	0,0228	1,2910	0,0068	0,0233	0,2900	0,573	1,034
S	1,37	0,0311	0,0228	1,3679	0,0085	0,0233	0,3667	285,769	515,483
g	1,00	0,0231	0,0229	1,0045	0,0001	0,0235	0,0045	0,022	0,040
K	1,47	0,0333	0,0227	1,4666	0,0108	0,0232	0,4650	0,159	0,286
Vк	1,41	0,0320	0,0227	1,4075	0,0095	0,0233	0,4062	201,628	363,705
Vц	1,41	0,0320	0,0228	1,4054	0,0094	0,0233	0,4040	605,08	1091,47

¹Показатели: $F_{оп}$ – опытный критерий Фишера; F_{05}/F_{01} – табличные значения критерия Фишера соответственно на 5-процентном и 1-процентном уровнях значимости – $F_{05/01} = 1,36$ и $1,52$; h^2 – показатель силы влияния фактора; $\pm s_h^2$ – ошибка показателя силы влияния фактора; F_h^2 – показатель достоверности силы влияния фактора; НСР₀₅ – наименьшая существенная разность на 5-процентном уровне значимости; D_{05} – критерий Тьюки на 5-процентном уровне значимости.

²Признаки: h – высота; d – диаметр ствола; h/d – отношение высоты к диаметру; S – площадь поперечного сечения ствола; g – сбег ствола; K – напряженность роста дерева; Vк – объем вписанного конуса; Vц – объем цилиндра построенного на площади поперечного сечения ствола.

По другим характеристикам ствола исследуемых растений наблюдалась аналогичная картина, притом что в каждой из них прослеживалась своя специфика в этом плане. Обнаружено доминирующее (до 96,87 %) влияние факторов среды на формирование общего фона фенотипической дисперсии таксационных показателей у вегетативного потомства плюсовых деревьев, введенных в состав ЛСП № 36.

В заключение следует отметить, что созданная в соответствии с действующими регламентами и нормативами (ОСТ 56-74-96; приказ Минприроды России от 20.10.2015 г. № 438) лесосеменная плантация № 36 содержит в своем составе вегетативное потомство плюсовых деревьев сосны обыкновенной, которое существенно различается на меж-клоновом уровне по основным таксационным показателям. Совместно произрастая в границах одного участка на выровненном по базовым параметрам экологическом фоне, представители разноименных клонов проявили фенотипическую неоднородность, причина возникновения которой во многом связана со спецификой их генотипов. Это соответствует представлениям о масштабах наследственной обусловленности фенотипической дисперсии таксационных показателей многих видов хвойных и получило подтверждение в результатах дисперсионного анализа.

ВЫВОДЫ

1. Плюсовые деревья сосны обыкновенной, представленные своими вегетативными потомствами на лесосеменной плантации № 36 в Семеновской районном лесничестве Нижегородской области, заметно различались между собой по основным таксационным показателям ствола: высоте, диаметру на высоте 1.3 м, сбегу, а также по отношению высоты ствола к площади поперечного сечения, которое выступает показателем напряженности роста деревьев.

2. Зафиксированные фенотипические различия между плюсовыми деревьями проявились в границах одного участка на выровненном экологическом фоне при одинаковых лесорастительных условиях и общих схемах проводимых агротехнических и лесоводственных уходов, что может служить основанием для признания наследственного характера установленной изменчивости.

3. Таксационные показатели вегетативного потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной, находящегося в ювенильной фазе развития, характеризуются выраженной зависимостью от действия факторов среды, оказывающих на них дифференцирующее влияние.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бамбе В. Т., Роне В. М. Рост потомства семенных плантаций сосны обыкновенной в Латвийской ССР // Разработка основ систем селекции древесных пород : тезисы докладов совещания (г. Рига, 22–25 сентября 1981 г.). В 2-х частях. Ч 1. Рига : ЛатНИИЛТИ, 1981. С. 60–64.

2. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н. Селекционная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной методами многомерного анализа // Известия

высших учебных заведений. Лесной журнал. 2012. № 2/326. С. 58–64.

3. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н. Многомерная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по морфометрическим параметрам семян // Лесной вестник/Forestry bulletin (Вестник Московского государственного университета леса). 2013. № 3 (95). С. 11–16.

4. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н. Образование и лигнификация ксилемы плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2013. № 2/332. С. 45–52.

5. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н., Горелов А. Н. Влияние технологического режима на рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной при кассетном выращивании в теплицах // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии : материалы международной научно-практической конференции (г. Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г.) / под общ. ред. Бессчетновой Н. Н. Нижний Новгород : ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА, 2019. С. 87–93.

6. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н., Орнатский А. Н. Селекционно-генетические аспекты лесного семеноводства // Труды факультета лесного хозяйства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии : сборник научных статей. Нижний Новгород : НГСХА, 2011. № 1 (1). С. 5–34.

7. Бессчетнов В. П., Лугинина Л. И. Развитие саженцев с закрытой корневой системой в условиях лесосеменных плантаций сосны обыкновенной // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (43). С. 15–20.

8. Бессчетнова Н. Н. К вопросу об оценке общей комбинационной способности плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Лесной вестник/Forestry bulletin (Вестник Московского государственного университета леса). 2008. № 6 (63). С. 4–12.

9. Бессчетнова Н. Н. Скорость сезонного роста ксилемы в годичных побегах клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной печатная // Лесной вестник/Forestry bulletin (Вестник Московского государственного университета леса). 2008 № 2 (59). 2008. С. 4–9.

10. Бессчетнова Н. Н. Оценка общей комбинационной способности плюсовых деревьев сосны обыкновенной в Нижегородской области // Лесной вестник/Forestry bulletin (Вестник Московского государственного университета леса). 2009. № 4 (67). С. 4–10.

11. Бессчетнова Н. Н. Содержание основных пигментов в хвое плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Лесной вестник/Forestry bulletin (Вестник Московского государственного университета леса). 2010. № 6 (75). С. 4–10.

12. Бессчетнова Н. Н. Сравнительная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной по содержанию крахмала в побегах // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 2 (9). С. 49–56.

13. Бессчетнова Н. Н. Содержание водорастворимых сахаров в клетках побегов плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Актуальные проблемы лесного

комплекса : сборник научных трудов по итогам междуна-
родной научно-технической конференции (г. Брянск,
2011 г.). Выпуск 28. Брянск : БГТА, 2011. С. 15–19.

14. Бессчетнова Н. Н. Сравнительная оценка кло-
нов плюсовых деревьев сосны обыкновенной по тем-
пам водопотери хвои // Лесной вестник/Forestry
bulletin (Вестник Московского государственного уни-
верситета леса). 2011. № 3 (79). С. 36–41.

15. Бессчетнова Н. Н. Содержание жиров в клет-
ках побегов плюсовых деревьев сосны обыкновенной
// Известия высших учебных заведений. Лесной жур-
нал. 2012. № 4/328. С. 48–55.

16. Бессчетнова Н. Н. Индекс неидентичности
в селекционной оценке плюсовых деревьев // Вестник
Саратовского государственного аграрного универси-
тета им. Н. И. Вавилова. Естественные, технические,
экономические науки. 2013. № 07. С. 11–15.

17. Бессчетнова Н. Н. Сосна обыкновенная (*Pinus
sylvestris* L.). Репродуктивный потенциал плюсовых
деревьев : монография. Нижний Новгород : Нижего-
родская государственная сельскохозяйственная ака-
демия, 2015. 586 с.

18. Бессчетнова Н. Н. Сосна обыкновенная (*Pinus
sylvestris* L.). Эффективность отбора плюсовых де-
ревьев : монография. Нижний Новгород : Нижего-
родская государственная сельскохозяйственная академия,
2016. 382 с.

19. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Сосна
обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Морфометрия и
физиология хвои плюсовых деревьев : монография.
Нижний Новгород : Нижегородская государственная
сельскохозяйственная академия, 2014. 368 с.

20. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Оценка
генотипического несходства плюсовых деревьев со-
сны обыкновенной по выходу семян из шишек // Из-
вестия Санкт-Петербургской лесотехнической акаде-
мии. 2014. Вып. 209. С. 16–30.

21. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Изменчи-
вость 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.

22. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Горелов
А. Н. Рост клонов плюсовых деревьев сосны обыкно-
венной, отобранных в нижегородской области по
смолопродуктивности // Лесной вестник/Forestry
bulletin. 2021. Т. 25, № 4. С. 5–14. DOI: 10.18698/2542-
1468-2021-4-5-14

23. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Оганян Т. А.
Таксационные показатели вегетативного потомства
плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus
sylvestris* L.) в архивах клонов в Нижегородской об-
ласти // Экономические аспекты развития АПК и лес-
ного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государ-
ства России и Белоруссии. Материалы междуна-
родной научно-практической конференции (г. Нижний
Новгород, 26 сентября 2019 г.) / под общ. ред. Н. Н. Бес-
счетновой. Нижний Новгород: ФГБОУ ВО Нижего-
родская ГСХА, 2019. С. 115–122.

24. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н., Терешан-
цев Н. А. Варьирование угла крепления боковых по-

бегов к стволу плюсовых деревьев сосны обыкновен-
ной // Вестник Нижегородской государственной сель-
скохозяйственной академии. 2020. № 3 (27). С. 23–32.

25. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Черных
В. Л. Генотипическое несходство плюсовых деревьев
сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по физиоло-
гическому состоянию побегов // Вестник Поволжско-
го государственного технологического университета.
Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2015.
№ 4 (28). С. 35–49.

26. Бессчетнова Н. Н., Горелов Н. И., Козлов Н. А.
Идентификационное значение угла крепления ветвей
при изучении вегетативного потомства плюсовых
деревьев сосны обыкновенной // Лесоводство Ниже-
городской области на рубеже веков : сборник науч-
ных трудов по материалам научно-практической кон-
ференции. Нижний Новгород : Нижегородская госу-
дарственная сельскохозяйственная академия, 2004.
С. 28–43.

27. Белоус В. И. О необходимости оценки наслед-
ственных свойств семян с лесосеменных плантаций //
Лесное хозяйство. 1990. № 3. С. 44–46.

28. Братилова Н. П., Федорова В. И. Изменчивость
семеношения сосны обыкновенной на ПЛСУ Гремуч-
ченского лесхоза Красноярского края // Плодовод-
ство, семеноводство, интродукция древесных растений :
материалы VII Международной научной конферен-
ции. Красноярск : СибГТУ, 2004. С. 31–33.

29. Васфилов С. П. Изменчивость сухой массы и
содержание воды в хвое *Pinus sylvestris* (Pinaceae) //
Ботанический журнал. 2005. Том. 90, № 8. С. 1235–
1247.

30. Видякин А. И. Индексная оценка признаков
популяционной структуры сосны обыкновенной //
Лесоведение. 1991. № 1. С. 57–62.

31. Видякин А. И. Эффективность плюсовой се-
лекции древесных растений // Хвойные бореальной
зоны. 2010. Вып. XXVII, № 1-2. С. 18–24.

32. Горелов А. Н., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов
В. П. Таксационные показатели испытательных куль-
тур сосны обыкновенной в Нижегородской области //
Актуальные проблемы лесного комплекса: / Под об-
щей редакцией Е. А. Памфилова : сборник научных
трудов по итогам международной научно-практичес-
кой конференции (1–30 ноября 2020 г.). Выпуск 58.
Брянск : БГИТУ, 2020. С. 87–90.

33. Дворник В. Я., Котов В. С., Михеенко И. П.
Генетическая дифференциация сосны обыкновенной
(*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в различных эко-
типах // Генетика. 1998. Т. 34. С. 1258–1262.

34. Духарев В. А. Полиморфизм эстераз у сосны
обыкновенной в разновозрастных популяциях *Pinus
sylvestris* L. // Генетика. 1978. Т. 14, № 10. С. 1789–1793.

35. Ефимов, Ю. П. Семенные плантации в селек-
ции и семеноводстве сосны обыкновенной. Воронеж:
Истоки, 2010. 253 с.

36. Исаков Ю. Н., Семериков В. Л. Связь генотипа
по некоторым аллозимным локусам и способности
к самоопылению у сосны обыкновенной // Генетика.
1997. Т. 33, № 2. С. 274–276.

37. Исаков Ю. Н., Кузнецова Н. Ф., Машкина О. С.
Разнообразие по уровню самофертильности и его ге-

нотипическая обусловленность у сосны обыкновенной // Лесоведение. 2000. № 2. С. 44–50.

38. Коваленко И. П., Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н. Эффективность создания лесных культур сосны обыкновенной посевом семян в Нижегородской области // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : материалы XVIII Международной научно-технической конференции (г. Вологда, 1 декабря 2020 г.) / отв. ред. С. М. Хамитова. Вологда : ВоГУ, 2020. С. 60–62.

39. Кузьмина Н. А. Изменчивость генеративных органов сосны обыкновенной в Прианагарье // Селекция хвойных пород Сибири : сборник научных трудов. Красноярск : Институт леса и древесины им. Сукачева СО АН СССР, 1978. С. 96–120.

40. Куприянов Н. В., Веретенников С. С., Шишов В. В. Леса и лесное хозяйство Нижегородской области. Нижний Новгород : Волго-Вятское книж. изд-во, 1995. 349 с.

41. 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 : материалы XVIII Международной научно-технической конференции (г. Вологда, 1 декабря 2020 г.) / отв. ред. С. М. Хамитова. Вологда: ВоГУ, 2020. С. 72–74.

42. Луганская В. Д. Взаимосвязь размеров хвои с ростом по высоте у деревьев сосны в молодняках средней и южной подзоны тайги Урала // Леса Урала и хозяйство в них : сборник трудов. Свердловск : Средне-Уральское книж. изд-во, 1976. Вып. 9. С. 94–97.

43. Лугинина Л. И., Бессчетнов В. П. Лесные культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Республике Татарстан, созданные посадочным материалом с закрытой корневой системой // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : материалы международной научно-технической конференции (г. Санкт-Петербург, 24–26 мая 2017 г.) / под ред. В. М. Редько. Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2017. Т. 1. С. 106–109.

44. Лугинина Л. И., Бессчетнов В. П. Сравнительный анализ лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Республике Татарстан // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : материалы третьей международной научно-технической конференции (г. Санкт-Петербург, 23–24 мая 2018 г.) / под ред. В. М. Редько. Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2018. Том 2. С. 106–109.

45. Наквасина Е. Н. Изменения в генеративной сфере сосны обыкновенной при имитации потепления климата // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2014. Вып. 209. С. 114–125.

46. Раевский Б. В. Особенности вегетативного роста клонов сосны обыкновенной в Карелии // Лесной журнал. Известия высших учебных заведений. 2013. № 4. С. 7–15.

47. Рогозин М. В. К вопросу об отборе урожайных деревьев сосны обыкновенной // Лесной журнал. Известия высших учебных заведений. 1978. № 6. С. 8–11.

48. Самойлова Л. И., Бессчетнов В. П. Содержание пигментов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus*

syvestris L.), выращенной по различным технологиям в Республике Татарстан // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии. Материалы международной научно-практической конференции (г. Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г.) / под общ. ред. Бессчетновой Н. Н. Нижний Новгород : ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА, 2019. С. 212–219.

49. Семериков Л. Ф. Оценка стабилизирующего отбора в популяциях дуба // Экология. 1974. № 5. С. 5–10.

50. Черепнин В. Л. Изменчивость семян сосны обыкновенной. Новосибирск : Наука, 1980. 183 с.

51. Androsiuk P., Kaczmarek Z., Urbaniak L. The morphological traits of needles as markers of geographical differentiation in European *Pinus sylvestris* populations // Dendrobiology. 2011. Vol. 65. Pp. 03–16.

52. Cermák J., Riguzzi F., Ceulemans R. Scaling up from the individual tree to the stand level in Scots pine. I. Needle distribution, overall crown and root geometry // Annals of Forest Science. 1998. Vol. 55, Numb. 1-2. Pp. 63–88.

53. Daničić V., Isaev V., Mataruga M., Cvjetković B., Milijević L. Variability of photosynthetic pigments content of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the seed orchard “Stanovi” near Dobož // Forestry science and practice for the purpose of sustainable development of forestry. Proceedings: “20 years of the faculty of forestry in Banja Luka”. 1th – 4th November 2012. Banja Luka: University of Banja Luka, 2012. Pp. 687–694.

54. Hertel H., Schneck V. Genetic and phenotypically variation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations due to seed origin and environmental conditions at experimental sites // Forest Genetics. 1999. Vol. 6, No. 2. Pp. 65–72.

55. Huttunen S., Turunen M., Reinikainen J. Studies on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) needle cuticles // Annals of Forest Science. 1989. Vol. 46 No. Supplement (1989), Special Issue: Forest Tree Physiology. Pp. 553–556.

56. Ievinsh G., Ceulemans R., Ozola D. Spatial Distribution of Ethylene Production by Individual Needles along a shoot of *Pinus sylvestris* L.: Relationship with Peroxidase Activity // Annals of Botany. 1998. Vol. 82, No. 4. Pp. 489–495.

57. Jach, M.E. Effects of season, needle age and elevated atmospheric CO₂ on photosynthesis in Scots pine (*Pinus sylvestris*) // Tree Physiology. 2000. Vol. 20, No. 3. Pp. 145–157.

58. Kinloch B.B., Westfall R.D., Forrest G.I. Caledonian Scots pine: origin and genetic structure // New Phytologist. 1986. Vol. 104. Pp. 703–729.

59. Klõšeiko 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 | Metsanduslikud Uurimused. 2008. Vol. 49. Pp. 25–36.

60. Kowalczyk J. Comparison of phenotypic and genetic selections in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) single tree plot half-sib progeny tests // Dendrobiology. 2005. Vol. 53. Pp. 45–56.

61. Kurkela T., Nuorteva H. Short-needle disease of Scots pine: an abnormal needle length distribution // *Silva Fennica*. 1998. Vol. 32, No. 1. Pp. 75–94.

62. Kurm M., Kängsepp L., Kiviste A., Sims A., Maaten T., Kaljurand H. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plus trees in Estonia // *Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused*. 2007. Vol. 46. Pp. 57–76.

63. Kurm M., Kiviste A., Kaur U., Maaten T. Growth Differences in the Progeny Trials of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // *Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused*. 2009. Vol. 50. Pp. 84–97.

64. Lindgren D. Effect of tree cover on Scots pine pollination and seeds // *Forest Genetics*. 1994. Vol. 1, No. 2. Pp. 73–80.

65. Salminen H., Jalkanen R. Modelling variation of needle density of Scots pine at high latitudes // *Silva Fennica*. 2006. Vol. 40, No. 2. Pp. 183–194.

REFERENCES

1. Bambe V. T., Rone V. M. Rost potomstva semen-nyh plantacij sosny obyknovnoy v Latvijsskoj SSR // *Razrabotka osnov sistem selekcii drevesnyh porod : tezisy dokladov soveshchaniya* (g. Riga, 22–25 sent. 1981 g.). V 2-h chastyah. Ch 1. Riga : LatNIILTI, 1981. S. 60–64.

2. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N. Selekcionnaya ocenka plyusovyh derev'ev sosny obyknovnoy metodami mnogomernogo analiza // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2012. № 2/326. S. 58–64.

3. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N. Mnogomernaya ocenka plyusovyh derev'ev sosny obyknovnoy (*Pinus sylvestris* L.) po morfometricheskim parametram semyan // *Lesnoj vestnik/Forestry bulletin* (Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa). 2013. № 3 (95). S. 11–16.

4. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N. Obrazovanie i lignifikaciya ksilemy plyusovyh derev'ev sosny obyknovnoy // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2013. № 2/332. S. 45–52.

5. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N., Gorelov A. N. Vliyanie tekhnologicheskogo rezhima na rost i razvitie seyancev sosny obyknovnoy pri kassnetnom vyrashchivanii v teplicah // *Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo hozyajstva. Lesnoe hozyajstvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii : materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* (g. Nizhnij Novgorod, 26 sentyabrya 2019 g.) / pod obshch. red. Besschetnoy N. N. Nizhnij Novgorod : FGBOU VO Nizhegorodskaya GSKHA, 2019. S. 87–93.

6. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N., Ornat'skij A. N. Selekcionno-geneticheskie aspekty lesnogo semenovodstva // *Trudy fakul'teta lesnogo hozyajstva Nizhegorodskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii : sbornik nauchnyh statej*. Nizhnij Novgorod : NGSKHA, 2011. № 1 (1). C. 5–34.

7. Besschetnov V. P., Luginina L. I. Razvitie sazhen-cev s zakrytoj kornevoj sistemoy v usloviyah lesosemen-nyh plantacij sosny obyknovnoy // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. № 1 (43). S. 15–20.

8. Besschetnova N. N. K voprosu ob ocenke obshchej kombinacionnoj sposobnosti plyusovyh derev'ev sosny

obyknovnoy // *Lesnoj vestnik/ Forestry bulletin* (Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa). 2008. № 6 (63). S. 4–12.

9. Besschetnova N. N. Skorost' sezonnogo rosta ksilemy v godichnyh pobegah klonov plyusovyh derev'ev sosny obyknovnoy pechatnaya // *Lesnoj vestnik/ Forestry bulletin* (Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa). 2008. № 2 (59). 2008. S. 4–9.

10. Besschetnova N. N. Ocenka obshchej kombinacionnoj sposobnosti plyusovyh derev'ev sosny obyknovnoy v Nizhegorodskoj oblasti // *Lesnoj vestnik/ Forestry bulletin* (Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa). 2009. № 4 (67). S. 4–10.

11. Besschetnova N. N. Soderzhanie osnovnyh pigmentov v hvoe plyusovyh derev'ev sosny obyknovnoy // *Lesnoj vestnik/ Forestry bulletin* (Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa). 2010. № 6 (75). S. 4–10.

12. Besschetnova N. N. Sravnitel'naya ocenka plyusovyh derev'ev sosny obyknovnoy po soderzhaniyu krahmala v pobegah // *Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*. 2010. № 2 (9). S. 49–56.

13. Besschetnova N. N. Soderzhanie vodorastvorimyh saharov v kletkah pobegov plyusovyh derev'ev sosny obyknovnoy // *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa : sbornik nauchnyh trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii* (g. Bryansk, 2011 g.). Vypusk 28. Bryansk : BGTA, 2011. S. 15–19.

14. Besschetnova N. N. Sravnitel'naya ocenka klonov plyusovyh derev'ev sosny obyknovnoy po tempam vodopoteri hvoi // *Lesnoj vestnik/Forestry bulletin* (Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa). 2011. № 3 (79). S. 36–41.

15. Besschetnova N. N. Soderzhanie zhиров v kletkah pobegov plyusovyh derev'ev sosny obyknovnoy // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2012. № 4/328. S. 48–55.

16. Besschetnova N. N. Indeks neidentichnosti v selekcionnoj ocenke plyusovyh derev'ev // *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. N. I. Vavilova. Estestvennye, tekhnicheskie, ekonomicheskie nauki*. 2013. № 07. S. 11–15.

17. Besschetnova N. N. Sosna obyknovennaya (*Pinus sylvestris* L.). Reproductivnyj potencial plyusovyh derev'ev : monografiya. Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2015. 586 s.

18. Besschetnova N. N. Sosna obyknovennaya (*Pinus sylvestris* L.). Effektivnost' otbora plyusovyh derev'ev : monografiya. Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2016. 382 s.

19. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Sosna obyknovennaya (*Pinus sylvestris* L.). Morfometriya i fiziologiya hvoi plyusovyh derev'ev : monografiya. Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2014. 368 s.

20. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Ocenka genotipicheskogo neskhodstva plyusovyh derev'ev sosny obyknovnoy po vyhodu semyan iz shishek // *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2014. Vyp. 209. S. 16–30.

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

22. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Gorelov A. N. Rost klonov plyusovyh derev'ev sosny obyknovennoj, otobrannyh v nizhegorodskoj oblasti po smoloproduktivnosti // Lesnoj vestnik/Forestry bulletin. 2021. T. 25, № 4. S. 5–14. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-5-14.

23. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Ogan'yan T. A. Taksacionnye pokazateli vegetativnogo potomstva plyusovyh derev'ev sosny obyknovennoj (Pinus sylvestris L.) v arhivah klonov v Nizhegorodskoj oblasti // Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo hozyajstva. Lesnoe hozyajstvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (g. Nizhnij Novgorod, 26 sentyabrya 2019 g.) / pod obshch. red. N. N. Besschetnovoj. Nizhnij Novgorod: FGBOU VO Nizhegorodskaya GSKHA, 2019. S. 115–122.

24. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N., Tereshan'cev N. A. Var'irovanie ugla krepleniya bokovyh pobegov k stvolu plyusovyh derev'ev sosny obyknovennoj // Vestnik Nizhegorodskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2020. № 3 (27). S. 23–32.

25. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Chernyh V. L. Genotipicheskoe neskhodstvo plyusovyh derev'ev sosny obyknovennoj (Pinus sylvestris L.) po fiziologicheskomu sostoyaniyu pobegov // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. 2015. № 4 (28). S. 35–49.

26. Besschetnova N. N., Gorelov N. I., Kozlov N. A. Identifikacionnoe znachenie ugla krepleniya vetvej pri izuchenii vegetativnogo potomstva plyusovyh derev'ev sosny obyknovennoj // Lesovodstvo Nizhegorodskoj oblasti na rubezhe vekov : sbornik nauchnyh trudov po materialam nauchno-prakticheskoy konferencii. Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2004. S. 28–43.

27. Belov V. I. O neobходимosti ocenki nasledstvennyh svoystv semyan s lesesemennyh plantacij // Lesnoe hozyajstvo. 1990. № 3. S. 44–46.

28. Bratilova N. P., Fedorova V. I. Izmenchivost' semenosheniya sosny obyknovennoj na PLSU Gremuchenskogo leskhoza Krasnoyarskogo kraja // Plodovodstvo, semenovodstvo, introdukcija drevesnyh rastenij : materialy VII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. Krasnoyarsk : SibGTU, 2004. S. 31–33.

29. Vasilov S. P. Izmenchivost' suhoj massy i sodержanie vody v hvoe Pinus sylvestris (Pinaceae) // Botanicheskij zhurnal. 2005. Tom. 90, № 8. S. 1235–1247.

30. Vidyakin A. I. Indeksnyaya ocenka priznakov populyacionnoj struktury sosny obyknovennoj // Lesovedenie. 1991. № 1. S. 57–62.

31. Vidyakin A. I. Effektivnost' plyusovoj selekcii drevesnyh rastenij // Hvojnye boreal'noj zony. 2010. Vyp. XXVII, № 1-2. S. 18–24.

32. Gorelov A. N., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Taksacionnye pokazateli ispytatel'nyh kul'tur sosny

obyknovennoj v Nizhegorodskoj oblasti // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa / Pod obshchej redakciej E. A. Pamfilova : sbornik nauchnyh trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (1–30 noyabrya 2020 g.). Vypusk 58. Bryansk : BGITU, 2020. S. 87–90.

33. Dvornik V. Ya., Kotov V. S., Miheenko I. P. Geneticheskaya differenciaciya sosny obyknovennoj (Pinus sylvestris L), proizrastayushchej v razlichnyh ekotipah // Genetika. 1998. T. 34. S. 1258–1262.

34. Duharev V. A. Polimorfizm esteraz u sosny obyknovennoj v raznovozrastnyh populyacijah Pinus sylvestris L. // Genetika. 1978. T. 14, № 10. S. 1789–1793.

35. Efimov Yu. P. Semennye plantacii v selekcii i semenovodstve sosny obyknovennoj. Voronezh : Istoki, 2010. 253 s.

36. Isakov Yu. N., Semerikov V. L. Svyaz' genotipa po nekotorym allozimnym lokusam i sposobnosti k samoopyleniyu u sosny obyknovennoj // Genetika. 1997. T. 33, № 2. S. 274–276.

37. Isakov Yu. N., Kuznecova N. F., Mashkina O. S. Raznoobrazie po urovnyu samofertil'nosti i ego genotipicheskaya obuslovlennost' u sosny obyknovennoj // Lesovedenie. 2000. № 2. S. 44–50.

38. Kovalenko I. P., Besschetnov V. P., Besschetnova N. N. Effektivnost' sozdaniya lesnyh kul'tur sosny obyknovennoj posevom semyan v Nizhegorodskoj oblasti // Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa : materialy XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii (g. Vologda, 1 dekabrya 2020 g.) / otv. red. S. M. Hamitova. Vologda : VoGU, 2020. S. 60–62.

39. Kuz'mina N. A. Izmenchivost' generativnyh organov sosny obyknovennoj v Priangar'e // Selekcija hvojnyh porod Sibiri : sbornik nauchnyh trudov. Krasnoyarsk : Institut lesa i drevesiny im. Sukacheva SO AN SSSR, 1978. S. 96–120.

40. Kupriyanov N. V., Veretennikov S. S., Shishov V. V. Lesa i lesnoe hozyajstvo Nizhegorodskoj oblasti. Nizhnij Novgorod : Volgo-Vyatskoe knizh. izd-vo, 1995. 349 s.

41. Labutin A. N., Besschetnov V. P., Besschetnova N. N. Effektivnost' lesnyh kul'tur sosny i eli, sozdannyh v Nizhegorodskoj oblasti v ramkah realizacii proekta "Lesna Kiyoto" // Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa : materialy XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii (g. Vologda, 1 dekabrya 2020 g.) / otv. red. S. M. Hamitova. Vologda : VoGU, 2020. S. 72–74.

42. Luganskaya V. D. Vzaimosvyaz' razmerov hvoi s rostom po vysote u derev'ev sosny v molodnyakah srednej i yuzhnoj podzony tajgi Urala // Lesa Urala i hozyajstvo v nih : sbornik trudov. Sverdlovsk : Sredne-Ural'skoe knizh. izd-vo, 1976. Vyp. 9. S. 94–97.

43. Luginina L. I., Besschetnov V. P. Lesnye kul'tury sosny obyknovennoj (Pinus sylvestris L.) v Respublike Tatarstan, sozdannye posadochnym materialom s zakrytoj kornevoj sistemoy // Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie : materialy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii (g. Sankt-Peterburg, 24–26 maya 2017 g.) / pod red. V. M. Red'ko. Sankt-Peterburg : SPbGLTU, 2017. T. 1. S. 106–109.

44. Luginina L. I., Besschetnov V. P. Sravnitel'nyj analiz lesnyh kul'tur sosny obyknovennoj (Pinus

- sylvestris L.) v Respublike Tatarstan // Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie : materialy tret'ej mezhdunarodnoj nauchnotekhnicheskoy konferencii (g. Sankt-Peterburg, 23–24 maya 2018 g.) / pod red. V. M. Ged'o. Sankt-Peterburg : SPbGLTU, 2018. Tom 2. S. 106–109.
45. Nakvasina E. N. Izmeneniya v generativnoj sfere sosny obyknovnoj pri imitacii potepeniya klimata // Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. 2014. Vyp. 209. S. 114–125.
46. Raevskij B. V. Osobennosti vegetativnogo rosta klonov sosny obyknovnoj v Karelii // Lesnoj zhurnal. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. 2013. № 4. S. 7–15.
47. Rogozin M. V. K voprosu ob otbore urozhajnyh derev'ev sosny obyknovnoj // Lesnoj zhurnal. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. 1978. № 6. S. 8–11.
48. Samojlova L. I., Besschetnov V. P. Soderzhanie pigmentov v hvoe sosny obyknovnoj (*Pinus sylvestris* L.), vyrashchennoj po razlichnym tekhnologiyam v Respublike Tatarstan // Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo hozjajstva. Lesnoe hozjajstvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (g. Nizhnij Novgorod, 26 sentyabrya 2019 g.) / pod obshch. red. N. N. Besschetnovoj. Nizhnij Novgorod : FGBOU VO Nizhegorodskaya GSKHA, 2019. S. 212–219.
49. Semerikov L. F. Ocenka stabiliziruyushchego otbora v populyacijah duba // Ekologiya. 1974. № 5. S. 5–10.
50. Cherepnin V. L. Izmenchivost' semyan sosny obyknovnoj. Novosibirsk : Nauka, 1980. 183 s.
51. Androsiuk P., Kaczmarek Z., Urbaniak L. The morphological traits of needles as markers of geographical differentiation in European *Pinus sylvestris* populations // Dendrobiology. 2011. Vol. 65. Pp. 03–16.
52. Cermák J., Riguzzi F., Ceulemans R. Scaling up from the individual tree to the stand level in Scots pine. I. Needle distribution, overall crown and root geometry // Annals of Forest Science. 1998. Vol. 55, Numb. 1-2. Pp. 63–88.
53. Daničić V., Isaev V., Mataruga M., Cvjetković B., Milijević L. Variability of photosynthetic pigments content of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the seed orchard "Stanovi" near Doboj // Forestry science and practice for the purpose of sustainable development of forestry. Proceedings: "20 years of the faculty of forestry in Banja Luka". 1th – 4th November 2012. Banja Luka: University of Banja Luka, 2012. Pp. 687–694.
54. Hertel H., Schneck V. Genetic and phenotypically variation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations due to seed origin and environmental conditions at experimental sites // Forest Genetics. 1999. Vol. 6, No. 2. Pp. 65–72.
55. Huttunen S., Turunen M., Reinikainen J. Studies on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) needle cuticles // Annals of Forest Science. 1989. Vol. 46 No. Supplement (1989), Special Issue: Forest Tree Physiology. Pp. 553–556.
56. Ievinsh G., Ceulemans R., Ozola D. Spatial Distribution of Ethylene Production by Individual Needles along a shoot of *Pinus sylvestris* L. : Relationship with Peroxidase Activity // Annals of Botany. 1998. Vol. 82, No. 4. Pp. 489–495.
57. Jach M. E. Effects of season, needle age and elevated atmospheric CO₂ on photosynthesis in Scots pine (*Pinus sylvestris*) // Tree Physiology. 2000. Vol. 20, No. 3. Pp. 145–157.
58. Kinloch B. B., Westfall R. D., Forrest G. I. Caledonian Scots pine: origin and genetic structure // New Phytologist. 1986. Vol. 104. Pr. 703–729.
59. Klõšeiko 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 | Metsanduslikud Uurimused. 2008. Vol. 49. Pp. 25–36.
60. Kowalczyk J. Comparison of phenotypic and genetic selections in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) single tree plot half-sib progeny tests // Dendrobiology. 2005. Vol. 53. Pp. 45–56.
61. Kurkela T., Nuorteva H. Short-needle disease of Scots pine: an abnormal needle length distribution // Silva Fennica. 1998. Vol. 32, No. 1. Rr. 75–94.
62. Kurm M., Kängsepp L., Kiviste A., Sims A., Maaten T., Kaljurand H. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plus trees in Estonia // Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused. 2007. Vol. 46. Pp. 57–76.
63. Kurm M., Kiviste A., Kaur U., Maaten T. Growth Differences in the Progeny Trials of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused. 2009. Vol. 50. Pp. 84–97.
64. Lindgren D. Effect of tree cover on Scots pine pollination and seeds // Forest Genetics. 1994. Vol. 1, No. 2. Pp. 73–80.
65. Salminen H., Jalkanen R. Modelling variation of needle density of Scots pine at high latitudes // Silva Fennica. 2006. Vol. 40, No. 2. Rr. 183–194.

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

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, СОЗДАВАЕМЫЕ СТРОИТЕЛЬСТВОМ ВОДОХРАНИЛИЩ ГЭС НА ЛЕСНЫХ ЗЕМЛЯХ**В. П. Корпачев¹, А. И. Пережилин, А. А. Андрияс**Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31¹E-mail: korpachevvp@sibsau.ru

Глобальные преобразования природной среды связаны с наиболее уязвимыми компонентами природы – вода, леса. Особое влияние на окружающую среду и создание экологических проблем оказывает строительство крупных гидроэлектростанций (ГЭС) на лесопокрытых землях, в том числе – хвойными породами древесины. На долю ГЭС в структуре энергообеспечения России приходится лишь 23,3 %, а освоение экономически эффективных гидроэнергоресурсов составляет около 20 % – является самым низким уровнем среди развитых и развивающихся стран. Экономически эффективный гидроэнергетический потенциал рек Сибири используется на 29,5 %, Дальнего Востока – на 6,9 % [1]. Поэтому в соответствии с «Энергетической стратегией РФ на период до 2030 года» планировалось строительство ряда крупных ГЭС для освоения неиспользуемого потенциала рек Сибири. В Красноярском крае перспективными ГЭС являются Нижнебогучанская, Мотыгинская на реке Ангара, Эвенкийская с контррегулятором на реке Нижняя Тунгуска и Нижне-Курейская на реке Курейка [2]; на Дальнем Востоке – строительство четырех противопаводковых плотин на притоках Амура в рамках соглашения между ПАО «РусГидро» и китайской корпорацией «Три ущелья» [3]. Во вновь принятой «Энергетической стратегии РФ на период до 2035 года» [14] исключено название будущих ГЭС, но это не означает, что будут исключены из списка ранее прогнозируемые к проектированию и строительству ГЭС. Могут появиться новые объекты и очередность строительства ГЭС. Перспективное освоение гидроэнергетических ресурсов является одним из условий обеспечения национальной безопасности России. Водохранилища ГЭС на лесопокрытых землях в процессе их строительства и эксплуатации создают определенные риски для окружающей природной и социальной среды: перемещение огромных масс грунта при строительстве плотин; абразионные процессы берегов водохранилищ; миграция плавающей древесной массы хвойных пород и торфяных полей; потеря лесных ресурсов; риски ухудшения качества пресной воды в водохранилищах ГЭС. Цель представленных исследований – оценить степень значимости и вероятность возникновения неблагоприятных воздействий на окружающую природную среду от создания водохранилищ на лесных землях. Представленные выводы исследований получены на основании многолетних научно-исследовательских и проектных работ сотрудников кафедры транспорта, строительства и водопользования СибГУ им. М.Ф. Решетнева.

Ключевые слова: водохранилища ГЭС, хвойная древесина, лесопокрытые земли, неблагоприятное воздействие, гидроэнергетические ресурсы.

*Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 1, P. 38–45***TECHNICAL PROBLEMS, CREATED BY CONSTRUCTION OF RESERVOIRS OF HPP ON FOREST LANDS****V. P. Korpachev¹, A. I. Perezhilin, A. A. Andriyas**Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation¹E-mail: korpachevvp@sibsau.ru

Global transformations of the natural environment are associated with the most vulnerable components of nature – water, forests. The construction of large hydroelectric power plants (HPP) on wooded lands, including coniferous wood, has a particular impact on the environment and the creation of environmental problems. The share of HPP in the structure of energy supply in Russia accounts for only 23,3 %, and the development of economically efficient hydropower resources is about 20 %, which is the lowest level among developed and developing countries. The economically efficient hydropower potential of Siberian rivers is used by 29,5 %, the Far East – by 6.9 % [1]. Therefore, in accordance with the «Energy Strategy of the Russian Federation for the Period up to 2030», it was planned to build a number of large HPP to develop the unused potential of Siberian rivers. In the Krasnoyarsk Territory, promising HPP are Nizhneboguchanskaya, Motygin'skaya on the Angara River, Evenkyskaya with a counter-regulator on the Nizhnyaya Tunguska River and Nizhne-Kureiskaya on the Kureika River [2]; in the Far East – the construction of four flood-proof dams on the tributaries of the Amur within the framework of an agreement between PJSC RusHydro and the Chinese corporation Three Gorges [3]. In the newly adopted «Energy Strategy of the Russian

Federation for the Period up to 2035» [14], the names of future HPP are excluded, but this does not mean that HPP that were previously forecasted for design and construction will be excluded from the list. New objects and the order of construction of the HPP may appear. The prospective development of hydropower resources is one of the condition in ensuring the national security of Russia. HPP reservoirs on wooded lands in the process of their construction and operation create certain risks for the surrounding natural and social environment: the movement of huge masses of soil during the construction of dams; abrasion processes on the banks of reservoirs; migration of floating coniferous wood pulp and peat fields; loss of forest resources; risks of deterioration of fresh water quality in reservoirs of HPP. The purpose of the presented studies is to assess the degree of significance and the likelihood of adverse impacts on the environment from the creation of reservoirs on forest lands. The presented research findings were obtained on the basis of many years of research and design work of employees of the Department of Transport, Construction and Water Use of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology.

Keywords: reservoirs HPP, coniferous wood, wooded land, adverse impact, hydropower resources.

ВВЕДЕНИЕ

Авария на Саяно-Шушенской ГЭС 17.08.2009 г. привела к гибели людей, а ликвидация последствий этой аварии продолжалась более 5 лет и на это были потрачены миллиарды рублей. Аномальный паводок в Амурском бассейне в 2013 году нанес ущерб более 30 млрд руб. В сопредельном Китае это наводнение также принесло большие бедствия, включая человеческие жертвы [4]. Обрушение грунта береговой зоны в результате оползня на водохранилище Бурейской ГЭС в декабре 2018 года [23] еще раз подтвердило необходимость предусматривать все возможные негативные техногенные и природные ситуации при проектировании, строительстве и эксплуатации ГЭС.

В комментариях Федерального закона № 117-ФЗ от 21.07.1997 г. «О безопасности гидротехнических сооружений» [5] отмечается, что безопасность, как свойство системы «человек–объект–среда», обеспечена, если объект технически надежен, экономически эффективен, экологически приемлем и эстетически привлекателен. Экономическая эффективность выражается в ежегодных издержках на эксплуатацию. Экологическая приемлемость – совокупность положительных и отрицательных воздействий функционирования объекта на геологическую среду и гидросферу, атмосферу и экосферу, в том числе и на человека [6].

Международная комиссия по крупным плотинам провела глобальный обзор информации о разрушении плотин в отчете [7] отметила, что, несмотря на рост внимания к безопасности плотин, около 20 % плотин, построенных за последние три десятилетия, не имеют результатов оценки их безопасности.

В отчете Всемирной комиссии по плотинам и в научных публикациях водохранилища рассматриваются, в основном, как емкость для сбора и хранения воды, хотя по капитальным вложениям доля затрат на подготовку ложа водохранилища под затопление составляет до 50 % от общей сметы гидроузла [8].

Российским законодательством ответственность за обеспечение безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений возложена на собственника. Из 30 тысяч напорных гидротехнических сооружений, эксплуатирующихся в России, только 1,3 % находятся в федеральной собственности, субъектам федерации принадлежит 19 %, остальные находятся в собственности хозяйствующих субъектов (ПАО, ОАО, ЗАО, ООО и др.), которые очень неохотно вкладывают средства в повышение безопасности [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Особенность строительства крупных ГЭС в Сибири и на Дальнем Востоке заключается в том, что водохранилища создаются на покрытых лесом землях со средним запасом древесной и кустарниковой растительности до 200 м³ на один гектар.

Требования к подготовке лож водохранилищ ГЭС для обеспечения соответствующего качества воды в них устанавливают СанПиН 3907-85 «Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ» [10]. Требованиям этого документа руководствовались проектные и строительные организации. Утвержденный 27.12.2009 г. стандарт СТО 17130282.27.140.036–2009 «Гидроэлектростанции. Водоохранилища ГЭС. Основные правила проектирования и строительства. Нормы проектирования» [11] практически расширил основные положения СанПиН 3907–85.

В комплекс мероприятий по подготовке зоны затопления входят: санитарная очистка территорий населенных пунктов, предприятий, зданий и сооружений, а также мест массивного загрязнения; мероприятия в местах захоронений; подготовка санитарных зон прибрежных населенных пунктов и инженерная защита. Пунктами 9.5.1, 9.5.2 [11] предусматривается также очистка территории от древесной и кустарниковой растительности, то есть лесосводка и лесочистка ложа водохранилища.

Вторым регламентирующим документом на проектирование, строительство и очистку зоны затопления от древесной и кустарниковой растительности являются технические условия на лесосводку и лесочистку ложа, разрабатываемые индивидуально для каждого водохранилища.

Опыт строительства ГЭС и подготовки зон затопления показал, что ни на одном водохранилище ГЭС Сибири не были выполнены, по разным причинам, работы по лесосводке и лесочистке в проектных объемах. Основными же причинами этого являются убыточность и сжатые сроки работ, которые не увязываются с графиками наполнения водохранилищ. Поэтому в ложах построенных крупнейших водохранилищ ГЭС Ангаро-Енисейского региона и Дальнего Востока затоплено 1009,0 тыс. га лесных земель. Под водой оказалось 37,5 млн м³ древесной и кустарниковой растительности, на плаву находится около 5,5 млн м³ и, в том числе, в зоне сработки уровня водохранилищ – 2 млн м³ древесины (табл. 1).

Таблица 1
Характеристика лож крупных водохранилищ Сибири и Дальнего Востока

Показатель	Водохранилище								
	Братское	Красноярское	Усть-Илимское	Саяно-Шушенское	Богучанское	Курейское	Бурейское	Нижне-Бурейское	Зейское
Год заполнения водохранилища	1967	1970	1977	1998	2015	1991	2009	2017	1985
Площадь зеркала, км ²	5470	2000	1922	621	2330	558	740	154	2419
Полный объем водохранилища, км ³	169,3	73,3	58,93	31,34	58,2	9,96	20,94	2,034	68,42
Коэффициент водообмена	0,55	1,20	1,72	1,50	1,82	1,97	1,80	14,0	0,35
Протяженность водохранилища при НПУ, км	570	380	302	312	375	160	234	89,6	225
Протяженность береговой линии, км	6036	1560	2384	1364	2430	–	1510	200	–
Доля абразионного размыва берегов, %	41	71	26	9,7	31,5	–	10	14	–
Площадь затопления земель, тыс. га – в том числе покрытая лесом	510,5 236,9	175,0 38,0	154,0 127,8	54,6 48,9	157,34 129,5	55,8 30,5	66,1 62,34	11,7 8,22	229,5 225,6
Общий запас насаждений, млн м ³	40,5	0,5	14,4	3,7	13,5	1,8	5,72	0,33	–
Проектный объем затопления древесины, млн м ³	4,0	0,3	1,6	2,1	2,0	0,5	3,6	0,305	–
Реальный объем затопления древесины, млн м ³	12,3	0,5	5,0	3,5	10,3	1,7	3,8	0,401	–
Объем плавающей древесины, млн м ³	2,2	0,1	0,9	0,2	1,2	–	0,88	0,0175	–
% всплывания от затопленной древесины	18,3	20	18	5,7	11,6	–	23	4,36	–

Затопленные водохранилищем ГЭС лесные земли являются источником, приносящим в процессе эксплуатации водохранилищ определенную опасность:

- появившаяся на акватории водохранилища плавающая древесная масса под воздействием ветро-волновых нагрузок мигрирует по акватории водохранилища, представляет угрозу судоходству, лесотранспорту, снижает рекреационную привлекательность водохранилищ (рис. 1);

- на акватории водохранилищ появились плавающие мигрирующие торфяные поля (рис. 2);

- берега водохранилищ подвержены размыву, при котором обрушаются в водохранилище вместе с растущими деревьями (рис. 3);

- древесная масса, лесная подстилка, торф влияют на качество воды.

Наиболее изученным с точки зрения формирования запасов древесной массы на акватории водохранилищ является водохранилище Братской ГЭС. Этой проблемой с 1986 г. занимался авторский коллектив кафедры водного транспорта леса СибГТУ: Малинин Л. И., Чебых М. М., Корпачев В. П., Худоногов В. Н. в рамках научно-исследовательских работ, выполняемых в отраслевой лаборатории Минлеспроба и Минвуза СССР.

На основе многолетних натуральных наблюдений на водохранилищах Братской, Усть-Илимской, Красноярской ГЭС и впадающих в них реках, были установлены основные природные и антропогенные источники засорения древесной массой и органическими веществами растительного происхождения водохрани-

лищ ГЭС, определены количественные показатели источников поступления плавающей древесины и разработана методика прогнозирования поступления древесной массы на акваторию водохранилища, аналогов которой нет в мировой практике [12; 13; 19].

Наблюдения на Братском водохранилище показали, что начиная с 1967 по 1990 годы в водохранилище поступило около 9 млн м³ древесной массы. За эти же годы было убрано (освоено) с акватории водохранилища и передано Братскому ЛПК более 7 млн м³ древесины, в среднем около 300 тыс. м³ в год, однако запасы плавающей древесной массы практически не уменьшаются [12]. Аналогичная ситуация наблюдается и на Усть-Илимском водохранилище. Это свидетельствует о том, что идет непрерывный процесс восполнения объемов плавающей древесной массы.

Берега водохранилищ находятся под воздействием ветровых волн, вдоль береговых течений, колебания уровня воды, воздействия ледового поля. Доля абразионного размыва берегов водохранилищ зависит от геологического строения чаши водохранилища. Так, на Братском водохранилище 41 % береговой линии подвержен размыву, на Богучанском – 31,5 % (табл. 1). Только от размыва берегов на акваторию водохранилища Богучанской ГЭС ежегодно поступает более 170 тыс. м³ древесной массы [12].

Плавающая древесная масса под воздействием ветро-волновых нагрузок мигрирует по акватории водохранилища, представляя угрозу для эксплуатации ГЭС, судоходства, лесосплава и других водопользователей.



Рис. 1. Плавающая древесная масса на акватории Саяно-Шушенского водохранилища (2015 г.)



Рис. 2. Плавающие торфяные поля на акватории Богучанского водохранилища (2016 г.)

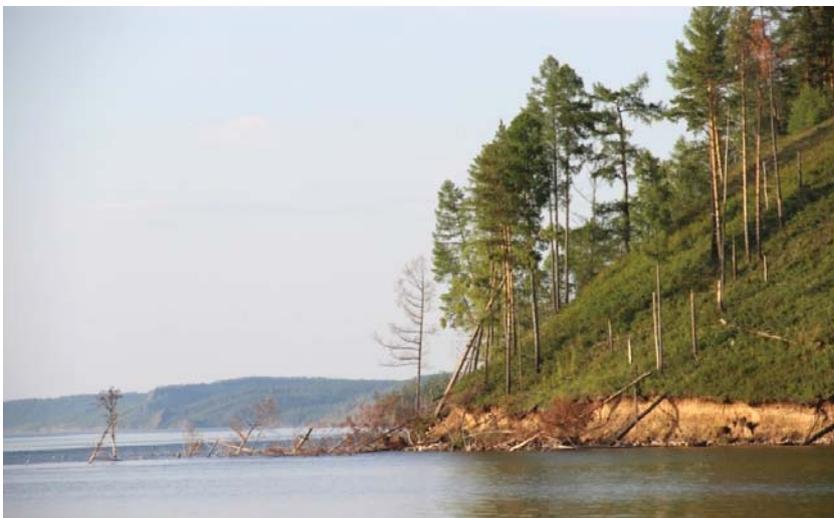


Рис. 3. Разрыв и обрушение береговой зоны Богучанского водохранилища (2016 г.)

Наиболее распространенным средством защиты плотины ГЭС от плавающей древесной массы и торфяных полей являются запани. Расчет лесозадерживающей запани для речных условий выполняется по инструкции [15], при этом действующие нагрузки на запань учитываются только от воздействия течения и ветра. На водохранилищах необходимо еще учитывать волновые нагрузки. При этом важным параметром для определения нагрузки на канаты является поступающий в запань объем древесины. Для речных условий расчетная нагрузка от воздействия течения и ветра учитывается только от объема древесины расположенной в длине пыжа равной восьмикратной ширине реки. Дальнейшее увеличение длины пыжа не влияет на нагрузку на канаты и элементы запани, поскольку силы трения древесины в пыже о берега реки уравниваются возрастающей нагрузкой от воздействия течения и ветра. Максимальная ширина запани для рек около 500 м, для водохранилищ ширина запани может быть более 500 м. Поэтому поступающая древесина может полностью разместиться в сегменте запани, т. е. необходимо учитывать нагрузки от воздействия всего объема древесины.

Авторы статьи разработали методику расчета нагрузок на элементы запани для водохранилищ ГЭС используя инструкцию [15] и свод правил [16; 17].

Водоохранилища ГЭС, построенные на лесопокртых территориях, явились аккумулятором не только плавающей, затопленной и полузатопленной древесной массы, но и значительной массы органических веществ растительного происхождения: лесной опад, корневая система деревьев и кустарников, гумус, торф.

Основные опасности, связанные с затоплением заторфованных территорий и всплыванием торфяных залежей:

– всплывание и миграция торфяных островов (полей) может нарушить нормальную работу ГЭС и затруднить эксплуатацию водохранилищ водопользователями;

– изменение химического и газового состава природных вод водохранилища под влиянием продуктов разложения органических остатков затопленных торфяных залежей;

– загрязнение природных вод торфяной крошкой, оказывающей вредное воздействие на ихтиофауну.

Характеристика площади затопления торфяных площадей и прогнозного объема всплытия торфа в зоне затопления водохранилища Богучанской, проектируемых Мотыгинской и Эвенкийской ГЭС представлена в табл. 2.

В настоящее время торф несколько забыт как топливо и исходный материал для производства ряда полезных продуктов в сельском хозяйстве, животноводстве, медицине, биохимии, энергетике.

Для сбора, разрезания, подготовки к буксировке торфяных полей к месту выгрузки и переработки можно отметить лишь две работы – [21; 22]. Это технология, разработанная на кафедре использования водных ресурсов СибГТУ, для разрезания торфяных полей на буксируемые транспортные единицы с использованием энергии гидравлических струй [22]. В работе [21] предлагается технологически более сложный многооперационный способ разрезания торфяного поля с использованием тросовой системы и лебедки, установленной на плавающем тракторе.

Водоохранилища ГЭС играют и положительную роль являясь аккумулятором паводковых вод. Во время аномального паводка в 2013 г. в бассейне Амура в водохранилище только Зейской ГЭС поступило 8–14,2 км³ воды [4], что несколько снизило негативные последствия от паводка.

После прохождения паводка в бассейне Амура, было дано поручение Президента России и Правительства РФ о разработке системы регулирования поверхностного стока путем создания противопаводковых водохранилищ – к началу 2014 г. был составлен список из 8–10 потенциальных противопаводковых ГЭС.

Таблица 2
Характеристика торфяных залежей

Показатель	Богучанская ГЭС [18]	Мотыгинская ГЭС [19]	Эвенкийская ГЭС [20]	Всего
Общая площадь затопления лесных земель, км ²	1294,9	1307,6	8445,5	11108
Общая площадь затопления торфяников, км ²	95,5	11,62	108,26	215,38
Площадь всплывания торфа, км ²	15,0	6,43	31,46	52,89
% всплывания	15,7	55,3	29,06	

Таблица 3
Ориентировочные параметры противопаводковых водохранилищ

Водоохранилище	Река	НПУ, м БС	Длина водохранилища, км	Площадь зеркала, км ²	Максимальная глубина, м	Средняя глубина, м	Площадь затопляемых земель, тыс. га	Залесенная площадь, тыс. га	Корневой запас, тыс. м ³
Нижне-Зейское	Зeya	187	220,0	260,0	34,5	11,9	16,2	3,2	200,0
Селемджинское	Селемджа	215	47,0	300,0	25,0	7,0	27,0	9,0	440,0
Гиллюйское	Гиллюй	430	175,0	210,0	90,0	29,0	18,8	15,7	1644,0
Ургальское	Ниман	450	95,0	370,0	135,3	36,5	35,7	29,7	2911,0

В ноябре 2014 г. в Пекине было подписано соглашение между ОАО «РусГидро» и корпорацией «Три ущелья» о совместной реализации проектов, предусматривающих проектирование и строительство четырех противопаводковых ГЭС на притоках Амура [3] (см. табл. 3).

Строительство противопаводковых плотин на притоках Амура требует дополнительного изучения и стратегической экологической оценки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Многолетний опыт наблюдений за подготовкой, созданием и эксплуатацией водохранилищ ГЭС построенных в лесных регионах выявил проблемы экологического, экономического и социального направлений. Одной из проблем является засорение водохранилищ затопленной, плавающей древесиной и древесиной в зоне сезонной сработки уровня водохранилища. Объемы плавающей древесины составляют более 5,0 млн м³, затопленной – около 37 млн м³. Причинами появления этой древесной массы явились природные и антропогенные факторы. Плавающая древесина под воздействием ветро-волновых нагрузок мигрирует по акватории водохранилищ, представляя угрозу для эксплуатации ГЭС, судоходства и лесосплава.

2. Зоны затопления водохранилищами ГЭС отличаются по морфометрическим, гидрологическим, таксационным показателям. Поэтому технология сбора древесины, ее транспортировка, частичная подготовка и переработка в конечный продукт должна разрабатываться конкретно для каждого водохранилища. Собранный древесина имеет низкокачественные характеристики и не может конкурировать по цене со свежесрубленной древесиной. Поэтому трудно рассчитывать на коммерциализацию и инвестиционную привлекательность. При этом необходима разработка технологий и технических средств освоения (сбора и переработки) на водохранилищах плавающей, полузатопленной и осевшей на берегах древесины на базе передовых производственных технологий машиностроения, с учетом современного проектирования и мощностей по созданию прототипов, что позволит создавать не имеющую аналогов технику. Заблаговременное планирование и производство работ по очистке акваторий водохранилищ от плавающей и затопленной древесины позволит не только снизить расходы, но не допустить проявления различных чрезвычайных ситуаций (ухудшение качества воды, помехи судоходству, аварии и т. п.), вовлечь в производство значительные объемы древесины.

3. Водоохранилища, построенные на лесных землях, затопили торфяные залежи. Только в приведенных данных (табл. 3) площади затопления составляют 215,38 км². Затопленные торфяные залежи под воздействием различных факторов всплывают на поверхность и мигрируют по акваториям водохранилищ, представляя опасность для ГЭС, судоходства, лесосплава, оказывают влияние на качество воды. В настоящее время для очистки акваторий водохранилищ от плавающих торфяных полей можно применить технологию СибГТУ [22].

4. Реальной защитой плотины ГЭС от воздействия плавающей древесной массы служат лесозадерживающие запаны. Для расчета лесозадерживающих запаней для речных условий существует Инструкция [15]. Для условий водохранилищ необходимо учитывать нагрузки на запань и древесный пыж от воздействия течения, ветра и волн. Методика расчета нагрузок на лесозадерживающие запаны для условий водохранилищ разработана на кафедре использования водных ресурсов СибГТУ.

5. Мониторинг и оценка состояния береговой полосы и запасов древесной массы в водохранилище, миграции древесины и торфяных полей с применением дистанционного зондирования и беспилотных летательных аппаратов позволяют: вести оперативную оценку изменения объемов; выполнять прогнозирования различных сценариев развития ситуации; получать исходные данные для разработки проектной документации по очистке водохранилища и различным защитным мероприятиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- Новоженин В. Д., Тулянкин С. В. Гидроэнергетика России // Гидротехническое строительство. 2016. № 1. С. 2–7.
- Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утв. Распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 г. № 1715-р.
- ПАО «РусГидро» [Интернет-ресурс] / «РусГидро» подписало соглашение с китайской корпорацией «Три Ущелья» о совместной реализации гидроэнергетических проектов на Дальнем Востоке России // Режим доступа: <http://www.rushydro.ru/press/news/95542.html> (дата обращения: 20.04.2019).
- Никитина О. И., Симонов Е. А., Егидарев Е. Г. Адаптация к наводнениям на Амуре и охрана природы // Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов». 2015. № 3. С. 15–24.
- О безопасности гидротехнических сооружений. Федеральный закон № 117-ФЗ от 21.07.1997.
- Малаханов В. В. О концепции безопасности гидротехнических сооружений // Гидротехнические сооружения. 2002. № 9. С. 34–46.
- Плотины и развитие: Новая методическая основа для принятия решений: отчет Всемирной комиссии по плотинам. М. : Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2009. 200 с.
- Горюнов П. В. Экономический парадокс – гидроэнергетика и водохранилища ГЭС // Гидротехническое строительство. 2002. № 10. С. 17–21.
- Фролов Д. И., Волосухин В. А. Совершенствование Российского законодательства по безопасности гидротехнических сооружений // Использование и охрана природных ресурсов в России : Научно-информационный и проблемно-аналитический бюллетень. 2012. № 6. С. 17–21.
- СанПиН 3907–85 Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ. Утв. Заместителем главного государственного врача СССР 01.07.1985 г.
- СТО 171302282/17/27/140/036–2009 «Гидроэлектростанции. Водоохранилища ГЭС. Основные пра-

вила проектирования и строительства. Нормы и правила». Дата введения. 12.31.2009. 48 с.

12. Корпачев В. П., Пережилин А. И., Андрияс А. А. Водохранилища ГЭС Сибири. Проблемы проектирования, создания и эксплуатации : монография. Красноярск : СибГТУ, 2015. 209 с.

13. Корпачев В. П., Малинин Л. И., Чебых М. М. Методика прогнозирования поступления древесной массы при затоплении и эксплуатации водохранилищ ГЭС Ангаро-Енисейского региона // Использование и восстановление ресурсов Ангаро-Енисейского региона : сб. науч. тр. Всесоюзн. науч.-практ. конф. Т. II. Красноярск, Лесосибирск, 1991. С. 107–113

14. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. Утв. Распоряжением Правительства РФ от 09.06.2020 г. № 1523-р.

15. Марков С. Г., Федоров К. К., Александров В. Д. Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству, монтажу и эксплуатации запаней ; под ред. Г. Д. Яковлева. М. : Лесн. пром-сть, 1971. 104 с.

16. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85. Утв. Приказом Минстрой России от 03.12.2016 г. № 89, введен с 04.06.2017 г.

17. СП 38.13330.2018 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Утв. приказом министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 16.08.2018 г. № 53; введен с 17.02.2019 г.

18. Уточненный прогноз всплывания торфа в Богучанском водохранилище. Книга I: отчет о НИР / Горьковская геологоразведочная экспедиция ПО «Торфгеология», рук. В. И. Деньгуб. Горький, 1987. 115 с.

19. Корпачев В. П., Пережилин А. И., Андрияс А. А. Прогноз загрязнения водохранилища Мотыгинской ГЭС органическими веществами растительного происхождения // Хвойные бореальной зоны, Т. 33, № 1-2. 2015. С. 66–68.

20. Оценка объемов болотно-торфяных залежей зоны затопления Эвенкийской ГЭС / В. П. Корпачев, А. И. Пережилин, А. А. Андрияс, Ю. И. Рябоконь // Хвойные бореальной зоны, Т. 32, № 5-6. 2014. С. 90–94.

21. Патент № 1312139 СССР. МПК E02B 15/00. Способ борьбы с плавающими торфяными островами / Пыжиков А. В. [и др.]. (СССР). заявл. 25.11.85, опубл. 23.05.87; Бюл. № 19. 2 с.

22. Патент № 2444590 Россия. МПК E02B 15/00, E21C 49/00. Способ разработки торфяных полей на акваториях водохранилищ и устройство для осуществления способа / Корпачев В. П. [и др.]. (РФ). заявл. 12.07.2010, опубл. 10.03.2012; Бюл. № 7. 3 с.

23. Махинов А. Н. Оползень и цунами на реке Буре 11 декабря 2018 года // Научно-популярная библиотека, «Природа». 2019. № 4. 14 с.

REFERENCES

1. Novozhenin V. D., Tulyankin S. V. *Gidroenergetika Rossii // Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo*. 2016. № 1. S. 2–7.

2. *Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda*. Utv. Rasporyazheniyem Pravitel'stva RF ot 13.11.2009 g. № 1715-r.

3. PAO “RusGidro” [Internet-resurs] / “RusGidro” podpisalo soglasheniye s kitayskoy korporatsiyey “Tri Ushchel'ya” o sovместnoy realizatsii gidroenergeticheskikh proyektov na Dal'nem Vostoke Rossii // *Rezhim dostupa: http://www.rushydro.ru/press/news/95542.html (data obrashcheniya: 20.04.2019)*.

4. Nikitina O. I., Simonov E. A., Yegidarev E. G. *Adaptatsiya k navodneniyam na Amure i okhrana prirody // Byulleten' “Ispol'zovaniye i okhrana prirodnikh resursov”*. 2015. № 3. S. 15–24.

5. *O bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Federal'nyy zakon № 117-FZ ot 21.07.1997*.

6. Malakhanov V. V. *O kontseptsii bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy // Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo*. 2002. № 9. S. 34–46.

7. *Plotiny i razvitiye: Novaya metodicheskaya osnova dlya prinyatiya resheniy: otchet Vsemirnoy komissii po plotinam*. M. : Vsemirnyy fond dikoy prirody (WWC), 2009. 200 s.

8. Goryunov P. V. *Ekonomicheskyy paradoks – gidroenergetika i vodokhranilishcha GES // Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo*. 2002. № 10. S. 17–21.

9. Frolov D. I., Volosukhin V. A. *Sovershenstvovaniye Rossiyskogo zakonodatel'stva po bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy // Ispol'zovaniye i okhrana prirodnikh resursov v Rossii : Nauchno-informatsionnyy i problemno-analiticheskiy byulleten'*. 2012. № 6. S. 17–21.

10. SanPiN 3907–85 *Sanitarnyye pravila proyektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii vodokhranilishch*. Utv. Zamestitel'em glavnogo gosudarstvennogo vracha SSSR 01.07.1985 g.

11. STO 171302282/17/27/140/036–2009 “*Gidroelectrostantsii. Vodokhranilishcha GES. Osnovnyye pravila proyektirovaniya i stroitel'stva. Normy i pravila*”. Data vvedeniya. 12.31.2009. 48 s.

12. Korpachev V. P., Perezhilin A. I., Andriyas A. A. *Vodokhranilishcha GES Sibiri. Problemy proyektirovaniya, sozdaniya i ekspluatatsii : monografiya*. Krasnoyarsk : SibGTU, 2015. 209 s.

13. Korpachev V. P., Malinin L. I., Chebykh M. M. *Metodika prognozirovaniya postupleniya drevesnoy massy pri zatoplenii i ekspluatatsii vodokhranilishch GESAngaro-Yeniseyskogo regiona // Ispol'zovaniye i vosstanovleniye resursov Angaro-Yeniseyskogo regiona : sb. nauch. tr. Vsesoyuzn. nauch.-prakt. konf. T. II*. Krasnoyarsk, Lesosibirsk, 1991. S. 107–113

14. *Energeticheskaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2035 goda*. Utv. Rasporyazheniyem Pravitel'stva RF ot 09.06.2020 g. № 1523-r.

15. Markov S. G., Fedorov K. K., Aleksandrov V. D. *Instruktsiya po izyskaniyam, proyektirovaniyu, stroitel'stvu, montazhu i ekspluatatsii zapaney ; pod red. G. D. Yakovleva*. M. : Lesn. prom-st', 1971. 104 s.

16. СП 20.13330.2016 *Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*. Утв. Приказом Минстрой России от 03.12.2016 г. № 89, введен с 04.06.2017 г.

17. СП 38.13330.2018 *Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)*. Утв. приказом министерства строите

zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva RF ot 16.08.2018 g. № 53; vveden s 17.02.2019 g.

18. Utochnennyy prognoz vsplyvaniya torfa v Boguchanskom vodokhranilishche. Kniga I: otchet o NIR / Gor'kovskaya geologorazvedochnaya ekspeditsiya PO "Torfgeologiya", ruk. V. I. Den'gub. Gor'kiy, 1987. 115 s.

19. Korpachev V. P., Perezhilin A. I., Andriyas A. A. Prognoz zagryazneniya vodokhranilishcha Motyginskoy GES organicheskimi veshchestvami rastitel'nogo proiskhozhdeniya // Khvoynyye boreal'noy zony, T. 33, № 1-2. 2015. S. 66–68.

20. Otsenka ob'yemov bolotno-torfyanykh zalezhey zony zatopeniya Evenkiyskoy GES / V. P. Korpachev, A. I. Perezhilin, A. A. Andriyas, YU. I. Ryabokon' // Khvoynyye boreal'noy zony, T. 32, № 5-6. 2014. S. 90–94.

21. Patent № 1312139 SSSR. MPK E02B 15/00. Sposob bor'by s plavayushchimi torfyanyimi ostrovami / Pyzhikov A. V. [i dr.]. (SSSR). zayavl. 25.11.85, opubl. 23.05.87; Byul. № 19. 2 s.

22. Patent № 2444590 Rossiya. MPK E02B 15/00, E21C 49/00. Sposob razrabotki torfyanykh poley na akvatoriyakh vodokhranilishch i ustroystvo dlya osushchestvleniya sposoba / Korpachev V. P. [i dr.]. (RF). zayavl. 12.07.2010, opubl. 10.03.2012; Byul. № 7. 3 s.

23. Makhinov A. N. Opolzen' i tsunami na reke Bureye 11 dekabrya 2018 goda // Nauchno-populyarnaya biblioteka, "Priroda". 2019. № 4. 14 s.

© Кorpachev В. П., Пережилин А. И.,
Андрьяс А. А., 2022

Поступила в редакцию 05.10.2021
Принята к печати 31.01.2022

ОЦЕНКА ПОДПОЛОВОГОВЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ В УРОЧИЩЕ «МАЙДАТ» ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ КРАСНОЯРСКА

А. И. Свалова, Н. П. Братилова, А. Г. Лузганов

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

Проведена лесоводственно-таксационная оценка культур сосны кедровой сибирской, созданных гнездовым способом под пологом осинового древостоя в пригородной зоне Красноярск в 1963 г. Установлено, что к 58-летнему биологическому возрасту средние размеры деревьев зависят от их числа в одном посадочном месте – с уменьшением сохранности растений в «гнезде» увеличиваются средняя высота и диаметр оставшихся деревьев. Размеры лидирующих в посадочных местах деревьев (первого ранга) соответствуют первому классу бонитета и отличаются низкой изменчивостью во всех вариантах, вне зависимости от сохранности растений в «гнезде».

Рассчитаны показатели селекционного коэффициента и относительной высоты деревьев сосны кедровой сибирской, характеризующие состояние деревьев в «гнездах». Выявлено, что при большей сохранности деревьев в одном посадочном месте селекционный коэффициент отличается большими значениями, но меньшей изменчивостью, что указывает на снижение конкуренции между деревьями густых «гнезд», росших в лучших условиях освещения, чем «гнезд», в которых, из-за низкой освещенности сохранилось меньшее количество деревьев.

Установлено, что наибольшими размерами характеризуются деревья сосны кедровой сибирской, произрастающие под пологом леса меньшей полноты.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, подпологовые культуры, полнота древостоя, посадочное место, рост, относительная высота.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 1, P. 46–59

ASSESSMENT OF CULTURES UNDER FOREST CANOPY OF SIBERIAN CEDAR PINE IN THE TRACT “MAYDAT” IN THE SUBURBAN ZONE OF KRASNOYARSK

A. I. Svalova, N. P. Bratilova, A. G. Luzganov

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

The forestry and taxation assessment of Siberian cedar pine crops created by nesting under the canopy of an aspen stand in the suburban area of Krasnoyarsk in 1963 was carried out. The average size of trees depends on their number in one planting place – with a decrease in the safety of plants in the “nest”, the average height and diameter of the remaining trees increase by the biological 58-year age. The sizes of the trees leading in the planting places (of the first rank) correspond to the first class of bonitet and are characterized by low variability in all variants, regardless of the safety of plants in the “nest”.

The indicators of the selection coefficient and the relative height of the Siberian cedar pine trees, characterizing the condition of the trees in the “nests”, are calculated. The selection coefficient differs in large values with greater preservation of trees in one planting site, but less variability, which indicates a decrease in competition between trees of dense “nests”, growing under better light conditions than “nests” in which, due to low light conditions, fewer trees were preserved.

It was found that Siberian pine trees growing under a canopy of less complete forests are characterized by the largest sizes.

Keywords: *Pinus sibirica, cultures under forest canopy, completeness of stand, planting place, growth, relative height.*

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных целей создания подпологовых лесных культур является преобразование насаждений из светолюбивых древесных пород в сложные, для повышения их продуктивности и устойчивости.

С. А. Терехова и др. [27] считают, что у сосны кедровой сибирской возникает доминирующее положение в древостоях благодаря ряду факторов: большой продолжительности жизни, широкой экологической амплитуде к почвенным, климатическим и гидрологиче-

ским условиям, высокой теневыносливостью в молодые годы. Н. В. Никитина и др. [18] указывали на стабильно высокую численность кедрового подростка в разных типах леса на северо-восточной границе ареала (юго-западной части Якутии), что характеризует высокий потенциал его возобновления. Ими была отмечена наибольшая численность подростка сосны кедровой сибирской под пологом древостоев с участием взрослых кедровых деревьев в составе не менее трех единиц. А. Н. Панов [20], анализируя накопление фотосинтетических пигментов у подростка сосны кедровой сибирской, сделал вывод о его высокой пластичности и адаптационной способности к изменяющимся условиям произрастания.

А. В. Винобер и др. [6] отмечают, что под пологом березовых насаждений кедровый подрост отличается лучшим ростом, чем под пологом сосны обыкновенной или сосны кедровой сибирской.

Сохранность и рост кедровых деревьев, произрастающих в подполюговых кедровых культурах, созданных на территории нашей страны в середине XX века, изучаются и в настоящее время [3; 4; 5; 11; 13; 14; 21; 24, 25 и др.]. Опыт создания подполюговых кедровых культур под пологом березового древостоя на территории Уральского учебно-опытного лесхоза УГЛТА отражен в работе С. В. Залесова [10], на территории дендрария Сибирской лесной опытной станции г. Тюмени – в статье М. Н. Казанцевой и др. [12]. П. М. Ермоленко и др. [9], изучив рост подполюговых культур кедровых сосен в осиннике крупнотравно-папоротниковом в черневом поясе Западного Саяна, пришел к выводу о возможности создания кедровых культур под пологом лиственных древостоев.

Л. А. Белов и др. [1] анализировали переформирование производных березняков в коренные кедровники на территории подзоны южной тайги Урала. По их мнению, наличие верхнего полога березы в первые годы после посадки кедровых культур снижает необходимость в агротехнических уходах. После смыкания крон деревьев сосны кедровой сибирской следует удалять затеняющие лиственные деревья.

А. И. Иванов и др. [11] отдают предпочтение подполюговым культурам сосны кедровой корейской перед посадкой на открытом месте на территории южной части Дальнего Востока. Но указывают на отрицательное влияние отсутствия или несвоевременного проведения лесоводственных уходов за подполюговыми культурами, что сказывается на снижении темпов их роста. По их мнению, величина годичных приростов в высоту и по диаметру во многом определяется абсолютной полнотой древесного полога.

Интенсивность роста кедра корейского под пологом леса в опытах М. П. Пулинца [22] во Владивостокском лесхозе отмечалась в несколько раз меньше, чем в лесных культурах на открытом пространстве.

А. М. Данченко, И. А. Бех [8], подчеркивали, что масса хвои одного дерева сосны кедровой сибирской под пологом леса в 3–4 раза ниже, чем на поляне. По их мнению, разница в росте по основным таксационным показателям – высоте и диаметру – в культурах сосны кедровой сибирской разной степени освещенности возрастает с пятилетнего возраста. И. А. Бех [2]

считал, что при полном освещении сосна кедровая сибирская растет лучше, чем при затенении. Н. Ю. Сташкевич [25] указывал на превосходство лесных культур, созданных на открытом месте перед кедровым подростом под пологом березово-соснового насаждения по высоте, ежегодным приростам, охвоенности крон деревьев и продолжительности жизни хвои.

Э. В. Колосовским и др. [13] определен лучший рост сосны кедровой сибирской при меньшей сомкнутости полога древостоя (0,3–0,5 в сравнении с 0,6–0,9).

Г. И. Пуджа и др. [21], исследуя рост трех типов лесных кедровых культур (подполюговых, созданных реконструкцией малоценных насаждений и последующих) в подзоне южной тайги Томской области, выявили, что на рост культур, созданных под пологом леса, в большей степени оказывают отрицательное воздействие корневые системы взрослых деревьев, недостаток освещенности и питательных веществ.

М. М. Спасибова и др. [26] отмечали, что в подполюговых культурах молодые растения сосны кедровой сибирской испытывают сильную конкуренцию со стороны растительности всех ярусов. Т. П. Некрасова [17] подчеркивала, что в лиственном древостое на первом месте по степени негативного влияния на рост сосны кедровой сибирской находится конкуренция корней древостоя, на втором – древесный полог, а на третьем – травяной покров. А. Г. Лузгановым [15] установлено, что деревья в культурах, созданных по несколько растений в одном посадочном месте, испытывают большую конкуренцию, при которой выживают только самые крупные, характеризующиеся равными годичными приростами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В урочище Майдат пригородной зоны Красноярска в 1963 г. под руководством доц. О. П. Олисовой были созданы гнездовые посадки сосны кедровой сибирской под пологом осины (состав 8Ос2Б) двумя способами. В первом варианте пучки из десяти трехлетних сеянцев высаживали под лопату в одно посадочное место рядами в дно плужных борозд, проложенных ПКЛ-70 в прорубленных коридорах. Расстояние между коридорами составляло 8–10 м. В рядах расстояние между гнездами было принято 5–7 м. Во втором варианте гнезда сосны кедровой сибирской из десяти сеянцев высаживали под лопату в центр минерализованных площадок размером 1×1 м, изготовленных вручную. Всего было сделано 20 площадок: 5 рядов через 5 метров и по 4 площадки в ряду через 4 м. В качестве посадочного материала были использованы трехлетние сеянцы местного происхождения. Площадь участка – 1,7 га. Почвы на объекте серые лесные, среднесуглинистые, среднемощные.

В 70-х годах XX века на территории, где были высажены растения сосны кедровой сибирской, велась заготовка гасильного шеста, причем на участке с площадками интенсивность заготовки была больше вследствие близкого расположения лесовозных дорог. Из-за ветровала, произошедшего в 1991 году, полнота осинника снизилась на участке с площадками до 0,4–0,5, а в рядовых посадках – до 0,7.



Рис. 1. Культуры в урочище «Майдат» (2019 г.)

Средняя освещенность гнезд по данным 1995 г. в площадках составила $131,4 \pm 8,00$ сотен люкс, а освещенность гнезд в рядовых посадках оказалась существенно меньше – $54,1 \pm 1,54$ сотен люкс. В 35-летнем биологическом возрасте сохранность гнезд в рядовых посадках (первый вариант) равнялась 99 %, а сохранность деревьев в гнездах – 43 %. Во втором варианте сохранность гнезд составила 80 %, а сохранность деревьев в них – 36 %.

В 2019 г. деревья сосны кедровой сибирской достигли 60-летнего биологического возраста (рис. 1).

Для изучения роста сосны кедровой сибирской в подпологовых культурах применяли общепринятые методики, используемые при проведении лесокультурных исследований [19; 23]. Также у деревьев были определены показатели относительной высоты по методике, предложенной Я. С. Медведевым, изложенной в работе И. С. Мелехова [16], по формуле

$$H_{\text{отн}} = H / D_{1,3},$$

где $H_{\text{отн}}$ – относительная высота; H – высота дерева, м; $D_{1,3}$ – диаметр ствола дерева на высоте 1,3 м, см.

Все деревья в биогруппах были разделены на ранги: к первому рангу отнесены самые крупные по размерам деревья, лидирующие в группах, к последующим рангам – более мелкие.

Полевой материал подвергся статистической обработке с использованием программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

К 2017 г. средняя высота 58-летних деревьев сосны кедровой сибирской составила $9,7 \pm 0,96$ м, деревья-лидеров – $20,1 \pm 0,23$ м при уровне изменчивости по всем деревьям в исследуемых культурах –

очень высоким ($V = 66,2$ %), а у деревьев-лидеров (первого ранга) – низким ($V = 3,4$ %). Средний диаметр ствола лидирующих в группах деревьев был равен $23,0 \pm 0,32$ см при низком уровне изменчивости ($V = 4,2$ %). При измерении диаметра ствола у всех деревьев в культурах, выяснилось, что для них характерен очень высокий уровень изменчивости ($V = 86,7$ %) при среднем значении 9,3 см.

В табл. 1 приведены размеры 58-летних деревьев девяти рангов из групп с различной остаточной густотой.

Выявлено, что сохранность деревьев сосны кедровой сибирской в одном посадочном месте (от 11 до 100 %, что соответствует 1–9 шт. экземпляров) оказывает влияние на средние показатели оставшихся в «гнездах» деревьев. Так, средний диаметр деревьев в «гнездах» изменялся от 7,3 до 24,2 см в зависимости от числа деревьев в «гнезде», средняя высота – от 7,6 м до 21,5 м (рис. 2).

Средний диаметр ствола 58-летних деревьев в зависимости от ранга дерева варьирует от 0,5 см до 23 см, средняя высота – от 1,3 м до 20,1 м (рис. 3).

Был рассчитан модифицированный селекционный коэффициент [28], представленный в табл. 2.

Средний селекционный коэффициент у деревьев трех первых рангов в «гнездах», состоящих из 3–4 деревьев, равен $0,65 \pm 0,171$ при изменчивости $V = 64,3$ %, в «гнездах», состоящих из 6–7 деревьев, он равен $0,74 \pm 0,133$ при изменчивости $V = 44,2$ %, из 8–9 деревьев – $0,84 \pm 0,130$ при $V = 37,9$ %.

В более густых «гнездах» селекционный коэффициент выше по абсолютной величине, но менее изменчив, что указывает на понижение конкуренции между деревьями густых гнезд, росших в лучших условиях освещения, чем гнезда, в которых, из-за недостатка света сохранилось меньше деревьев.

Таблица 1
Показатели деревьев разных рангов в группах разной густоты

Номер ранга деревя в группе	Количество деревьев в группе, шт.								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Диаметр, см								
1	24,2	23,2	23,3	23,6	23,4	22,8	22,8	20,7	22,6
2		9,2	11,2	9,8	10,6	13,0	12,8	20,0	17,2
3			5,2	5,2	5,0	7,8	9,4	9,2	8,8
4				3,2	3,2	4,6	5,2	6,0	6,6
5					1,8	2,8	2,8	4,4	4,4
6						1,2	1,6	2,8	2,8
7							1,2	0,8	1,8
8								0,8	1,0
9									0,5
	Высота, м								
1	21,5	20,4	20,5	20,5	20,1	19,6	19,4	19,3	19,9
2		11,4	12,3	10,5	11,1	13,0	12,5	19,2	16,2
3			7,5	6,9	6,2	8,9	10,0	9,2	8,4
4				6,1	5,5	7,0	7,1	7,3	7,9
5					3,7	5,1	4,5	6,2	5,7
6						2,9	3,2	4,7	4,2
7							2,9	1,6	3,1
8								2,0	1,9
9									1,3



Рис. 2. Показатели роста в зависимости от числа сохранившихся деревьев в «гнездах» (2017 г.)

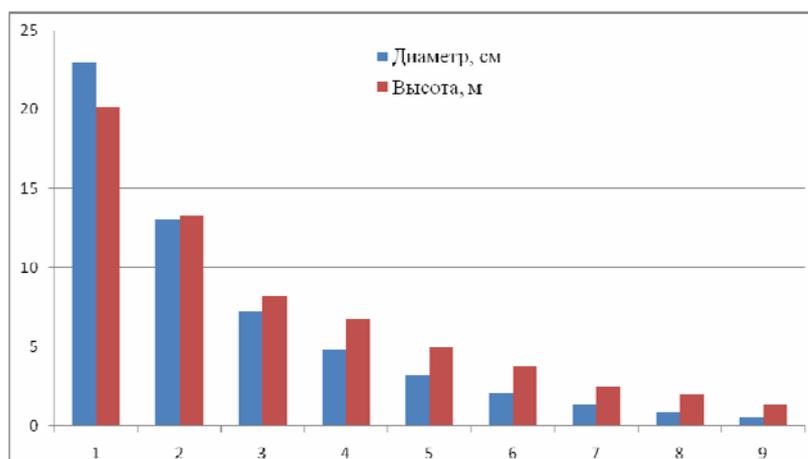


Рис. 3. Сравнение показателей деревьев разных рангов в группах (2017 г.)

Лучшая освещенность гнезд в площадках объясняет существенно большую сумму сечений стволов сосны кедровой сибирской в гнездах, размещенных по центру площадок ($\Sigma S = 168,5 \pm 10,2 \text{ см}^2$) по сравнению с гнездами в рядовых посадках, притеняемых стенами коридоров, прорубленных в осиннике ($\Sigma S = 118,1 \pm 8,14 \text{ см}^2$). Установлена тесная достоверная прямая зависимость ΣS деревьев сосны кедровой сибирской в «гнездах» от их освещенности ($r = 0,96$).

Кроме селекционного коэффициента в качестве показателя дифференциации деревьев в «гнездах» была использована относительная высота деревьев, считающаяся надежным показателем угнетенности деревьев (табл. 3).

Относительная высота деревьев первого ранга составляет 85-89. Начиная с четвертого ранга, относительная высота больше 120 и продолжает увеличиваться у деревьев старших рангов (табл. 4).

Таблица 2
Модифицированный селекционный коэффициент по рангам и густоте

Номер ранга деревя в группе	Количество деревьев в группе, шт.								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,21	1,16	1,16	1,18	1,17	1,14	1,14	1,14	1,13
2		0,46	0,56	0,49	0,53	0,65	0,64	1,00	0,86
3			0,26	0,26	0,25	0,39	0,47	0,46	0,44
4				0,16	0,16	0,23	0,26	0,40	0,33
5					0,09	0,14	0,14	0,22	0,22
6						0,06	0,08	0,14	0,14
7							0,06	0,04	0,09
8								0,04	0,06
9									0,05

Таблица 3
Относительная высота деревьев по рангам и густоте гнезд

Номер ранга деревя в группе	Количество деревьев в группе, шт.								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	89	89	89	87	86	86	85	85	88
2		124	110	107	105	100	98	96	94
3			144	133	124	114	106	100	95
4				191	172	152	137	122	120
5					206	182	161	141	130
6						242	200	168	150
7							242	200	172
8								250	190
9									260

Таблица 4
Относительная высота деревьев сосны кедровой сибирской в культурах

Ранг дерева	X_{cp}	$\pm m$	$\pm \sigma$	V, %	P, %
1	87,1	0,56	1,69	1,9	0,6
2	104,3	3,44	9,72	9,3	3,3
3	116,6	6,79	17,96	15,4	5,8
4	149,0	11,57	28,34	19,0	7,8
5	164,0	13,75	30,75	18,7	8,4
6	190,0	20,18	40,37	21,2	10,6
7	204,7	20,34	35,23	17,2	9,9
8	220,0				
9	260,0				

Таблица 5
Диаметр ствола 60-летних деревьев в культурах под пологом разной полноты

Полнота полога	$X_{\text{ср.}}$	$\pm m$	$\pm \sigma$	P, %	V, %	t_{ϕ} при $t_{05} = 2,04$
Все деревья						
0,7	17,9	0,67	8,64	3,7	48,3	2,18
0,4–0,5	19,6	0,40	9,11	2,0	46,5	
Лидирующие деревья						
0,7	23,2	1,75	8,93	7,5	38,5	0,30
0,4–0,5	23,8	0,90	7,09	4,0	29,8	

Средняя относительная высота у деревьев первого-третьего рангов в гнездах, состоящих из 3–4 деревьев, равна $111,7 \pm 8,58$ при изменчивости $V = 18,8\%$, а в гнездах, состоящих из 6–7 деревьев, она равна $98,2 \pm 4,21$ при изменчивости $V = 10,5\%$.

Сравнивая математическое выражение относительной высоты и модифицированного селекционного коэффициента, видно, что в их основе лежат одни и те же параметры деревьев сосны кедровой сибирской в гнездах: высота лидирующих в гнездах деревьев и диаметры оцениваемых в гнездах других деревьев сосны кедровой сибирской. Противоположное соотношение диаметра ствола и высоты в формулах селекционного коэффициента и относительной высоты является причиной противоположных тенденций изменения средних значений селекционного коэффициента от деревьев первого ранга к последующим.

Средние значения относительной высоты от 100 и меньше и селекционного коэффициента – от 0,5 до 1 и более у деревьев 1–2 рангов указывает на удовлетворительное состояние деревьев в «гнездах». В более густых гнездах меньшая величина относительной высоты и ее малая изменчивость указывают на небольшое взаимное угнетение между деревьями, росших в лучших условиях освещения, чем «гнезда», в которых из-за недостатка света сохранилось меньше деревьев.

В 2019 г. на участках с сосной кедровой сибирской, выросшей в условиях с неодинаковой освещенностью (13,1 тыс. Лк при полноте осинового полога 0,4–0,5 и 5,4 тыс. Лк при полноте 0,7) было подтверждено превышение диаметров ствола у деревьев при лучшей освещенности (табл. 5).

Средний диаметр ствола деревьев сосны кедровой сибирской, росших при меньшей полноте древесного полога, был равен $19,6 \pm 0,40$ см, коэффициент варьирования при этом составляет 46,5 %. Диаметр ствола деревьев, выросших в условиях меньшей освещенности, равен $17,9 \pm 0,67$ см при коэффициенте варьирования 48,3 %. Различия подтверждаются математической обработкой. Средний диаметр ствола деревьев-лидеров к 60 годам составлял 23,2–23,8 см без достоверных различий между вариантами опыта.

Лучшие деревья сосны кедровой сибирской в гнездовых посадках к 60-летнему биологическому возрасту достигли высоты 20 м при диаметре 23 см, что соответствует первому классу бонитета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что сохранность растений сосны кедровой сибирской в одном посадочном месте оказывает влияние на средние показатели оставшихся в «гнездах» деревьев. В 58-летнем биологическом возрасте средний диаметр деревьев в группах был равен 7,3–24,2 см, высота – 7,6 до 21,5 м в зависимости от числа сохранившихся деревьев (от 1 до 9 шт.). Однако, деревья-лидеры в «гнездах» подпологовых культур развиваются по I классу бонитета независимо от сохранности растений в посадочном месте.

Наибольшими размерами характеризуются деревья сосны кедровой сибирской, произрастающие под пологом леса меньшей полноты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Опыт переформирования производных мягколиственных насаждений в коренных кедровниках / Л. А. Белов, Е. С. Залесова, С. В. Залесов и др. // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова, 2019. № 3(56). С. 87–91.
2. Бех И. А. Рост культур кедра под пологом леса и на открытом участке // Лесное хозяйство. 1991. № 9. С. 35–36.
3. Братилова Н. П., Лузганов А. Г., Свалова А. И. Изменчивость роста сосны кедровой сибирской в географических культурах // Вестник КрасГАУ. 2013. № 12 (87). С. 147–150.
4. Влияние освещенности на рост потомств сосны кедровой сибирской разного географического происхождения / Н. П. Братилова, А. Г. Лузганов, А. И. Свалова, Д. А. Власов // Лесная таксация и лесоустройство. 2013. № 2 (50). С. 78–80.
5. Братилова Н. П., Лузганов А. Г., Свалова А. И. Рост сосны кедровой сибирской бирюсинского происхождения при высокой сомкнутости полога древостоя // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений : материалы Междунар. науч. конф. / СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2016. № XIX. С. 8–10.
6. Винобер А. В., Винобер Е. В. Кедровый подрост под пологом березового леса на рекреационной территории в окрестностях поселка Молодежный (Иркутский район, Иркутская область) // Биосферное хо-

зайство и устойчивое развитие сельских территорий : сборник трудов конференции. 2017. С. 52–57.

7. Габеев В. Н. Рост культур кедрового дерева при различной освещенности в лесостепном Приобье // Известия СО АН СССР. 1961. № 7. С. 71–74.

8. Данченко А. М., Бех И. А. Кедровые леса Западной Сибири. Томск : Томский гос. ун-т, 2010. 424 с.

9. Ермоленко П. М., Овчинникова Н. Ф. Рост кедрового дерева в культурах под пологом березняка в черном поясе Западного Саяна // Ботанические исследования в Сибири. Красноярск : Вост.-Сиб. НЦ РАН, 1996. Вып. 5. С. 42–48.

10. Залесов С. В. Роль подпологовых культур в восстановлении насаждений кедрового дерева сибирского // Проблемы лесовосстановления в таежной зоне СССР. Красноярск, 1988. С. 85–87.

11. Иванов А. В., Шашенок Д. С. Сосна кедровая корейская *Pinus koraiensis* Siebold & Zucc. в подпологовых лесных культурах южной части Дальнего Востока // Сибирский лесной журнал. 2018. № 6. С. 80–90.

12. Казанцева М. Н., Спасибова М. М. Рост и продуктивность кедрового дерева сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в посадках дендрария Сибирской лесной опытной станции // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2018. Т. 4, № 3. С. 94–107.

13. Рост культур сосны кедровой сибирской в зависимости от сомкнутости полога древостоя / Э. В. Колосовский, Р. Н. Матвеева, Н. П. Братилова, О. Ф. Буторова // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 4-6 (46). С. 46–49.

14. Колосовский Э. В., Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. Рост 56-летней сосны кедровой сибирской в географических культурах при сомкнутости полога древостоя 0,5–0,6 // Хвойные бореальной зоны. 2018. Т. XXXVI, № 1. С. 75–76.

15. Лузганов А. Г. Изменчивость годовых приростов как показатель жизнестойкости деревьев в гнездовых культурах хвойных пород // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений : материалы Междунар. науч. конф. / СибГТУ. Красноярск, 2009. Т. XII. С. 53–55.

16. Мелехов И. С. Лесоведение : учебник для вузов. М. : Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.

17. Некрасова Т. П. Биологические основы семеноводства кедрового дерева сибирского. Новосибирск : Наука СО АН СССР, 1972. 274 с.

18. Никитина Н. В., Михайлова Л. М. Рост и развитие подростов кедрового дерева (*pinus sibirica* Du Tour) под пологом леса и на вырубках юго-западной Якутии // Успехи современного естествознания. 2018. № 12-2. С. 296–301.

19. Огиевский В. В., Хиров А. А. Обследование и исследование лесных культур. М. : Лесная промышленность, 1964. 50 с.

20. Панов А. Н. Влияние освещенности на подрост кедрового дерева в различных типах леса // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19, № 11. С. 973–975.

21. Сравнительная характеристика трех типов лесных культур сосны кедровой сибирской в Томской области / Г. И. Пуджа, А. М. Данченко, С. А. Кабанова, М. А. Данченко // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8, № 1(29). С. 42–50.

22. Пулинец М. П. Свет и культура кедрового дерева корейского // Сборник трудов ДальНИИЛХ. Вып. 7. Хабаровск : ДальНИИЛХ, 1965. С. 269–278.

23. Родин А. Р., Мерзленко М. Д. Методические рекомендации по изучению лесных культур старших возрастов. М. : ВАСХНИЛ, Отд-ние лесоводства и агролесомелиорации, 1984. 37 с.

24. Свалова А. И., Лузганов А. Г., Братилова Н. П. Рост подпологовых географических культур кедрового дерева сибирского на участке «Горный-1» // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений : материалы Междунар. науч. конф. / СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2017. Т. XX. С. 166–168.

25. Сташкевич Н. Ю. Рост *pinus sibirica* Du Tour в культурах и под пологом сосново-березовых лесов в подтаежной зоне Западного Саяна // ИВУЗ. Лесной журнал. 2015. № 3(345). С. 35–42.

26. Спасибова М. М., Казанцева М. Н. Опыт создания кедрового сада в дендрарии Сибирской лесной опытной станции // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2015. № 43. С. 143–146.

27. Терехова С. А., Лузганов А. Г., Карпачева А. В. Лесовосстановление сосны сибирской кедровой под пологом древостоя // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, № 1-2. С. 44–47.

28. Черепнин В. Л. Изменчивость семян сосны обыкновенной. Новосибирск : Изд-во «Наука» СО РАН, 1980. 183 с.

REFERENCES

1. Opyt pereformirovaniya proizvodnykh myagkolistvennykh nasazhdeniy v korennykh kedrovnikakh / L. A. Belov, E. S. Zalesova, S. V. Zalesov i dr. // Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V. R. Filippova, 2019. № 3(56). S. 87–91.

2. Bekh I. A. Rost kul'tur kedra pod pologom lesa i na otkrytom uchastke // Lesnoye khozyaystvo. 1991. № 9. S. 35–36.

3. Bratilova N. P., Luzganov A. G., Svalova A. I. Izmenchivost' rosta sosny kedrovoy sibirskoy v geograficheskikh kul'turakh // Vestnik KrasGAU. 2013. № 12 (87). S. 147–150.

4. Vliyaniye osveshchennosti na rost potomstv sosny kedrovoy sibirskoy raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya / N. P. Bratilova, A. G. Luzganov, A. I. Svalova, D. A. Vlasov // Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo. 2013. № 2 (50). S. 78–80.

5. Bratilova N. P., Luzganov A. G., Svalova A. I. Rost sosny kedrovoy sibirskoy biryusinskogo proiskhozhdeniya pri vysokoy somknutosti pologa drevostoya // Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy : materialy Mezhdunar. nauch. konf. / SibGU im. M. F. Reshetneva. Krasnoyarsk, 2016. № XIX. S. 8–10.

6. Vinober A. V., Vinober E. V. Kedrovyy podrost pod pologom berezovogo lesa na rekreatsionnoy territorii v okrestnostyakh poselka Molodezhnyy (Irkutskiy rayon, Irkutskaya oblast') // Biosfernoye khozyaystvo i ustoychivoye razvitiye sel'skikh territoriy : sbornik trudov konferentsii. 2017. S. 52–57.

7. Gabeyev V. N. Rost kul'tur kedra pri razlichnoy osveshchennosti v lesostepnom Priob'ye // Izvestiya SO AN SSSR. 1961. № 7. S. 71–74.

8. Danchenko A. M., Bekh I. A. Kedrovyye lesa Zapadnoy Sibiri. Tomsk : Tomskiy gos. un-t, 2010. 424 s.
9. Ermolenko P. M., Ovchinnikova N. F. Rost kedra v kul'turakh pod pologom bereznyaka v chernovom poyase Zapadnogo Sayana // Botanicheskiye issledovaniya v Sibiri. Krasnoyarsk : Vost.-Sib. NTs RAEN, 1996. Vyp. 5. S. 42–48.
10. Zalesov S. V. Rol' podpologovykh kul'tur v vosstanovlenii nasazhdeniy kedra sibirskogo // Problemy lesovosstanovleniya v tayezhnoy zone SSSR. Krasnoyarsk, 1988. S. 85–87.
11. Ivanov A. V., SHashenok D. S. Sosna kedrovaya koreiskaya *Pinus koraiensis* Siebold & Zucc. v podpologovykh lesnykh kulturakh yuzhnoi chasti Dalnego Vostoka // Sibirskii lesnoi zhurnal. 2018. № 6. S. 80–90.
12. Kazanceva M. N., Spasibova M. M. Rost i produktivnost kedra sibirskogo (*Pinus sibirica* Du Tour) v posadkakh dendrarii Sibirskoi lesnoi opitnoi stancii // Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopolzovanie. 2018. T. 4, № 3. S. 94–107.
13. Rost kultur sosni kedrovoy sibirskoi v zavisimosti ot somknotosti pologa drevostoya / E. V. Kolosovskii, R. N. Matveeva, N. P. Bratilova, O. F. Butorova // Mezhdunarodnii nauchno-issledovatel'skii zhurnal. 2016. № 4-6 (46). S. 46–49.
14. Kolosovskii E. V., Matveeva R. N., Butorova O. F. Rost 56-letnei sosni kedrovoy sibirskoi v geografieskii kulturakh pri somknotosti pologa drevostoya 0,5–0,6 // Hvoinie borealnoi zoni. 2018. T. XXXVI, № 1. S. 75–76.
15. Luzganov A. G. Izmenchivost godichnih prirostov kak pokazatel zhiznesteikosti derevev v gnezdovykh kulturakh hvoinih porod // Plodovodstvo, semenovodstvo, introdukciya drevesnih rastenii : materialy Mezhdunar. nauchn. konf. / SibGTU. Krasnoyarsk, 2009. T. XII. S. 53–55.
16. Melehov I. S. Lesovedenie : uchebnyk dlya vuzov. M. : Lesn. prom-st, 1980. 408 s.
17. Nekrasova T. P. Biologicheskie osnovy semenosheniya kedra sibirskogo. Novosibirsk : Nauka SO AN SSSR, 1972. 274 s.
18. Nikitina N. V., Mihailova L. M. Rost i razvitie podrosta kedra (*pinus sibirica* Du Tour) pod pologom lesa i na virubkakh yugo-zapadnoi Yakutii // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2018. № 12-2. S. 296–301.
19. Ogievskii V. V., Hiron A. A. Obsledovanie i issledovanie lesnykh kultur. M. : Lesnaya promishlennost, 1964. 50 s.
20. Panov A. N. Vliyanie osvesh'ennosti na podrost kedra sibirskogo v razlichnykh tipakh lesa // Optika atmosfery i okeana. 2006. T. 19, № 11. S. 973–975.
21. Sravnitel'naya karakteristika trekh tipov lesnykh kultur sosni kedrovoy sibirskoi v Tomskoi oblasti / G. I. Pudzha, A. M. Danchenko, S. A. Kabanova, M. A. Danchenko // Lesotekhnicheskii zhurnal. 2018. T. 8, № 1(29). S. 42–50.
22. Pulinec M. P. Svet i kultura kedra koreiskogo // Sbornik trudov DalNIILH. Vip. 7. Habarovsk : DalNIILH, 1965. S. 269–278.
23. Rodin A. R., Merzlenko M. D. Metodicheskie rekomendacii po izu-cheniyu lesnykh kultur starshih vozrastov. M. : VASHNIL, Otd-nie lesovodstva i agrolesomelioracii, 1984. 37 s.
24. Svalova A. I., Luzganov A. G., Bratilova N. P. Rost podpologovykh geograficheskikh kultur kedra sibirskogo na uchastke "Gornii-1" // Plodovodstvo, semenovodstvo, introdukciya drevesnih rastenii : materialy Mezhdunar. nauch. konf. / SibGU im. M. F. Reshetneva. Krasnoyarsk, 2017. T. XX. S. 166–168.
25. Stashkevich N. Yu. Rost pinus sibirica Du Tour v kulturakh i pod pologom sosnovo-berezovykh lesov v podtaezhnoi zone Zapadnogo Sayana // IVUZ. Lesnoi zhurnal. 2015. № 3(345). S. 35–42.
26. Spasibova M. M., Kazanceva M. N. Opit sozdaniya kedrosada v dendrarii Sibirskoi lesnoi opitnoi stancii // Aktualnye problemy lesnogo kompleksa. 2015. № 43. S. 143–146.
27. Terehova S. A., Luzganov A. G., Karpacheva A. V. Lesovosstanovlenie sosni sibirskoi kedrovoy pod pologom drevostoya // Hvoinie borealnoi zoni. 2008. T. 25, № 1-2. S. 44–47.
28. Cherepnin V. L. Izmenchivost semyan sosni obiknovennoi. Novosibirsk : Izd-vo "Nauka" SO RAN, 1980. 183 s.

© Свалова А. И., Братилова Н. П.,
Лузганов А. Г., 2022

ИНТЕНСИВНОСТЬ ВОЗОБНОВЛЕНИЯ КЕДРОВОГО СТЛАНИКА В СВЯЗИ С УРОЖАЯМИ СЕМЯН В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ*

Н. В. Танцырев

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

Несмотря на занимаемые огромные территории и колоссальную экологическую значимость, процессы естественного возобновления кедрового стланика (*Pinus pumila* Regel) в связи с действием различных биотических факторов изучены в меньшей степени, по сравнению с другими лесообразующими древесными видами. Проведен анализ связи численности ежегодно появляющихся всходов кедрового стланика с урожаями шишек за двенадцатилетний период в Южной Якутии. Для реконструкции первоначальной численности однолетних всходов кедрового стланика предложена кривая выживания его подроста. С использованием ее коэффициентов и на основе возрастной структуры сохранившегося подроста в прогалинах материнских зарослей, реконструирована динамика численности поколений однолетних всходов кедрового стланика за рассматриваемый период. При относительно плавной с четырехлетней цикличностью динамике урожаев шишек кедрового стланика и значительных колебаниях в отдельные годы реконструированной численности всходов в данном регионе, выявлена достоверная тесная связь их количества с урожаями шишек в предшествующий год.

Ключевые слова: *Pinus pumila*, *Pinus sibirica*, кедровка, урожайи семян, всходы, подрост, кривая выживания.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 1, P. 54–59

THE INTENSITY OF JAPANESE STONE PINE RENEWAL IN CONNECTION WITH THE SEED YIELDS IN SOUTH YAKUTIA

N. V. Tantsyrev

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

Despite the enormous covered areas and huge ecological significance, the processes of Japanese stone pine (*Pinus pumila* Regel) natural regeneration in connection with the influence of different biotic factors, compared to other woodland arborous kinds have been studied to a lesser extent. Analysis of the relationship between the number of annually appearing Japanese stone pine seedlings and cone yields over a twelve-year period was carried out in Southern Yakutia. To reconstruct the initial number of one-year seedlings of Japanese stone pine, a survival curve of its undergrowth was proposed. Using its coefficients and based on the age structure of the preserved undergrowth in the glades of maternal thickets, the dynamics of the number of generations of annual Japanese stone pine seedlings over the period under consideration was reconstructed. With a relatively smooth four-year cyclical dynamics of the yields of Japanese stone pine cones and significant fluctuations in some years of the reconstructed number of annual seedlings in this region, a reliable close connection their number with the yields of cones in the previous year was revealed.

Keywords: *Pinus pumila*, *Pinus sibirica*, nutcracker, seeds crops, seedlings, undergrowth, survival curve.

ВВЕДЕНИЕ

Одна из ключевых проблем лесной экологии – выявление закономерностей динамики численности природных ценопопуляций древесных растений на этапе их возобновления, программирующей всю последующую структуру и динамику биогеоценоза. К настоящему времени в результате многолетних исследований накоплен значительный материал посвященный процессам естественного возобновления ос-

новных лесообразующих древесных видов. При этом, по сравнению с другими видами, особенности динамики возобновления кедрового стланика (*Pinus pumila* Regel) в связи с урожаями семян, жизнедеятельностью тонкоклювой кедровки (*Nucifraga caryocatactes macrorhynchos* Brehm C. L.) – основного разносчика семян и действием других биотических факторов остаются малоизученными, несмотря на занимаемые им обширные территории, способность произрастать в самых экстремальных условиях и, как следствие, огромную экологическую значимость. Возможно, это связано с его «нетоварностью», с тем, что он никогда не представлял интереса, как источник древесины. Поскольку по своим экологическим особенностям он

* Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ботанический Сад УрО РАН (№ гос. регистрации АААА-А17-117072810009-8).

близок к кедру сибирскому (*Pinus sibirica* Du Tour), то и закономерности их возобновления могут быть одинаковы.

Если для анемохорных лесообразующих видов характерна непосредственная связь поколений всходов с обилием урожаев предшествующего года, то сведения о таких связях представителей пятихвойных сосен с бескрылыми семенами подсемьи *Cembrae*, разносимых птицами рода *Nucifraga sp.*, довольно противоречивы [6; 10–12; 15; 17; 18]. Недостатком большинства этих исследований могут быть короткие хронологические ряды (не более пяти лет) изучения динамики возобновления по возрастной структуре сохранившегося подроста. С возрастом происходит постепенная гибель значительного количества подроста, и, даже при точно определенной его возрастной структуре, он обычно представляет собой лишь незначительную часть первоначального обилия всходов той или иной годичной генерации, выживших ко времени учета. В конечном итоге установленные связи с обилием семян того или иного года, основанные только на данных о возрастной структуре подроста, могут быть искажены и не вполне достоверны. При этом достаточно точная возрастная структура подроста может быть использована для реконструкции динамики численности погодичных поколений всходов на основе кривых его выживания [8; 9].

Цель данной работы – выявление связи между плодоношением и возобновлением кедрового стланика в Южной Якутии с применением оригинального метода реконструкции первоначальной численности всходов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в Витимо-Юдомской провинции горных лесов Алданского юго-западного лесорастительного района [2; 14] в районе города Алдан (Республика Саха (Якутия) Алданское лесничество, 58°36'34" с. ш., 125°23'53" в. д.). В качестве объекта изучения семеношения и возобновления ценопопуляции кедрового стланика избраны его сообщества 80-летнего возраста высотой до 3 м и относительной полнотой 0,5 с единичными деревьями лиственницы (*Larix gmelinii* Rupr) в подгольцовом поясе на высоте 900 м над уровнем моря, представляющих собой одну из типичных растительных ассоциаций Алданского Нагорья. Для региона исследований характерно совместное произрастание кедрового стланика и кедра сибирского, семена которых в равной степени являются кормовым объектом кедровки.

Погодичная динамика семеношения кедрового стланика, точнее – относительного обилия шишек, содержащих 37–42 полнозернистых семян, за период 2003–2015 гг. определена на 85 ветвях по следам от опавших шишек («рубцам зарастания») у основания годичных побегов соответствующих лет [1].

Численность подроста и всходов кедрового стланика, появившихся в период 2005–2016 гг. на почвенном субстрате с лишайниково-зеленомошным покровом (преимущественно *Pleurozium Schreberi*), определена в 364 так называемых «гнездах» (компактных группах проросших из неиспользованных кедровками

кладовок семян) на 51 учётной площадке размером 5×5 м, систематически-выборочно размещённых в прогалинах материнских зарослей. Возраст подроста и всходов определен с точностью до одного года по числу ежегодных вертикальных годичных приростов терминального побега.

Для реконструкции первоначальной численности всходов кедрового стланика, по результатам выборочно-статистического учёта количества его особей в «гнездах» возрастом от одного года до 15 лет, построена эмпирическая кривая выживания его подроста, по аналогии с предложенной ранее, в том числе и для данного региона, кривой выживания подроста кедра сибирского [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обычно количество однолетних всходов кедрового стланика в одном «гнезде», в различных регионах его произрастания колеблется от 1–5 до 25 [16], но наиболее часто от 7 до 15 [13], а кедра сибирского – от 1–2 до 25–30 экз. в Западной Сибири и на Урале [7; 8] и 5–15 экз. в Южной Якутии [3]. По нашим наблюдениям в районе исследований количество особей кедрового стланика в «гнездах» 1–15-летнего возраста значительно варьирует – от 1–2 до 30–40 (единичные случаи). При этом среднее значение численности его однолетних всходов в «гнездах» ($6,9 \pm 0,8$ экз.) оказывается близким средним значениям кедра под пологом материнских древостоев на Северном Урале, в Западной Сибири ($6,7 \pm 0,7$ – $10,0 \pm 0,9$ экз.) и в Южной Якутии ($5,4 \pm 0,4$ экз.) [9]. Следовательно, и количество семян кедра и кедрового стланика в кладовках, несмотря на разные их размеры, относительно одинаково. Повидимому, создавая свои кормовые запасы, кедровка, возможно, дозирует семена в кладовках по их количеству, а не по их размерам. В зобе взрослой кедровки помещается 60–80 семян кедра [7; 16]. При меньших размерах семян кедрового стланика (почти в 2–2,5 раза) помещается в 1,5–2 раза больше – от 108–112 [5] до 218 [16]. Поэтому можно предположить, что и количество кладовок семян кедрового стланика, создаваемых одной кедровкой, значительно превышает количество кладовок семян кедра, что должно определять его более обильное возобновление.

В отличие от кедра, у которого по мере взросления в большинстве случаев в «гнезде» остаётся только одно дерево, взрослый чашеобразной формы древовидный кустарник кедрового стланика может состоять из нескольких самостоятельных особей (от 3-х до 5–10 экз.), сросшихся в их коревой части [4; 13]. Видимо поэтому, кривая выживания подроста кедрового стланика (рис. 1а), представленная гиперболической функцией ($y = 113,6x^{-0,38}$), в отличие от приведенной для сравнения (рис. 1б) кривой выживания подроста кедра [9], имеет более пологую форму. Наиболее интенсивное отмирание всходов происходит в первые два года жизни, но если на третий год в «гнездах» кедра остается 42 % от первоначальной численности, то стланика – 75 %. К 10-летнему возрасту в «гнездах» стланика сохраняется примерно половина от начального количества особей ($3,6 \pm 0,96$ экз.), что в три раза больше, чем кедра ($1,2 \pm 0,18$ экз.). К 15-летнему

возрасту в «гнезде» стланика остаётся до 40 % экземпляров от первоначального количества, что более чем в два раза больше чем кедр (16 %). При этом, более низкий доверительный уровень ($R^2 = 0,42$; $p < 0,05$) по сравнению с кедром ($R^2 = 0,84$; $p < 0,03$), как и значительная погрешность среднего значения количества особей в «гнезде» вызваны, скорее всего, большим их варьированием и меньшей внутривидовой конкуренцией.

Ко времени учета в рассматриваемых ассоциациях общая численность сохранившегося подроста стланика 2–12-летнего возраста составляет $10,2 \pm 1,34$ тыс. экз./га в $2,7 \pm 0,16$ тыс. «гнезд»/га и однолетних всходов, появившихся в 2016 г. – $3,6 \pm 0,96$ тыс. экз./га в $0,5 \pm 0,13$ тыс. «гнезд»/га.

В динамике относительных урожаев стланика за период 2003–2015 гг. при среднегодовом значении $1,3 \pm 0,12$ шишек/год и не высокой хронологической изменчивости ($Cv = 33,1$ %) выявлена некоторая цикличность (рис. 2). Через каждые три года относительно стабильных, иногда с некоторыми колебаниями, урожаев повторяется год пониженного (почти в два раза ниже среднего) урожая.

Динамика погодичной численности всходов кедрового стланика, реконструированной по возрастной структуре и коэффициентам кривой выживания, за

период 2005–2016 гг. (рис. 2), при среднем значении $1,7 \pm 0,31$ тыс. экз./га, характеризуется высокой хронологической изменчивостью ($Cv = 62$ %). Вероятно, она обусловлена значительным спадом в 2015 г. ($0,2$ тыс. экз./га) после низкого урожая 2014 г. ($0,5$ шишек/год) и резкими всплесками численности всходов в 2012 г. ($4,0$ тыс. экз./га) и в 2016 г. ($3,6$ тыс. экз./га), вызванных повышением урожаев в предыдущих 2011 и 2015 гг. Некоторое увеличение численности всходов в 2006 г. отмечено также и после понижения урожая в 2004–2005 гг. При этом спад наблюдается, как на следующие годы после снижения урожая шишек, так и, когда в предшествующие годы средние и повышенные урожаи шишек были относительно постоянны, что вызвано, возможно, более полным использованием кедровками своих запасов семян.

В целом, выявлена достаточно тесная корреляционная связь ($R^2 = 0,62$, $p > 0,03$) численности всходов кедрового стланика с урожаями его семян в предыдущем году (рис. 3, а). Недостаточная достоверность, связанная с резкими колебаниями численности всходов в тот или иной год, вероятно, определяется полнотой использования кедровками своих запасов семян и действием иных лимитирующих факторов, в первую очередь численностью различных потребителей семян и всходов.

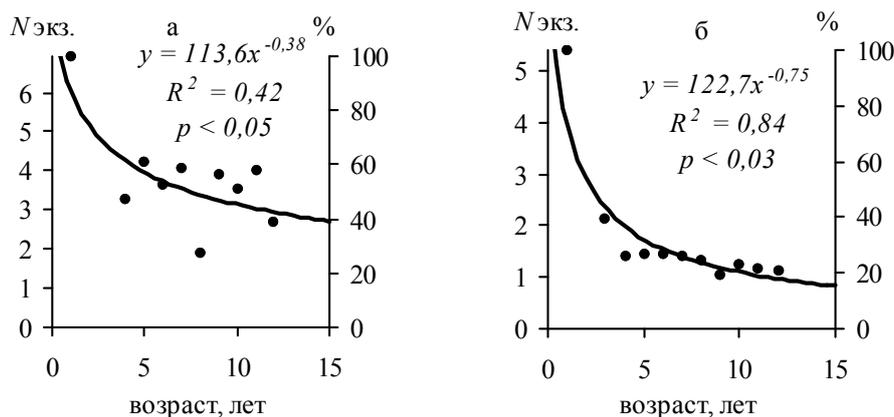


Рис. 1. Эмпирические кривые выживания подроста: *Pinus pumila* (а); *P. sibirica* (б). Точки – среднее количество подроста данного возраста ($N_{\text{экз.}}$) в одном «гнезде» (компактной группе проросших из одной кладовки семян)

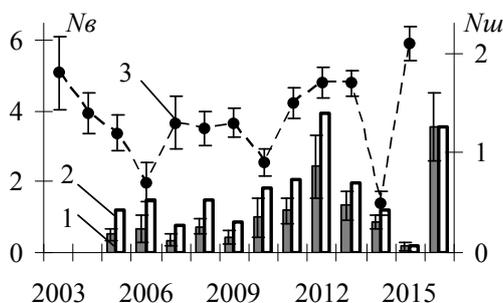


Рис. 2. Погодичная динамика относительных урожаев шишек (N_{uu}) и возобновления (N_b) *Pinus pumila*. Цифрами показаны:

1 – численность подроста, тыс. экз./га; 2 – первоначальная численность всходов, тыс. экз./га; 3 – относительный урожай (шишек/год). Вертикальные линии – ошибки средних величин ($\pm m$)

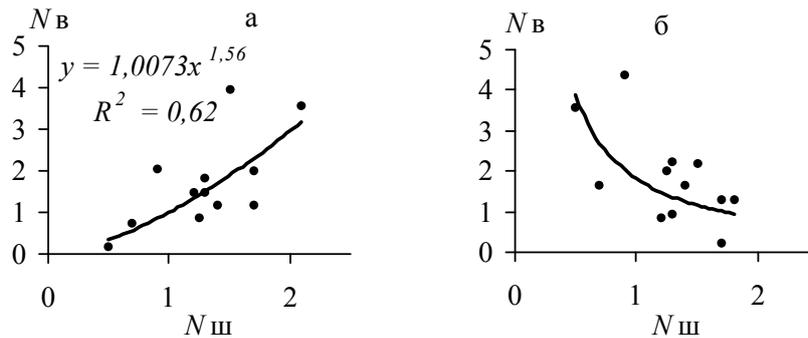


Рис. 3. Связь численности поколений всходов *Pinus pumila* с относительными урожаями шишек предыдущего года (а) и с урожаями два года назад (б):

$N_{ш}$ – количество шишек на годичном побеге, $N_{в}$ – численность всходов, тыс. экз./га.

Точки – ежегодное количество всходов

В ряде исследований ранее была установлена положительная связь численности всходов кедрового стланика, кедрового сибирского и североамериканской сосны белокорой (*P. albicaulis* Engelm), которая в консорции с «кедровкой» Кларка (*N. columbiana*) аналогична кедровому сибирскому, с урожаями семян два года назад [11; 12; 15; 18]. Причина подобных закономерностей в первую очередь видится в наличии почвенного банка семян с их длительным покоем, когда они прорастают, пролежав в почве две зимы [17]. В данном случае (рис. 3, б) и в некоторых других работах [6; 10] положительной связи с урожаем позапрошлого года не выявлено. В любом случае существует закономерность, связанная со всходами, проросшими из семян прошлогоднего урожая, а выявленная связь их обилия с урожаем позапрошлого года фактически опосредует влияние неучтенного фактора. По результатам многолетних исследований в горных кедровниках Северного Урала сделано предположение, что такая связь обилия всходов кедрового сибирского с урожаем шишек позапрошлого года обусловлена деятельностью кедровки. Тесно коррелируя с урожаями семян кедрового сибирского предыдущего года (по аналогии с известными консортивными связями «зайцы-рыси») при их скачкообразной импульсной динамике, численность ее местной популяции в свою очередь и определяла численность всходов следующего года [12].

Поскольку в выявленной динамике урожаев кедрового стланика в районе исследований в Южной Якутии резких колебаний не проявляется, то можно предположить, что численность популяции кедровки здесь относительно постоянна, или, по крайней мере, её колебания сравнительно незначительны, либо совпадают по годам с урожаями. Также общие урожаи семян, совместно произрастающих здесь, кедрового стланика и кедрового сибирского могут сглаживать погодные колебания численности ее популяции. Вероятно, здесь по аналогии с ветром она является постоянно и относительно равномерно действующим агентом распространения семян, чем и обусловлена тесная связь численности поколений всходов кедрового стланика с урожаями предыдущего года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Количество однолетних всходов в «гнездах» кедрового сибирского и кедрового стланика, а, следовательно, семян в кладовках относительно одинаково, не смотря на разницу семян в размерах почти в два раза. Возможно, кедровка, дозируя семена, при создании своих кормовых запасов, руководствуется их количеством, а не размерами.

Кривая выживания подростка кедрового стланика, построенная по данным учета его плотности в «гнездах» различного возраста имеет более пологую форму, а также ее доверительный уровень несколько ниже, чем кедрового сибирского, что обусловлено особенностями данного вида. Тем не менее, она позволяет успешно реконструировать хронодинамику численности поколений его однолетних всходов за достаточно длительный период.

На фоне относительно стабильных урожаев шишек кедрового стланика в районе исследований в Южной Якутии выявлены значительные колебания реконструированной погодичной численности его однолетних всходов, положительно связанные с урожаями шишек в предшествующем году. Вероятно, эта связь во многом обусловлена также сравнительно стабильной динамикой численности местной популяции кедровки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Горчаковский П. Л. Новое в методике семенования хвойных // Ботанический журнал. 1958. Т. 43, № 10. С. 1445–1459.
2. Крылов Г. В. Леса Сибири и Дальнего Востока. М.: Гослесбуиздат, 1960. 156 с.
3. Меженный А. А. Биология кедровки в Южной Якутии // Зоологический журнал. 1964. Т. 43. Вып. 2. С. 1679–1687.
4. Моложников В. Н. Кедровый стланик Северного Прибайкалья. М.: Наука, 1975. 203 с.
5. Нечаев В. А. Биоэкологические связи птиц с кедровым стлаником (*Pinus pumila*) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2013. № 1. С. 49–59.
6. Николаева С. А., Савчук Д. А. Динамика возобновления кедрового сибирского на Кеть-Чулымском меж-

дуречье (Западно-Сибирская равнина) // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. 3–4. С. 64–68.

7. Реймерс Н. Ф. Кедровка // Охота и охотничье хозяйство. 1970. № 1. С. 20–22.

8. Санников С. Н., Санникова Н. С., Петрова И. В. Естественное лесовозобновление в Западной Сибири (Эколого-географический очерк). Екатеринбург : УрО РАН, Ботанический сад, 2004. 194 с.

9. Санников С. Н., Танцырев Н. В. Кривые выживания подроста сосны сибирской как основа реконструкции динамики его численности // Лесоведение. 2015. № 4. С. 275–281.

10. Санников С. Н., Танцырев Н. В., Петрова И. В. Инвазия популяций сосны сибирской в горную тундру Северного Урала // Сибирский экологический журнал. 2018. № 4. С. 449–461.

11. Сташкевич Н. Ю., Шишкин А. С. Зоогенный фактор возобновления сосны кедровой сибирской в горно-таежных лесах Восточного Саяна // Сибирский экологический журнал. 2014. № 2. С. 313–318.

12. Танцырев Н. В., Санников С. Н. Анализ консортивных связей между кедром сибирским и кедровой на Северном Урале // Экология. 2011. № 1. С. 20–24.

13. Тихомиров Б. А. Кедровый стланик. Его биология и использование. М. : Изд-во Московского общества испытателей природы, 1949. 106 с.

14. Щербаков И. П. Леса Южной Якутии. М. : Наука, 1964. 90 с.

15. Kajimoto T., Onodera H., Ikeda S., Daiamaru H., Seki T. Seedling establishment of subalpine stone pine (*Pinus pumila*) by nutcracker (*Nucifraga*) seed dispersal on Mt. Yamori, Northern Japan // Arctic and Alpine Research. 1998. 30. Pp. 408–417.

16. Lanner R. M. Made for each other. A symbiosis of birds and pines. New York, Oxford, Oxford University Press. 1996. 160 p.

17. Tillman-Sutela Kauppi E. A., Karppinen K., Tomback D. F. Variant maturity in seed structures of *Pinus albicaulis* (Engelm.) and *Pinus sibirica* (Du Tour): key to a soil seed bank, unusual among conifers? // Trees. 2008. 22. Pp. 225–236. DOI 10.1007/s00468-007-0179-2.

18. Tomback D. F., Anderies A. J., Carsey K. S., Powell M. L., Mellmann-Brown S. Delayed seed germination in whitebark pine and regeneration patterns following Yellowstone fires // Ecology. 2001. 82. Pp. 2587–2600.

REFERENCES

1. Gorchakovskiy P. L. Novoye v metodike semenosheniya khvoynykh // Botanicheskiy zhurnal. 1958. T. 43, № 10. S. 1445–1459.

2. Krylov G. V. Lеса Sibiri i Dal'nego Vostoka. M.: Goslesbumizdat, 1960. 156 s.

3. Mezhenyuy A. A. Biologiya kedrovki v Yuzhnoy Yakutii // Zoologicheskiy zhurnal. 1964. T. 43. Vyp. 2. С. 1679–1687.

4. Molozhnikov V. N. Kedrovyy stlanik Severnogo Pribaykal'ya. M. : Nauka, 1975. 203 s.

5. Nechayev V. A. Biotsenoticheskiye svyazi ptits s kedrovym stlanikom (*Pinus pumila*) // Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN. 2013. № 1. С. 49–59.

6. Nikolayeva S. A., Savchuk D. A. Dinamika vozobnovleniya kedra sibirskogo na Ket'-Chulymskom mezhdurech'ye (Zapadno-Sibirskaya ravnina) // Inter-ekspo Geo-Sibir'. 2015. 3–4. С. 64–68.

7. Reymers N. F. Kedrovka // Okhota i okhotnich'ye khozyaystvo. 1970. № 1. С. 20–22.

8. Sannikov S. N., Sannikova N. S., Petrova I. V. Estestvennoye lesovozobnovleniye v Zapadnoy Sibiri (Ekologo-geograficheskiy ocherk). Ekaterinburg : UrO RAN, Botanicheskiy sad, 2004. 194 s.

9. Sannikov S. N., Tantsyrev N. V. Krivyeye vyzhivaniya podrosta sosny sibirskoy kak osnova rekonstruktsii dinamiki ego chislennosti // Lesovedeniye. 2015. № 4. С. 275–281.

10. Sannikov S. N., Tantsyrev N. V., Petrova I. V. Invaziya populyatsiy sosny sibirskoy v gornuyu tundru Severnogo Urala // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2018. № 4. С. 449–461.

11. Stashkevich N. Yu., Shishikin A. S. Zoogennyy faktor vozobnovleniya sosny kedrovoy sibirskoy v gornotayezhnykh lesakh Vostochnogo Sayana // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2014. № 2. С. 313–318.

12. Tantsyrev N. V., Sannikov S. N. Analiz konsortivnykh svyazey mezhdru kedrom sibirskim i kedrovkoy na Severnom Urale // Ekologiya. 2011. № 1. С. 20–24.

13. Tikhomirov B. A. Kedrovyy stlanik. Ego biologiya i ispol'zovaniye. M. : Izd-vo Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody, 1949. 106 s.

14. Shcherbakov I. P. Lеса Yuzhnoy Yakutii. M. : Nauka, 1964. 90 с.

15. Kajimoto T., Onodera H., Ikeda S., Daiamaru H., Seki T. Seedling establishment of subalpine stone pine (*Pinus pumila*) by nut-cracker (*Nucifraga*) seed dispersal on Mt. Yamori, Northern Japan // Arctic and Alpine Research. 1998. 30. Pp. 408–417.

16. Lanner R. M. Made for each other. A symbiosis of birds and pines. New York, Oxford, Oxford University Press. 1996. 160 r.

17. Tillman-Sutela Kauppi E. A., Karppinen K., Tomback D. F. Variant maturity in seed structures of *Pinus albicaulis* (Engelm.) and *Pinus sibirica* (Du Tour): key to a soil seed bank, unusual among conifers? // Trees. 2008. 22. Pp. 225–236. DOI 10.1007/s00468-007-0179-2.

18. Tomback D. F., Anderies A. J., Carsey K. S., Powell M. L., Mellmann-Brown S. Delayed seed germination in whitebark pine and regeneration patterns following Yellowstone fires // Ecology. 2001. 82. Pp. 2587–2600.

© Танцырев Н. В., 2022

ПОКАЗАТЕЛИ КУЛЬТУР ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ПРИ РАЗНОЙ ГУСТОТЕ ПОСАДКИ**А. С. Тишков¹, М. Д. Мерзленко¹, П. Г. Мельник^{1,2}, Е. Г. Наумов³**¹Институт лесоведения РАН (ИЛАН РАН)

Российская Федерация, 140030, Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, ул. Советская, д. 21

²МГТУ им. Н. Э. Баумана (Мытищинский филиал)

Российская Федерация, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, 1

³ООО «НАРД»

Российская Федерация, 125167, г. Москва, ул. Пилота Нестерова, кор. 20, д. 9

E-mail: melnik_petr@bk.ru

Приведены результаты выращивания 42-летних опытных культур ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) разной густоты посадки в Спасском участковом лесничестве Волоколамского филиала ГКУ «Мособллес» в северо-западном Подмоскovie. Объект заложен 2-летними сеянцами по вспаханной почве весной 1976 г. рядами в направлении ССВ-ЮЮЗ. Диапазон густоты посадки составляет от 2,6 до 20,8 тыс. экз. на 1 га. Постоянной величиной (константой) на всех пяти секциях является шаг посадки (0,6 м), тогда как величина междурядий изменяется от 0,8 до 6,4 м. На период последнего исследования (2018 г.) объект уникален тем, что на всех секциях отсутствовали какие-либо рубки деревьев ели (даже не удалялись сухостойные экземпляры). Культуры на секции Д с размещением посадочных мест 6,4×0,6 м имеют самую высокую сохранность (72,3 %), тогда как при размещении 0,8×0,6 м (секция А) она составила 11,7 %, что в 6,2 раза меньше. Однако более объективное и разительное сравнение имеет абсолютный отпад: на секции А он составил 18,4 тыс. растений на 1 га, а на секции Д всего лишь 0,7 тыс. шт. Несмотря на перегушенность лесных культур на секциях А и Б, суммарная площадь проекций крон (с учётом их перекрытий) не превысила таковую в крайних вариантах (Г и Д), где кроны могли гораздо более свободно развиваться, достигая максимальных значений по средней площади проекции кроны одного дерева. В целом по лесоводственному эффекту наиболее успешным оказалось искусственное насаждение на секции В с густотой посадки 5,2 тыс. шт. сеянцев на 1 га и размещением посадочных мест 3,2×0,6 м.

Ключевые слова: *Picea abies*, густота посадки, динамика роста, естественное изреживание, лесоводственный эффект.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 1, P. 59–64

INDICATORS OF EUROPEAN SPRUCE CROPS WITH DIFFERENT PLANTING DENSITY**A. S. Tishkov¹, M. D. Merzlenko¹, P. G. Melnik^{1,2}, E. G. Naumov³**¹Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences

21, Sovetskaya str., 140030, Uspenskoe, Moscow Region, Russian Federation

²BMSTU (Mytishchi branch)

1, 1st Institutskaya str., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russian Federation

³NARD ltd.

9/20 Pilota Nesterova str., 125167, Moscow, Russian Federation

E-mail: melnik_petr@bk.ru

The cultivation results of forty-two years-old experimental crops of European spruce (*Picea abies* L.) with different planting density in the Spassky forestry district of the Volokolamsk branch of State treasury institution "Mosoblles" in the north-western suburbs are presented. The object was planted with 2-year-old seedlings on plowed soil in the spring of one thousand nine hundred and seventy six in rows in the direction of NNE-South-Southwest. The range of planting density is from 2.6 to 20.8 thousand individuals per 1 ha. The planting step (0.6 m) is a constant value (constant) on all five sections, while the row spacing varies from 0.8 to 6.4 m sections, there were no felling of spruce trees (even dead specimens were not removed). Crops on section D with the placement of planting places 6.4×0.6 m have the highest preservation (72.3 %), while with the placement of 0.8×0.6 m (section A) it was 11.7 %, which is 6.2 times less. However, a more objective and striking comparison has an absolute mortality: in section A it amounted to 18.4 thousand plants per hectare, and in section D only 0.7 thousand plants. Despite the overcrowding of forest cultures in sections A and B, the total area of crown projections (taking into account their overlap) did not exceed that in the extreme variants (D and E), where the crowns could develop much more freely, reaching maximum values in the average area of the crown projection of one wood. In general, in terms of silvicultural effect, the most successful was

the artificial planting on section B with a planting density of 5.2 thousand pieces seedlings per 1 ha and placement of planting places 3.2×0.6 m.

Keywords: *Picea abies, forest plantation density, growth dynamics, natural thinning, silvicultural effect.*

Изучение густоты посадки лесных культур на экспериментальных объектах исторически является классическим направлением в лесоводственных исследованиях [1; 4; 11]. Самые ранние опыты такого рода в России были начаты ещё в 1869-1877 гг. в Лесной опытной даче Петровской земледельческой академии (в настоящее время Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева) профессором В. Т. Собичевским [9; 13]. К сожалению, опытные культуры ели дореволюционного периода и первой половины XX века не сохранились.

Все ранние эксперименты с посадками разной густоты создавались с квадратным размещением посадочных мест. Однако в производственных условиях прочно утвердилась рядовая посадка, где численность высаженных растений чётко фиксируется расстоянием между рядами и шагом посадки в рядах. При этом параметры размещения древесных растений по лесокультурной площади определяют весь ход ценологических взаимоотношений. Именно исходная численность древесных растений и их пространственное распределение внутри ценоза существенно влияют на качество, рост и продуктивность формирующегося насаждения.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – на основании более чем 40-летних регулярных исследований экспериментальных культур ели разной густоты, созданных рядовой посадкой, проанализировать особенности роста, сохранности и лесоводственного эффекта дендроценозов в зависимости от исходной численности древесных растений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнялись на участке экспериментальных культур ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.), созданном институтом «Союзгипролесхоз» на территории Смоленско-Московской возвышенности (Волоколамский район, Московской области). До посадки лесокультурная площадь представляла собой старую пашню. По лесорастительным условиям участок соответствует влажной сложной субори (C₃), т. е. коренным ельникам-кисличникам [6].

Посадка выполнена 2-летними сеянцами по вспаханной почве весной 1976 г. рядами в направлении ССВ-ЮЮЗ. Приживаемость культур осенью 1977 г. составила 95 %. В 1978 г. взамен не прижившихся сеянцев было сделано дополнение 4-летними саженцами (2+2) с комом земли. Агротехнических уходов не было. В 1979, 1982, 1989, 1992 и 1996 гг. проведено удаление естественно возобновившихся лиственных пород, представленных в основном ольхой серой (*Alnus incana* (L.) Moench).

Объект представляет собой компактный массив монокультур ели общей площадью 5 га, состоящий из пяти экспериментальных секций. Диапазон густоты посадки составляет от 2,6 до 20,8 тыс. экз. на 1 га.

Постоянной величиной (константой) на всех пяти секциях является шаг посадки (0,6 м), тогда как величина междурядий изменяется от 0,8 до 6,4 м. Таким образом, объект исследований определён следующей чистотой опыта: однородностью условий местопроизрастания, различными величинами междурядий и густотой посадки, отсутствием лиственных пород. На период последнего исследования (2018 г.) объект уникален тем, что на всех секциях отсутствовали какие-либо рубки деревьев ели (даже не удалялись сухостойные экземпляры).

В 2018 г. биологический возраст опытных культур ели составил 44 года, а календарный – 42 года. На всех секциях искусственные насаждения находились в фазе формирования стволов [12]. Для изучения состояния и особенностей роста ели европейской при разной густоте посадки на всех секциях был выполнен сплошной подеревный перебор в соответствии с ОСТ 56-69–83 [10], с фиксацией у каждого дерева класса Крафта, а также проекции кроны вдоль и поперёк ряда. На пробных площадях площадь проекции кроны (S, м²) рассчитывали по формуле

$$S = \pi \cdot ab / 4, \quad (1)$$

где *a* и *b* соответственно диаметры проекций кроны вдоль и поперек ряда.

Запас стволовой древесины (м³/га) рассчитывался по формуле

$$M = H \cdot F \cdot G, \quad (2)$$

где *H* – средняя высота насаждения, м; *F* – видовое число; *G* – сумма площадей сечения, м²/га.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Каждая из пяти экспериментальных секций представляет собой модельную популяцию, где основу экологической ситуации насаждения составляет синэкологическая обстановка, определяемая численностью особей [3]. Именно численность особей, изначально зафиксированная густотой посадки и соответственным размещением посадочных мест, к 42-летнему возрасту лесных культур наложила существенный отпечаток на показатели их роста и продуктивности (табл. 1).

К 42-летнему возрасту по росту в высоту (21,5 м) и показателю среднего диаметра (17,4 см) явным лидером является секция В, хотя в 25-летнем возрасте по этим таксационным показателям лидировала секция Д. В целом по лесоводственному эффекту наиболее успешным оказалось искусственное насаждение на секции В с густотой посадки 5,2 тыс. шт. сеянцев на 1 га и размещением посадочных мест 3,2×0,6 м. Самые плохие показатели роста и производительности к 42 годам свойственны культурам ели с размещением 0,8×0,6 м, такие же результаты получены и в 63-летних экспериментальных культурах ели для условий свежей сложной субори (C₂) в Щёлковском

учебно-опытном лесхозе на северо-западе Подмосковья [14]. Секция В имеет также и наибольший средний объём ствола, который достигает $0,30 \text{ м}^3$.

Культуры на секции Д с размещением посадочных мест $6,4 \times 0,6 \text{ м}$ имеют самую высокую сохранность (72,3 %), тогда как при размещении $0,8 \times 0,6 \text{ м}$ (секция А) она составила 11,7 %, что в 6,2 раза меньше. Однако

более объективное и разительное сравнение имеет абсолютный отпад: на секции А он составил 18,4 тыс. растений на 1 га, а на секции Д всего лишь 0,7 тыс. шт.

Рис. 1 отражает динамику естественного изреживания ели в культурах разной густоты посадки. Графическое изображение построено как на основании исследований 2018 г., так и ранее проведённых работ [5; 7; 12].

Таблица 1
Характеристика опытных культур ели 42-летнего возраста

Секция	Густота посадки, тыс. шт./га	Размещение посадочных мест, м×м	Средние		Густота стояния, шт./га	Сохранность деревьев, %	Сумма площадей сечений, $\text{м}^2/\text{га}$	Запас, $\text{м}^3/\text{га}$	Средний объём ствола, м^3
			Н, м	Д, см					
А	20,8	$0,8 \times 0,6$	16,6	13,6	2430	11,7	39,3	361	0,149
Б	10,4	$1,6 \times 0,6$	17,9	14,7	2293	22,0	42,2	406	0,177
В	5,2	$3,2 \times 0,6$	21,5	17,4	1650	31,7	42,6	484	0,293
Г	3,5	$4,8 \times 0,6$	19,6	16,7	1790	51,1	42,7	447	0,250
Д	2,6	$6,4 \times 0,6$	18,0	16,8	1880	72,3	45,7	447	0,238

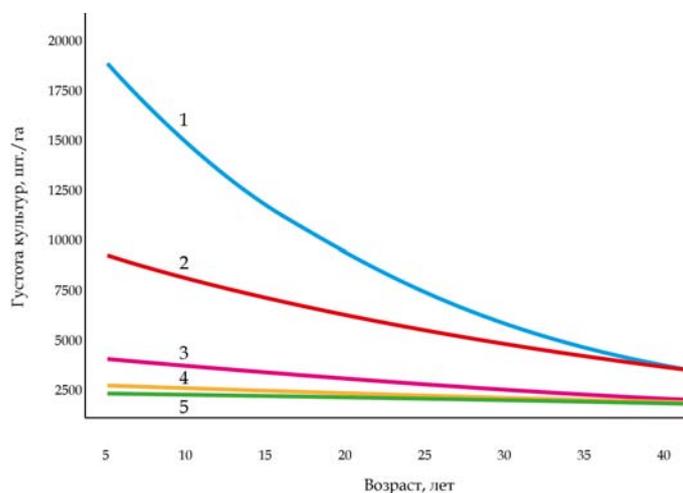


Рис. 1. Динамика естественного изреживания культур ели, созданных при разной густоте посадки: 1 – 20,8; 2 – 10,4; 3 – 5,2; 4 – 3,5; 5 – 2,6 тыс. экз. на 1 га

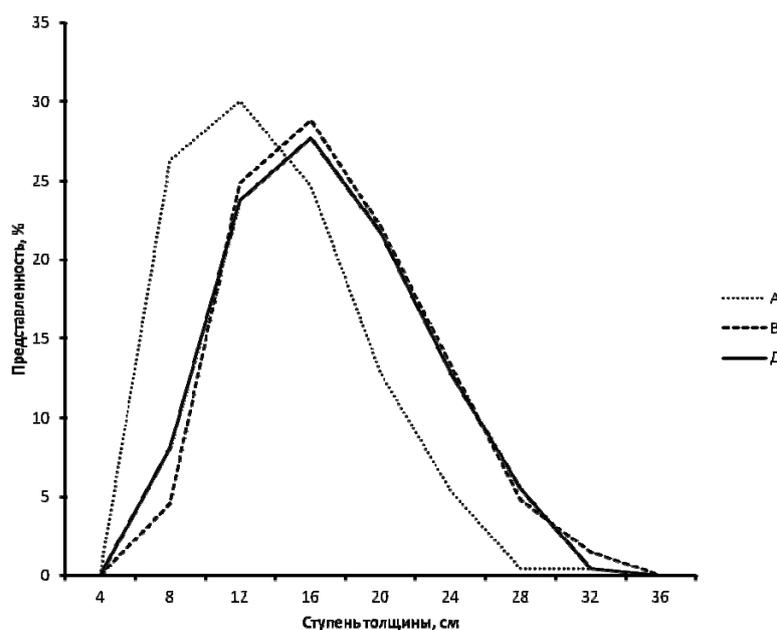


Рис. 2. Распределение деревьев ели по ступеням толщины: секция А – 20,8 тыс. экз. на 1 га, секция В – 5,2 тыс. экз. на 1 га, секция Д – 2,6 тыс. экз. на 1 га

Автоматически выровненные линии свидетельствуют о крайне интенсивном отпаде деревьев ели на секции А. Однако к началу III класса возраста динамика естественного отпада отразила два итога, а именно две группировки густоты стояния к 42-летнему возрасту лесных культур: секции А, Б и вторая группировка – три секции – В, Г, Д. Это наглядно видно и из конкретных цифр по густоте стояния (табл. 1), что является свидетельством двух тенденций в ростовых процессах. Так, в перегушенных культурах величины средних диаметров и средних высот резко отличаются от таковых показателей на секциях В, Г, Д. Как видно из рис. 2, пик численности согласно кривой распределения на секции А приходится на ступень толщины 12 (30,0 %), на секциях В и Д на 16 (28,8 % и 27,7 % соответственно), однако кривая распределения на этих секциях смещена в сторону больших значений ступеней толщины. Таким образом, насаждения ели в более редких по густоте культурах находили более благоприятные ценотические условия для реализации своего биологического потенциала.

Сравнительно высокая интенсивность конкурентных отношений между деревьями ели на экспериментальных

секциях проявляется в распределении деревьев по классам Крафта (табл. 2). На всех пяти секциях преобладают деревья I класса, однако максимального участия господствующие деревья достигают на секции В, тогда как на секциях А и Д угнетенные деревья IV и V классов представлены максимальным количеством и составляют, соответственно, 23,9 % и 22,6 % общего их числа (рис. 3).

Распределение деревьев ели по категориям состояния (табл. 3) показывает, что в насаждении на секции В деревьев первой категории состояния насчитывается больше, чем на других секциях □ 32,2 %. Ослабленных деревьев (вторая категория) на секции А – 15,4 %, что на 4,2–6,1 % больше нежели на других секциях. Деревьев четвертой, пятой и шестой категорий больше всего зафиксировано на секции Б – 55,6 %.

С увеличением густоты посадки снижается площадь проекции кроны дерева (табл. 4). Несмотря на перегушенность лесных культур на секциях А и Б, суммарная площадь проекций крон (с учётом их перекрытий) не превысила таковую в крайних вариантах (Г и Д), где кроны могли гораздо более свободно развиваться, достигая максимальных значений по средней площади проекции кроны одного дерева.

Таблица 2
Представленность деревьев ели по классам Крафта в 42-летних опытных культурах

Секция	Представленность деревьев, %, по классам Крафта				
	I	II	III	IV	V
А	26,7	23,5	25,9	14,8	9,1
Б	29,9	27,9	25,9	11,3	5,0
В	31,5	26,4	27,3	10,0	4,8
Г	26,3	26,5	30,2	12,0	5,0
Д	32,3	21,7	23,4	15,3	7,3

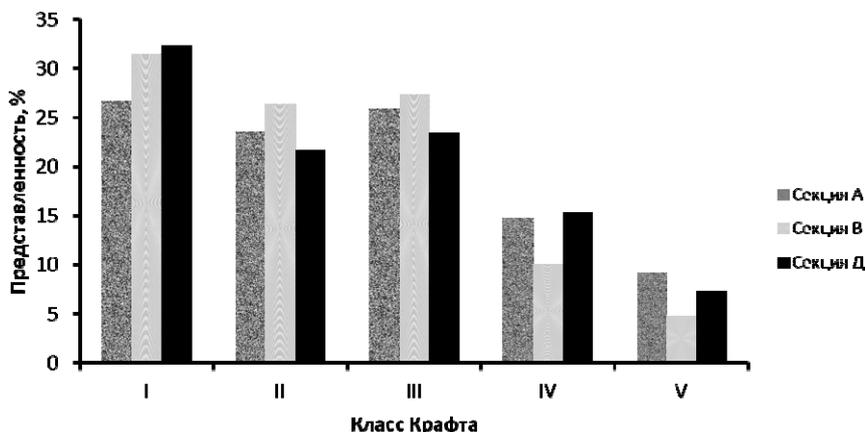


Рис. 3. Представленность деревьев ели по классам Крафта:
секция А – 20,8 тыс. экз. на 1 га, секция В – 5,2 тыс. экз. на 1 га, секция Д □ 2,6 тыс. экз. на 1 га

Таблица 3
Распределение деревьев ели по категориям санитарного состояния

Секция	Категории санитарного состояния, %					
	1	2	3	4	5	6
А	26,1	15,4	11,8	1,8	0,5	44,4
Б	28,5	9,6	6,3	2,3	0,0	53,3
В	32,2	9,3	7,6	1,8	0,0	49,1
Г	31,4	11,2	9,0	2,7	0,0	45,7
Д	29,8	10,6	9,9	5,2	0,0	44,5

Таблица 4
Проективная характеристика крон

Секция	Средняя величина проекций кроны		Средняя площадь проекции кроны одного дерева, м ²	Суммарная площадь проекций крон всех деревьев на 1 га, м ²	Площадь проекций крон, продуцирующая 1 м ³ древесины, м ²
	вдоль ряда, м	поперёк ряда, м			
А	2,85±0,14	3,12±0,15	6,98	16961,4	46,98
Б	2,97±0,16	3,56±0,15	8,30	19031,9	46,88
В	3,05±0,15	3,91±0,11	9,36	15444,0	31,91
Г	3,47±0,11	4,02±0,12	10,95	19600,5	43,85
Д	2,98±0,26	4,34±0,13	10,15	19082,0	42,69

Согласно Н. С. Нестерову [8], периферическое развитие корневой системы дерева совпадает с проекцией его кроны. Это позволило А. С. Яблокову [15] сделать вывод, что величина площади питания дерева может быть выражена величиной площади проекции его кроны. Исходя из этих положений, можно утверждать, что, анализируя площадь проекции кроны дерева в зависимости от густоты лесных культур, следует говорить и об оптимальной величине площади питания искусственного насаждения. Поэтому для успешного продуцирования лесных культур должна быть сформирована оптимальная величина площади проекции кроны. В биологическом возрасте лесных культур, равном 44 года, надо говорить уже не об оптимальной густоте посадки, а об оптимальной густоте стояния, хотя на успешности роста лесокультур отражалась изначально в той или иной степени исходная густота посадки.

Лучшей густотой посадки и густотой стояния на настоящий момент надо считать у насаждения на секции В с густотой посадки 5,2 тыс. шт./га. Этот вывод сделан на основании расчёта площади проекции крон, которая продуцирует 1 м³ (табл. 4). Окончательный вывод об оптимальной густоте посадки можно будет сделать в фазе приспевания лесных культур. Необходимо отметить, что исследования 30-летних культур ели с разной густотой посадки в Негорельском учебно-опытном лесхозе Белорусского государственного технологического университета показали сходные результаты. Наиболее высокие показатели роста и продуцирования характерны для редких культур и культур средней густоты посадки (5,0 тыс. шт./га) [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований опытных культур ели разной густоты посадки получены таксационные характеристики на 5 экспериментальных секциях, выполнена санитарная оценка по категориям состояния, а также рассчитаны проективные характеристики крон на пробных площадях.

В целом, анализируя результаты экспериментальных посадок культур ели с изначально разной густотой посадки, можно прийти к выводу, что создавать культуры ели с густотой посадки свыше 10 тыс. экз. семян на 1 га нецелесообразно. Наиболее приемлемой густотой посадки на основании роста, производительности, а также объёма ствола одного дерева, и, следовательно, выхода наиболее рентабельных сортов, следует считать густоту в диапазоне 3,5–5,2 тысячи 2-летних семян на 1 га.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Георгиевский Н. А. Некоторые соображения о выращивании лесных культур // Лесное хозяйство, 1957. № 6. С. 40–43.
2. Гвоздев В. К., Волкович А. П. Динамика роста и продуктивности лесных культур ели европейской разной густоты посадки // Труды Белорусского государственного технологического университета. Лесное хозяйство. № 1. 2012. С. 161–164.
3. Марков М. В. Популяционная биология растений. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1986. 110 с.
4. Мартынов А. Н. Густота культур хвойных пород и её значение (обзор). М.: ЦБНТИлесхоз, 1974. 60 с.
5. Мерзленко М. Д., Мельник П. Г. Влияние густоты культур ели на их рост и производительность // Доклады ТСХА. Вып. 269. М.: Изд-во МСХА, 1998. С. 344–347.
6. Мерзленко М. Д., Мельник П. Г. Лесоводственная экскурсия в леса Клинско-Дмитровской гряды. М.: МГУЛ, 2002. 93 с.
7. Мерзленко М. Д., Яковенко А. С. Особенности роста культур ели европейской при различном размещении посадочных мест // Лесоведение, 2003. № 1. С. 54–61.
8. Нестеров Н. С. Очерки по лесоведению. М.: Гослестехиздат, 1933. 247 с.
9. Нестеров Н. С. Лесная опытная дача в Петровском-Разумовском под Москвой. М.-Л.: Государственное издательство колхозной и совхозной литературы, 1935. 560 с.
10. ОСТ 56-69–83. Пробные площади лесоустойчивые. Методы закладки. М., 1983. 59 с.
11. Писаренко А. И., Мерзленко М. Д. Основные подходы к решению вопросов густоты посадки лесных культур // Лесоведение, 1979. № 2. С. 49–55.
12. Писаренко А. И., Мерзленко М. Д. Создание искусственных лесов. М.: Агропромиздат, 1990. 270 с.
13. Тимофеев В. П. Природа и насаждения Лесной опытной дачи Тимирязевской сельскохозяйственной академии за 100 лет. М.: Лесная промышленность, 1965. 168 с.
14. Тишков А. С., Мерзленко М. Д., Мельник П. Г. Успешность роста и производительности культур ели, созданных разной густотой посадки // Леса Евразии – Сербские леса: Материалы XVIII Международной конференции молодых учёных, посвящённой академику, профессору Жарку Милетичу (1891–1968). Белград: Лесной факультет Белградского университета, 2019. С. 192–197.

15. Яблоков А. С. Культура лиственницы и уход за насаждениями. М.: Гослестехиздат, 1934. 128 с.

REFERENCES

1. Georgiyevskiy N. A. Nekotoryye soobrazheniya o vyrashchivanii lesnykh kul'tur // Lesnoye khozyaystvo, 1957. № 6. S. 40–43.

2. Gvozdev V. K., Volkovich A. P. Dinamika rosta i produktivnosti lesnykh kul'tur eli evropeyskoy raznoy gustoty posadki // Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Lesnoye khozyaystvo. № 1. 2012. S. 161–164.

3. Markov M. V. Populyatsionnaya biologiya rasteniy. Kazan': Izd-vo Kazanskogo un-ta, 1986. 110 s.

4. Martynov A. N. Gustota kul'tur khvoynykh porod i eyë znacheniyе (obzor). M.: TsBNTIleskhoz, 1974. 60 s.

5. Merzlenko M. D., Mel'nik P. G. Vliyaniye gustoty kul'tur eli na ikh rost i proizvoditel'nost' // Doklady TsKhA. Vyp. 269. M.: Izd-vo MSKhA, 1998. S. 344–347.

6. Merzlenko M. D., Mel'nik P. G. Lesovodstvennaya ekskursiya v lesa Klinsko-Dmitrovskoy gryady. M.: MGUL, 2002. 93 s.

7. Merzlenko M. D., Yakovenko A. S. Osobennosti rosta kul'tur eli evropeyskoy pri razlichnom razmeshchenii posadochnykh mest // Lesovedeniye, 2003. № 1. S. 54–61.

8. Nesterov N. S. Ocherki po lesovedeniyu. M.: Goslestekhizdat, 1933. 247 s.

9. Nesterov N. S. Lesnaya opyt'naya dacha v Petrovskom-Razumovskom pod Moskvoy. M.-L.: Gosudarstvennoye izdatel'stvo kolkhoznoy i sovkhoznoy literatury, 1935. 560 s.

10. OST 56-69-83. Probnyye ploshchadi lesoustroitel'nyye. Metody zakladki. M., 1983. 59 s.

11. Pisarenko A. I., Merzlenko M. D. Osnovnyye podkhody k resheniyu voprosov gustoty posadki lesnykh kul'tur // Lesovedeniye, 1979. № 2. S. 49–55.

12. Pisarenko A. I., Merzlenko M. D. Sozdaniye iskusstvennykh lesov. M.: Agropromizdat, 1990. 270 s.

13. Timofeyev V. P. Priroda i nasazhdeniya Lesnoy opyt'noy dachi Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii za 100 let. M.: Lesnaya promyshlennost', 1965. 168 s.

14. Tishkov A. S., Merzlenko M. D., Mel'nik P. G. Uspeshnost' rosta i proizvoditel'nosti kul'tur eli, sozdannykh raznoy gustotoy posadki // Lesa Evrazii – Serbskiye lesa: Materialy XVIII Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchënykh, posvyashchënnoy akademiku, professoru Zharku Miletichu (1891–1968). Belgrad: Lesnoy fakul'tet Belgradskogo universiteta, 2019. S. 192–197.

15. Yablokov A. S. Kul'tura listvennitsy i ukhod za nasazhdeniyami. M.: Goslestekhizdat, 1934. 128 s.

© Тишков А. С., Мерзленко М. Д.,
Мельник П. Г., Наумов Е. Г., 2022

Поступила в редакцию 20.10.2021
Принята к печати 31.01.2022

**АЛЛОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ БИОМАССЫ КОРНЕЙ
ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ РОДОВ ЕВРАЗИИ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ
С УЧЕТОМ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ***

В. А. Усольцев^{1,2}, И. С. Цепордей², Д. В. Норитсин³

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

²Ботанический сад УрО РАН
Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а

³ПАО «Сбербанк», Центр компетенций аналитики
Российская Федерация, 620026, Екатеринбург, ул. Гоголя, 44

Климатическая система планеты постепенно утрачивает стационарность, в результате чего климатические эксцессы всё учащаются, а климатические сценарии становятся непредсказуемыми. Прогнозные сценарии изменения растительности на основе функциональных (process-based) моделей не дают ясного понимания того, является ли биота планеты источником или накопителем углерода. Эмпирическое моделирование биомассы деревьев и древостоев путем регрессионного анализа на основе «больших данных» (Big Data) имеет обнадеживающие перспективы, особенно с использованием технологий дистанционного зондирования. Наименее изучен вклад биомассы корней в общую биологическую продуктивность лесного покрова. В настоящей работе на основе сформированной базы данных о фактической биомассе корней 897 модельных деревьев шести лесообразующих родов Евразии разработаны статистически значимые аллометрические модели биомассы корней в зависимости от высоты дерева и диаметра кроны. Установлена зависимость биомассы корней равновеликих деревьев от зимней температуры, описываемая нисходящей кривой для лиственниц и елей, и восходящей – для берез и буков. Биомасса корней у сосен и дубов связана только с диаметром кроны и высотой дерева, и изменение зональной температуры не влияет на эту зависимость. Вклад диаметра кроны, высоты дерева и январской температуры в объяснение изменчивости биомассы корней составляет соответственно 38, 39 и 23 %. Предложенные аллометрические модели могут быть использованы при оценках биомассы корней лесообразующих родов Евразии на основе воздушного лазерного зондирования.

Ключевые слова: биомасса корней, лазерное зондирование деревьев, аллометрические модели, средняя температура января.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 1, P. 65–75

**ALLOMETRIC MODELS FOR ESTIMATING THE ROOT BIOMASS OF EURASIAN
FOREST-FORMING GENERA BY REMOTE SENSING AS RELATED TO GLOBAL WARMING**

V. A. Usoltsev^{1,2}, I. S. Tsepordey², D. V. Noritsin³

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

³Sberbank PJSC, Analytics Competence Center
44, Gogol Str., Yekaterinburg, 620026, Russian Federation

The climate system of the planet is gradually losing its stationarity, as a result of which climatic excesses are becoming more frequent, and climatic scenarios are becoming unpredictable. Predictive scenarios of vegetation change based on process-based models do not provide a clear understanding of whether the biota of the planet is a source or a carbon storage. Empirical modeling of the biomass of trees and stands by regression analysis based on “Big Data” has promising prospects, especially with the use of remote sensing technologies. The contribution of root biomass to the overall biological productivity of forest cover is the least studied. In this paper, statistically significant allometric models of root biomass depending on the tree height and the crown diameter have been developed on the basis of the compiled database on the harvest biomass of the roots of 897 sample trees of six forest-forming genera of Eurasia. The dependence of the root biomass of equal-sized trees on winter temperature, described by a descending curve for larches and firs, and an ascending curve for birches and beeches, has been established. The biomass of roots in pines and oaks

* Работа выполнена в рамках Государственного задания FEUZ-2021-0014.

is related only to the crown diameter and the tree height, and the change in zonal temperature does not affect this relationship. The contribution of crown diameter, tree height and January temperature to the explanation of root biomass variability is 38, 39 and 23 %, respectively. The proposed allometric models can be used to estimate the biomass of roots of forest-forming genera of Eurasia based on aerial laser sensing.

Keywords: *root biomass, laser sensing of trees, allometric models, average January temperature.*

ВВЕДЕНИЕ

В проблеме стабилизации климата большие надежды связаны с углерод депонирующей способностью лесов. Оценка биологической продуктивности, или углерод депонирующей способности лесов выходит в настоящее время на глобальный уровень, и ее повышение является одним из основных факторов стабилизации климата, однако наше понимание изменений наземной фитомассы остается рудиментарным [41]. Климатическая система планеты уже утратила стационарность, в результате чего климатические эксцессы всё учащаются, а климатические сценарии становятся непредсказуемыми [22; 60]. Результаты адаптации экосистемной (функциональной) модели SEIB-DGVM применительно к лиственничным лесам на многолетней мерзлоте показали, что потепление климата повышает продуктивность растений за счет увеличения продолжительности вегетационного периода, но одновременно снижает продуктивность вследствие засух и повышенных затрат на дыхание. Сделан вывод, что глобальное потепление снижает продуктивность лиственничных лесов Восточной Сибири [64].

Однако разрабатываемые сценарии глобальной динамической модели растительности LPJ-DGVM показывают существенную неопределенность в отношении будущего накопления углерода в наземной биоте [66]. Согласно её прогнозам, изменения углеродного пула к концу нынешнего столетия варьируют от -106 до $+201$ Пг (млрд т). Таким образом, достоверно неизвестен даже знак изменения углеродного пула на планете, и мы до конца не знаем, является ли биота планеты источником или накопителем углерода [66].

В связи со сложностью морфологической структуры лесных сообществ прогностические модели, отражающие их реакцию на изменение климата, должны учитывать не только факторы окружающей среды, но и структурные параметры деревьев [38]. В этом отношении дистанционное зондирование обладает огромным преимуществом перед традиционной наземной таксацией по причине резкого снижения затрат при определении структурных параметров деревьев [50].

Исследование связи массы ассимилирующих органов деревьев с шириной (диаметром) кроны было начато в конце XIX века [40]. Положительные тренды названной связи были показаны у ели европейской [40], сосны обыкновенной [27] и криптомерии японской [48]. Эта связь была охарактеризована коэффициентом детерминации 0,721 у кипарисовика туполистного [49] и от 0,83 до 0,94 у ели европейской и пихты белой [51]. На основе обширных эмпирических данных была предложена зависимость биомассы кроны сосны обыкновенной от её ширины для трех климатических зон Сибири [4].

Методы дистанционной оценки параметров деревьев разрабатывались с момента зарождения аэро-

фотосъемки лесов [6]. Сегодня для определения диаметра кроны и высоты дерева успешно используются цифровые аэрофотоснимки высокого разрешения [36; 52; 61; 80], однако при их применении в густых древостоях выпадает часть деревьев, частично или полностью скрытых под кронами господствующих деревьев [45].

В течение последних двух десятилетий для определения структурных характеристик деревьев интенсивно развиваются технологии активного бортового лазерного и радарного зондирования, беспрецедентные по точности и скорости их получения [17; 26]. Достигнуты существенные успехи в области индивидуального обнаружения деревьев и сегментации (вычленения) кроны не только основного полога, но и нижнего яруса, на основе новых высокопроизводительных алгоритмов и технологий [18; 30; 39; 54; 70; 87]. Облака точек, полученные посредством лазерного зондирования, являются исходной основой для определения ширины кроны, высоты дерева и для идентификации древесных видов [26; 59], а соответствующие аллометрические модели позволяют рассчитать по ширине кроны и высоте дерева надземную биомассу деревьев [2; 24; 35; 37; 47; 53; 57; 79]. В наших предыдущих публикациях были предложены всеобщие аллометрические модели для оценки надземной и подземной биомассы деревьев лесообразующих видов Евразии по измеренным данным ширины кроны и высоты дерева [8].

В связи с глобальным потеплением предпринимаются попытки моделирования биомассы деревьев и древостоев с учетом вклада климатических переменных в объяснение её изменчивости [29; 69]. Получены предварительные результаты о подобном влиянии на биомассу в Китае [34; 86], Европе [32] и Соединенных Штатах [85]. Однако опубликованные результаты касались отдельных регионов и отличались большой неопределенностью, обусловленной, в частности, недостаточно широким диапазоном климатических переменных, используемых в аллометрических моделях [7]. В наших последних исследованиях надземной биомассы лесов Евразии были предприняты попытки выяснить, насколько изменятся названные аллометрические модели при климатических сдвигах и возможно ли включение климатических переменных в структуру модели повысить ее точность. В итоге были получены положительные результаты в данном направлении, и для основных лесообразующих видов (родов) Евразии показан вклад климатических переменных в объяснение изменчивости надземной биомассы деревьев, оцениваемой по диаметру кроны и высоте дерева, а также возможные сдвиги подобных аллометрических моделей при изменении климата. Но это касалось только фракций надземной биомассы [9–14; 76; 77].

В настоящем исследовании предпринята первая попытка разработки аллометрических моделей, предназначенных для оценки биомассы корней лесообразующих родов Евразии по измеренным диаметру кроны и высоте дерева в условиях глобального потепления. Предстоит определить вклад морфометрических показателей деревьев и климатического фактора в объяснение изменчивости биомассы корней. Предполагается, что реакция разных родов на изменение температур может различаться вследствие их биологических особенностей [31; 43; 44; 46].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для реализации поставленной цели исследования из сформированной базы данных в количестве 15 200 определений [72] отобраны 897 модельных деревьев шести лесообразующих родов Евразии. Статистики выборок анализируемых показателей деревьев показаны в табл. 1. Обработка экспериментального материала выполнена по программе многофакторного регрессионного анализа Statgraphics-19 (<http://www.statgraphics.com/>).

Включение в анализ данных лишь 897 деревьев из имеющихся 15200 имеет ряд исторически обусловленных причин. Главная из них – отсутствие единой методики определения всех фракций надземной и подземной биомассы, обязательной для всеобщего исполнения. Несмотря на попытки установить некие общие правила определения биомассы деревьев и древостоев в ходе реализации Международной биологической программы [5], какой-либо стандартизации в этой области, по аналогии, например, с стандартиза-

цией в области древесного прироста [1], не было предложено, хотя отдельные «Руководства» издавались [3; 15; 16; 19; 65; 68; 71; 81]. Поэтому в большинстве случаев исследователи шли по пути наименьшего сопротивления, т. е. выбирали наиболее легко определяемые параметры деревьев. При обработке модельных деревьев на пробных площадях исследователи обычно учитывали возраст деревьев, высоту и диаметр ствола на высоте груди, так как при наземной таксации их совокупность объясняла 90–99 % изменчивости той или иной фракции биомассы. Иногда измеряли также расстояние от основания ствола до основания кроны, но редко измеряли ширину (диаметр) кроны [56]. Кроме того, из-за неправильной формы горизонтальной проекции кроны точность измерения ее ширины выглядела сомнительной, во всяком случае, в сравнении с точностью измерения диаметра ствола. Считалось, что ширина кроны не вносит существенного вклада в объяснение изменчивости биомассы дерева, а основной вклад вносит диаметр ствола.

В силу известной трудоемкости отмывки корней в почвенных горизонтах, не сопоставимой с оценкой надземных фракций [33; 78], доля деревьев с измеренной массой корней, как и с измеренным диаметром кроны, в базе данных очень низка. В результате в имеющейся базе данных доля модельных деревьев с измеренными шириной кроны и массой корней в их общем количестве у разных древесных видов не превышает 10 % [25; 28; 67]. По этой причине исследователи предпочитали выводить обобщенные показатели для отношения подземной биомассы к надземной (Pr/Pa) [23; 58].

Таблица 1
Статистики анализируемых показателей деревьев

Обозначение статистики ⁽¹⁾	Анализируемые показатели ⁽²⁾							
	<i>Dcr</i>	<i>H</i>	<i>T</i>	<i>Pr</i>	<i>Dcr</i>	<i>H</i>	<i>T</i>	<i>Pr</i>
	<i>Pinus L.</i>				<i>Picea L.</i>			
Mean	2,0	9,4	-9	15,8	2,2	10,6	-10	24,9
Min	0,4	1,4	-27	0,02	0,3	0,4	-17	0,003
Max	7,3	26,0	10	259,2	8,5	32,4	5	444,6
SD	1,3	5,1	8,9	33,8	1,6	9,4	5,2	58,3
CV, %	66,4	54,6	-104,0	213,4	72,0	88,9	-50,3	234,4
n	71	230	230	291	187	291	402	402
	<i>Larix Mill.</i>				<i>Betula L.</i>			
Mean	4,0	15,5	-12	65,7	3,4	14,4	-11	47,6
Min	1,4	6,1	-28	1,7	0,6	6,8	-22	0,06
Max	13,0	34,0	5	768,4	11,4	25,2	5	458,8
SD	2,0	5,8	14,7	124,0	3,0	5,8	10,2	105,0
CV, %	50,1	37,8	-122,4	188,7	88,4	40,2	-92,3	220,5
n	74	75	75	75	20	12	20	20
	<i>Quercus L.</i>				<i>Fagus L.</i>			
Mean	6,8	13,4	-5	62,1	2,8	12,2	3	25,4
Min	2,1	4,1	-10	0,7	1,1	4,1	-3	0,2
Max	14,3	32,6	5	843,5	11,4	39,3	4	452,0
SD	4,0	7,7	6,5	130,4	2,1	7,8	2,1	84,5
CV, %	59,4	57,0	-132,1	210,0	75,1	63,6	64,7	332,6
n	14	79	79	79	30	30	30	30

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

⁽²⁾ *Dcr* – ширина кроны, м; *H* – высота дерева, м; *T* – средняя температура января, °C; *Pr* – биомасса корней в абсолютно сухом состоянии, кг.

По географическим координатам заложенных пробных площадей исходные данные совмещены с показателями средней январской температуры на имеющейся карте [9, 82] и одновременно совмещены с таксационными и биопродукционными показателями деревьев в одной общей матрице [73], которая была включена затем в процедуру регрессионного анализа. Отказ от использования средней годовой температуры в пользу средней температуры января был обоснован ранее [73; 74].

В наших ранее проведенных исследованиях, посвященных оценке надземной биомассы деревьев дистанционными методами в известных климатических градиентах Евразии [9; 10; 11; 12; 13; 76; 77] в качестве независимых морфометрических переменных использовались диаметр кроны и высота дерева, а из климатических переменных – средняя январская температура и годовые осадки.

Исключение составили модели для бука и ясеня [14], включающие из климатических переменных лишь январскую температуру по причине ограниченного количества исходных данных. В упомянутом случае годовые осадки в качестве независимой переменной были статистически не значимыми, поскольку вследствие относительно небольшого диапазона варьирования тех и других на территориально ограниченных ареалах произрастания температура и осадки были тесно коррелированы.

При анализе зависимости биомассы корней от дистанционно определяемых морфометрических показателей деревьев с учетом глобального потепления мы ограничились зависимостью биомассы лишь от диаметра кроны и высоты дерева и от январской температуры. Вследствие чрезвычайно малой представленности данных с измеренными диаметрами крон и измеренной массой корней, а также вследствие недостаточно обширной территориальной представленности соответствующих пробных площадей, январская температура оказалась тесно коррелированной с осадками, и осадки, как и в моделях биомассы для бука и ясеня, стали статистически не значимы. С учетом изложенного принята следующая структура регрессионной модели:

$$\ln P_r = a_0 + a_1(\ln Dcr) + a_2(\ln H) + a_3[\ln(T + 50)]. \quad (1)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчета (1) представлены в табл. 2. Все регрессионные коэффициенты моделей, представлен-

ных в табл. 2 для лиственниц, елей, берез и буков, достоверны на уровне $p < 0,001$. Влияние температуры на биомассу корней сосен и дубов оказалось не значимым ($t = 0,1$ и $1,2$ соответственно, что меньше стандартного значения критерия Стьюдента, равного $1,96$), и температура как независимая переменная была исключена из структуры модели (1). При расчете моделей (1) применена поправка на логарифмическое преобразование [21].

Геометрическая интерпретация моделей (1) (см. рисунок) для биомассы корней получена путем подстановки в них средних значений Dcr и H , взятых из табл. 1. Как можем видеть на рисунке, зависимость биомассы корней равновеликих деревьев от зимней температуры описывается нисходящей кривой для лиственниц и елей, и восходящей – для берез и буков (см. рисунок). Биомасса корней у сосен и дубов связана только с диаметром кроны и высотой дерева, и изменение зональной температуры не влияет на эту зависимость.

По-видимому, разная реакция корней древесных родов на температуру в зональном градиенте связана с биологическими свойствами древесных видов [31; 43; 44] и с особенностями распределения ассимилятов дерева в различные его компоненты [55; 62; 63; 83; 84].

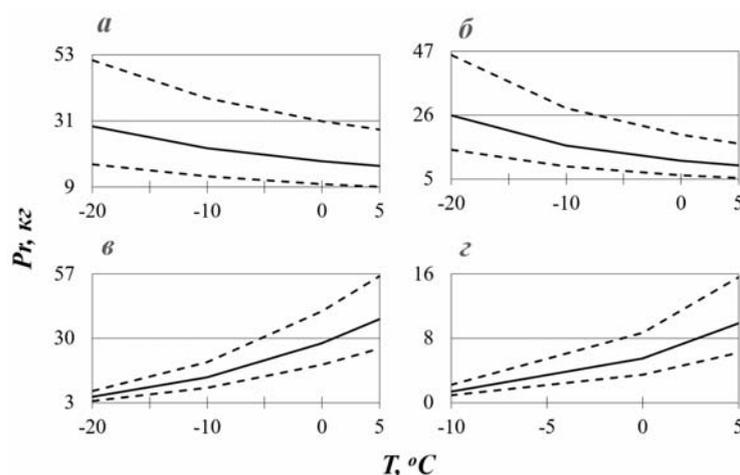
Программа Statgraphics-19 дает возможность оценить вклад независимых переменных в объяснение изменчивости зависимой переменной. Мы видим в табл. 3, что средние значения вкладов таксационных показателей деревьев и климатической переменной в объяснение изменчивости биомассы корней составляют соответственно 77 и 23 %. Диаметр кроны и высота дерева имеют примерно равные вклады в объяснение изменчивости биомассы корней.

Полученные результаты следует считать предварительными, в том числе, по причине недостаточной представленности фактических данных в полных диапазонах температур и осадков на территории Евразии. Предложенные модели основаны на фактическом эмпирическом материале, в отличие от «псевдоданных», использованных в моделях для европейских лесов [32]. Недостаточная представленность данных о биомассе корней в ареалах исследуемых родов по сравнению с данными о надземной биомассе, к сожалению, сужает климатический диапазон имеющихся фактических данных, что обуславливает корреляцию температур и осадков и снижает устойчивость рассчитанных аллометрических моделей.

Таблица 2
Результаты расчета моделей (1)

Род	Зависимая переменная	Регрессионные коэффициенты модели (1)				$adjR^2$	SE
		a_0	a_1	a_2	a_3		
<i>Larix</i> Mill.	$\ln P_r$	2,7304	1,7322	0,7862	-0,9841	0,794	0,56
<i>Picea</i> L.	$\ln P_r$	2,8728	0,5503	2,1008	-1,6646	0,957	0,57
<i>Betula</i> L.	$\ln P_r$	-15,6758	1,5873	1,7782	3,2263	0,939	0,39
<i>Fagus</i> L.	$\ln P_r$	-28,5288	2,0109	1,5461	6,1270	0,940	0,46
<i>Pinus</i> L.	$\ln P_r$	-2,1826	1,2460	1,3511	-	0,775	0,77
<i>Quercus</i> L.	$\ln P_r$	-2,8983	1,6505	1,4486	-	0,929	0,47

Примечания. $adjR^2$ – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных; SE – стандартная ошибка уравнения.



Связь биомассы корней лиственницы (а), ели (б), берёзы (в) и бука (г) с средней температурой января (Т). Обозначения см. в табл. 1

Таблица 3
Вклад независимых переменных уравнений (1) в объяснение изменчивости зависимых переменных, %

Род	Независимые переменные уравнений (1)			
	$\ln Dcr$ (I)	$\ln H$ (II)	I+II	$\ln(Tm+50)$ (III)
<i>Larix</i> Mill.	48,4	18,3	66,7	33,3
<i>Picea</i> L.	14,4	69,7	84,1	15,9
<i>Betula</i> L.	44,3	33,2	77,5	22,5
<i>Fagus</i> L.	44,0	36,2	80,2	19,8
$M \pm \sigma^{(*)}$	$37,8 \pm 15,7$	$39,4 \pm 21,7$	$77,1 \pm 7,5$	$22,9 \pm 7,5$

Примечание. ^(*) $M \pm \sigma$ – среднее значение \pm стандартное отклонение.

В частности, наличие положительной связи биомассы корней с зимней температурой, т.е. снижение в направлении высоких широт (рис. 1), противоречит известной тенденции их повышения по мере ужесточения условий произрастания с целью скомпенсировать это ужесточение [42]. В данном случае может проявляться действие не столько температуры, сколько связанных с ней осадков. Например, в условиях Западной Европы при средней зимней температуре 0 °С дуб *Quercus robur* L. имеет значение Pr/Pa (отношение подземной биомассы к надземной), равное 0,18, и *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. – 0,21 [75], а дуб персидский (*Quercus brantii* Lindl.) в Иране при той же температуре характеризуется величиной Pr/Pa, равной 0,80 [20], что, очевидно, связано не с температурой, а с осадками (800 мм в Европе против 300 мм в Иране).

Несмотря на отмеченную неопределенность, полученные результаты дают положительный ответ на вопрос, можем ли мы определять биомассу корней исследованных шести родов Евразии по данным лазерного зондирования, могут ли предложенные аллометрические модели изменяться в климатических градиентах Евразии и каким может быть вклад климатических переменных в объяснение изменчивости биомассы корней деревьев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учетом возросших возможностей определения таксационных показателей деревьев путем дистанционного зондирования, особенно с применением дро-

нов, рассчитаны двухфакторные аллометрические модели, предназначенных для оценки биомассы корней лесообразующих родов Евразии по измеренным диаметру кроны и высоте дерева. Установлено, что биомасса корней равновеликих деревьев при снижении температур в зональном градиенте у лиственниц и елей увеличивается, у берёз и буков снижается, а у сосен и дубов остается без изменений..

Вклад диаметра кроны, высоты дерева и январской температуры в объяснение изменчивости биомассы корней составляет соответственно 38, 39 и 23 %.

Предложенные аллометрические модели могут быть использованы при оценках биомассы корней лесообразующих родов Евразии на основе воздушно-го лазерного зондирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- Антанайтис В., Жадейкис Р. Стандартизация в области древесного прироста. Каунас–ЛитСХА, 1977. 103 с.
- Вейсов С., Каплин В. Г. К методике определения надземной фитомассы белого саксаула в Восточных Каракумах // Проблемы освоения пустынь. 1976. № 1. С. 60–64.
- Гортинский Г. Б., Карпов В. Г. Основные понятия и принципы определения первичной продукции // Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л.: Наука, 1973. С. 90–92.
- Поздняков Л. К., Протопопов В. В., Горбатенко В. М. Биологическая продуктивность лесов Средней

Сибири и Якутии. Красноярск : Кн. изд-во, 1969. 120 с.

5. Программа-минимум по определению первичной биологической продуктивности наземных растительных сообществ (проект) // Растительные ресурсы. 1967. Т. 3. Вып. 4. С. 612–620.

6. Самойлович Г. Г. Применение аэрофотосъемки и авиации в лесном хозяйстве. М.-Л. : Гослесбуиздат, 1953. 476 с.

7. Усольцев В. А. О применении регрессионного анализа в лесоводственных задачах // Лесная таксация и лесоустройство. 2004. № 1 (33). С. 49–55.

8. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Обновленные аллометрические модели биомассы 19 древесных видов и родов Евразии для бортового лазерного зондирования // Хвойные бореальной зоны. 2021а. Т. 39. № 6. С. 469–479.

9. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Принцип пространственно-временного замещения в экологии и прогнозирование биомассы *Picea* spp. при изменении климата // Хвойные бореальной зоны. 2021в. Т. 39. № 4. С. 269–275.

10. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Прогнозирование биомассы стволов сосновых деревьев естественных древостоев и лесных культур в связи с изменением климата // Сибирский лесной журнал. 2021б. № 2. С. 72–81. DOI: 10.15372/SJFS20210207.

11. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Климатически обусловленные территориальные изменения фитомассы деревьев лесообразующих видов Евразии и их прогнозирование // Сибирский лесной журнал. 2021г. № 6. С. 72–90.

12. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Разработка модели биомассы *Picea* L. и *Abies* L. в связи с разнообразием климатических условий в Евразии // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022 (принята в печать).

13. Усольцев В. А., Цепордей И. С., Азаренок М. В. Климатически обусловленные пространственные и темпоральные изменения биомассы рода *Abies* spp. Евразии в контексте закона лимитирующего фактора // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39. № 5. С. 392–400.

14. Усольцев В. А., Цепордей И. С., Ковязин В. Ф. Аллометрические модели биомассы бука (*Fagus* L.) и ясеня (*Fraxinus* L.) для лазерного зондирования в температурном градиенте Евразии // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. (В печати).

15. Уткин А. И. Изучение лесных биогеоценозов // Программа и методика биогеоценологических исследований. М. : Наука, 1974. С. 281–317.

16. Уткин А. И. Методика исследований первичной биологической продуктивности лесов // Биологическая продуктивность лесов Поволжья. М. : Наука, 1982. С. 59–72.

17. Ahmed R., Siqueira P., Hensley S. et al. Uncertainty of forest biomass estimates in north temperate forests due to allometry: implications for remote sensing // Remote Sensing. 2013. Vol. 5. P. 3007–3036.

18. Aijazi A. K., Checchin P., Malaterre L. et al. Automatic detection and parameter estimation of trees for forest inventory applications using 3D terrestrial LiDAR // Remote Sensing. 2017. Vol. 9. Article 946.

19. Aldred A. H., Alemdag I. S. Guidelines for forest biomass inventory. Information Report PI-X-77. Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service, 1988. 133 p.

20. Askari Y., Soltani A., Akhavan R. et al. Assessment of root-shoot ratio biomass and carbon storage of *Quercus brantii* Lindl. in the central Zagros forests of Iran // Journal of Forest Science. 2017. Vol. 63. P. 282–289.

21. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Canadian Journal of Forest Research. 1972. Vol. 2(1). P. 49–53.

22. Blunden J., Arndt D. S., Hartfield G. (Eds.). State of the Climate in 2017 // Bulletin of the American Meteorological Society. 2018. Vol. 99 (8), Si-S332. DOI: 10.1175/2018BAMSStateoftheClimate.1.

23. Bray J.R. Root production and the estimation of net productivity // Canadian Journal of Botany. 1963. Vol. 41. P. 65–72.

24. Camarretta N., Harrison P.A., Lucieer A. et al. Handheld laser scanning detects spatiotemporal differences in the development of structural traits among species in restoration plantings // Remote Sensing. 2021. Vol. 13. Article 1706.

25. Cannell M. G. R. World forest biomass and primary production data. London: Academic Press, 1982. 391 p.

26. Danilin I. M., Medvedev E. M. Forest inventory and biomass assessment by the use of airborne laser scanning method (example from Siberia) // International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2004. Vol. 36 – 8/W2. P. 139–144.

27. Dengler A. Kronengröße, Nadelmenge und Zuwachsleistung von Altkiefern // Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. 1937. Vol. 69. P. 321–336.

28. Falster D.S., Duursma R.A., Ishihara M.I. et al. BAAD: a Biomass And Allometry Database for woody plants // Ecology. 2015. Vol. 96. P. 1445–1445.

29. Fang O., Wang Y., Shao X. The effect of climate on the net primary productivity (NPP) of *Pinus koraiensis* in the Changbai Mountains over the past 50 years // Trees. 2016. Vol. 30. P. 281–294.

30. Ferraz A., Saatchi S., Mallet C. et al. Lidar detection of individual tree size in tropical forests // Remote Sensing of Environment. 2016. Vol. 183. P. 318–333.

31. Fischlin A., Ayres M., Karnosky D. et al. Future environmental impacts and vulnerabilities // Seppälä, R., Buck, A., Katila, P., (eds). Adaptation of forests and people to climate change: a global assessment report, 2009. P. 53–100 (IUFRO World Series. Vol. 22).

32. Forrester D. I., Tachauer I. H. H., Annighoefer P. et al. Generalized biomass and leaf area allometric equations for European tree species incorporating stand structure, tree age and climate // Forest Ecology and Management. 2017. Vol. 396. P. 160–175.

33. Freschet G. T., Pages L., Iversen C. M. et al. A starting guide to root ecology: strengthening ecological concepts and standardising root classification, sampling, processing and trait measurements // New Phytologist. 2021. Vol. 232. P. 973–1122. DOI: 10.1111/nph.175722021.

34. Fu L., Lei X., Hu Z. et al. Integrating regional climate change into allometric equations for estimating

- tree aboveground biomass of Masson pine in China // *Annals of Forest Science*. 2017. Vol. 74. P. 1–15.
35. Fu W., Wu Y. Estimation of aboveground biomass of different mangrove trees based on canopy diameter and tree height // *Procedia Environmental Sciences*. 2011. Vol. 10. P. 2189–2194.
36. Gong P., Sheng Y., Biging G. S. 3D-Model based tree measurement from high-resolution aerial imagery // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2002. Vol. 68(11). P. 1203–1212.
37. Goodman R. C., Phillips O. L., Baker T. R. The importance of crown dimensions to improve tropical tree biomass estimates // *Ecological Applications*. 2014. Vol. 24 (4). P. 680–698.
38. Grote R., Kiese R., Grünwald T. et al. Modelling forest carbon balances considering tree mortality and removal // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2011. Vol. 151. P. 179–190.
39. Hamraz H., Contreras M. A., Zhang J. Forest understory trees can be segmented accurately within sufficiently dense airborne laser scanning point clouds // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7 (1). Article 6770.
40. Hartig R. Wachstumsuntersuchungen an Fichten // *Forstlich-Naturwissenschaftliche Zeitschrift*. 1896. Vol. 5 (1, 3). P. 1–15, 33–45.
41. Houghton R. A., Hall F., Goetz S. J. Importance of biomass in the global carbon cycle // *Journal of Geophysical Research*. 2009. Vol. 114. Article G00E03.
42. Hu H., Li F.L., McCormack M. L. et al. Functionally divergent growth, biomass allocation and root distribution of two xerophytic species in response to varying soil rock fragment content // *Plant and Soil*. 2021. Vol. 463 (1-2). P. 1–13.
43. Huang C., Liang Y., He H. S. et al. Sensitivity of aboveground biomass and species composition to climate change in boreal forests of Northeastern China // *Ecological Modelling*. 2021. Vol. 445. Article 109472.
44. Huang J., Tardif J. C., Bergeron Y. et al. Radial growth response of four dominant boreal tree species to climate along a latitudinal gradient in the eastern Canadian boreal forest // *Global Change Biology*. 2010. Vol. 16. P. 711–731.
45. Ilvessalo Y. On the correlation between crown diameter and the stem of trees // *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*. 1950. Vol. 38(2). P. 1–32.
46. IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // Stocker T. F., Qin G.-K., Plattner M. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. 1535 p.
47. Jucker T., Caspersen J., Chave J. et al. Allometric equations for integrating remote sensing imagery into forest monitoring programmes // *Global Change Biology*. 2017. Vol. 23. P. 177–190.
48. Kajihara M. Crown structure of sugi (*Cryptomeria japonica*) and the relationship between crown dimensions and leaf fresh weight // *Bulletin of the Kyoto Prefectural University Forests*. 1980. Vol. 24. P. 49–63.
49. Kajihara M. Crown form, crown structure and the relationship between crown dimensions and leaf fresh weight of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) // *Bulletin of the Kyoto Prefectural University Forests*. 1981. Vol. 25. P. 11–28.
50. Ke Y., Quackenbush L. J. A review of methods for automatic individual tree-crown detection and delineation from passive remote sensing // *International Journal of Remote Sensing*. 2011. Vol. 32. P. 4725–4747.
51. Kern K. G. Die Beziehungen zwischen einigen Kronenkennwerten und dem Nadel Trockengewicht bei Fichte und Tanne // *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*. 1962. Vol. 133. P. 13–18.
52. Korpela I. Incorporation of allometry into single-tree remote sensing with lidar and multiple aerial images // C. Heipke, K. Jacobsen, M. Gerke (eds.). High resolution earth imaging for geospatial information: ISPRS Hannover Vorkshop, Hannover, Germany May 29 – June 1, 2007. P. 1–6.
53. Lau A., Calders K., Bartholomeus H. et al. Tree biomass equations from terrestrial LiDAR: A case study in Guyana // *Forests*. 2019. Vol. 10. Article 527.
54. Laybros A., Aubry-Kientz M., Féret J.-B. et al. Quantitative airborne inventories in dense tropical forest using imaging spectroscopy // *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. Article 1577.
55. Liu R., Yang X., Gao R. et al. Allometry rather than abiotic drivers explains biomass allocation among leaves, stems and roots of *Artemisia* across a large environmental gradient in China // *Journal of Ecology*. 2021. Vol. 109(2). P. 1026–1040.
56. Luck L., Hutley L. B., Calders K. et al. Exploring the variability of tropical savanna tree structural allometry with terrestrial laser scanning // *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. Article 3893.
57. Machimura T., Fujimoto A., Hayashi K. et al. A novel tree biomass estimation model applying the pipe model theory and adaptable to UAV-derived canopy height models // *Forests*. 2021. Vol. 12 (2). Article 258.
58. Monserud R.A., Huang S., Yang Y. Biomass and biomass change in lodgepole pine stands in Alberta // *Tree Physiology*. 2006. Vol. 26. P. 819–831.
59. Næsset E., Gobakken T., Holmgren J. et al. Laser scanning of forest resources: the Nordic experience // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2004. Vol. 19. P. 482–489.
60. Pappas C., Bélanger N., Bergeron Y. et al. Smart-forests Canada: A network of monitoring plots for forest management under environmental change // R. Tognetti et al. (eds.). *Climate-Smart Forestry in Mountain Regions, Managing Forest Ecosystems*. 2022. Vol. 40. P. 521–543.
61. Pollock R. J. The automatic recognition of individual trees in aerial images of forests based on a synthetic tree crown model / PhD-thesis in computer science. The University of British Columbia, 1996. 158 p.
62. Poorter H., Jagodzinski A. M., Ruiz-Peinado R. et al. How does biomass allocation change with size and differ among species? An analysis for 1200 plant species from five continents // *New Phytologist*. 2015. Vol. 208 (3). P. 736–749.
63. Rehling F., Sandner T. M., Matthies D. Biomass partitioning in response to intraspecific competition depends on nutrients and species characteristics: a study of 43 plant species // *Journal of Ecology*. 2021. Vol. 109(9). P. 2219–2233.

64. Sato H., Kobayashi H., Delbart N. Simulation study of the vegetation structure and function in eastern Siberian larch forests using the individual-based vegetation model SEIB-DGVM // *Forest Ecology and Management*. 2010. Vol. 259. P. 301–311.

65. Satoo T., Madgwick H. A. I. *Forest Biomass*. Martinus Nijhoff, Dr. W. Junk Publishers, 1982. 152 p. (Forestry Sciences, No. 6).

66. Schaphoff S., Lucht W., Gerten D. et al. Terrestrial biosphere carbon storage under alternative climate projections // *Climatic Change*. 2006. Vol. 74(1). P. 97–122.

67. Schepaschenko D., Shvidenko A., Usoltsev V. A. et al. A dataset of forest biomass structure for Eurasia // *Scientific Data*. 2017. Vol. 4. Article No. 170070.

68. Snowdon P., Raison J., Keith H. et al. Protocol for sampling tree and stand biomass. National Carbon Accounting System. Technical report No. 31. Canberra: Australian Greenhouse office, 2002. 66 p.

69. Stegen J. C., Swenson N. G., Enquist B. J. et al. Variation in aboveground forest biomass across broad climatic gradients // *Global Ecology and Biogeography*. 2011. Vol. 20. P. 744–754.

70. Swatantran A., Tang H., Barrett T. et al. Rapid, high-resolution forest structure and terrain mapping over large areas using single photon lidar // *Scientific Reports*. 2016. Vol. 6. Article 28277.

71. Tadaki Y., Ogata N., Takagi T. Studies on the production structure of forests. III. Estimation of standing crop and some analyses on productivity of young stands of *Castanopsis cuspidata* // *Journal of the Japanese Forest Society*. 1962. Vol. 44. P. 350–359.

72. 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, 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.31984.00001.

73. Usoltsev V. A., Shobairi S. O. R., Tsepordey I. S. et al. On some differences in the response of *Picea* spp. and *Abies* spp. single-tree biomass structure to changes in temperatures and precipitation in Eurasia // *Environment and Ecology*. 2020a. Vol. 38. P. 300–315.

74. Usoltsev V. A., Shobairi S. O. R., Tsepordey I. S. et al. Additive model of aboveground biomass of larch single-trees related to age, DBH and height, sensitive to temperature and precipitation in Eurasia // *Journal of Applied Sciences & Environmental Management*. 2020b. Vol. 24. P. 1759–1766.

75. Usoltsev V. A., Shobairi O., Chasovskikh V. P. Additive allometric model of *Quercus* spp. stand biomass for Eurasia // *Ecological Questions*. 2020c. Vol. 31(2). P. 39–46.

76. Usoltsev V., Kovyazin V., Tsepordey I. et al. Allometric models of *Picea* spp. biomass for airborne laser sensing as related to climate variables // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021a. Vol. 806, 012033. (II All-Russian scientific-technical conference “Digital Technologies in Forest Sector”, 18–19 March 2021, Saint Petersburg, Russian Federation).

77. Usoltsev V., Zukow W., Tsepordey I. Generic models of the biomass of larches (*Larix* spp.) and stone

pinus (*Pinus* L. subsection *Cembrae* Loud.) for laser sensing in climatic gradients of Eurasia // *Ecological Questions*. 2021b. Vol. 32(4), 1–14.

78. Vogt K. A., Persson H. Measuring growth and development of roots // Lassoie J. P., Hinckley T. M. (eds.). *Techniques and approaches in forest tree ecophysiology*. Boca Raton: CRC Press, FL, 1991. P. 477–501.

79. Wang J. Y., Ju K. J., Fu H. E. et al. Study on biomass of water conservation forest on north slope of Qilian Mountains // *Journal of Fujian College of Forestry*. 1998. Vol. 18. P. 319–325.

80. Wang L., Gong P., Biging G. S. Individual tree-crown delineation and treetop detection in high-spatial-resolution imagery // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2004. Vol. 70(3). P. 351–358.

81. Whittaker R. H., Marks P. L. Methods of assessing terrestrial productivity // Lieth H., Whittaker R. H. (eds.). *Primary productivity of the biosphere*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1975. P. 55–118 (Ecological Studies: Analysis and Synthesis. Vol. 14).

82. World Weather Maps (2007). URL: <https://www.mapsofworld.com/referrals/weather/>

83. Xiong F., Nie X., Yang L. et al. Biomass partitioning pattern of *Rheum tanguticum* on the Qinghai-Tibet Plateau was affected by water-related factors // *Plant Ecology*. 2021. Vol. 222 (4). P. 1–11.

84. Zanotelli D., Montagnani L., Manca G. et al. Net primary productivity, allocation pattern and carbon use efficiency in an apple orchard assessed by integrating eddy covariance, biometric and continuous soil chamber measurements. *Biogeosciences*. 2013. Vol. 10. P. 3089–3108.

85. Zeller L., Liang J., Pretzsch H. Tree species richness enhances stand productivity while stand structure can have opposite effects, based on forest inventory data from Germany and the United States of America // *Forest Ecosystems*. 2018. Vol. 5 (4). P. 1–17.

86. Zeng W., Duo H., Lei X. et al. Individual tree biomass equations and growth models sensitive to climate variables for *Larix* spp. in China // *European Journal of Forest Research*. 2017. Vol. 136. P. 233–249.

87. Zhen Z., Quackenbush L. J., Zhang L. Trends in automatic individual tree crown detection and delineation—Evolution of LiDAR data // *Remote Sensing*. 2016. Vol. 8 (4). Article 333.

REFERENCES

1. Standartizaciya v oblasti drevesnogo prirosta. Kaunas : LitSKHA, 1977. 103 s.

2. Vejisov S., Kaplin V. G. K metodike opredeleniya nadzemnoj fitomassy belogo saksaula v Vostochnyh Karakumah // *Problemy osvoeniya pustyn'*. 1976. № 1. S. 60–64.

3. Gortinskij G. B., Karpov V. G. Osnovnye ponyatiya i principy opredeleniya pervichnoj produkcii // *Struktura i produktivnost' elovyh lesov yuzhnoj tajgi*. L. : Nauka, 1973. S. 90–92.

4. Pozdnyakov L. K., Protopopov V. V., Gorbatenko V. M. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Srednej Sibiri i Yakutii*. Krasnoyarsk : Kn. izd-vo, 1969. 120 s.

5. Programma-minimum po opredeleniyu pervichnoj biologicheskoy produktivnosti nazemnyh rastitel'nyh soobshchestv (proekt) // *Rastitel'nye resursy*. 1967. T. 3. Vyp. 4. S. 612–620.

6. Samojlovich G. G. *Primenenie aerofotos"emki i aviatsii v lesnom hozyajstve*. M.-L. : Goslesbumizdat, 1953. 476 s.
7. Usol'cev V. A. O primenении regressionnogo analiza v lesovodstvennykh zadachah // *Lesnaya taksatsiya i lesoustrojstvo*. 2004. № 1 (33). S. 49–55.
8. Usol'cev V. A., Cedordej I. S. Obnovlennye allometricheskie modeli biomassy 19 drevesnykh vidov i rodov Evrazii dlya bortovogo lazernogo zondirovaniya // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2021a. T. 39. № 6. S. 469–479.
9. Usol'cev V. A., Cedordej I. S. Princip prostranstvenno-vremennogo zameshcheniya v ekologii i prognozirovanie biomassy *Picea* spp. pri izmenenii klimata // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2021v. T. 39. № 4. S. 269–275.
10. Usol'cev V. A., Cedordej I. S. Prognozirovanie biomassy stvolov sosnovykh derev'ev estestvennykh drevostoev i lesnykh kul'tur v svyazi s izmeneniem klimata // *Sibirskij lesnoj zhurnal*. 2021b. № 2. S. 72–81. DOI: 10.15372/SJFS20210207.
11. Usol'cev V. A., Cedordej I. S. Klimaticheski obuslovlennye territorial'nye izmeneniya fitomassy derev'ev lesoobrazuyushchih vidov Evrazii i ih prognozirovanie // *Sibirskij lesnoj zhurnal*. 2021g. № 6. S. 72–90.
12. Usol'cev V. A., Cedordej I. S. Razrabotka modeli biomassy *Picea* L. i *Abies* L. v svyazi s raznoobraziem klimaticheskikh uslovij v Evrazii // *Izv. vuzov. Lesn. zhurn.* 2022 (prinyata v pechat').
13. Usol'cev V. A., Cedordej I. S., Azarenok M. V. Klimaticheski obuslovlennye prostranstvennye i temporal'nye izmeneniya biomassy roda *Abies* spp. Evrazii v kontekste zakona limitiruyushchego faktora // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2021. T. 39. № 5. S. 392–400.
14. Usol'cev V. A., Cedordej I. S., Kovyazin V. F. Allometricheskie modeli biomassy buka (*Fagus* L.) i yasenya (*Fraxinus* L.) dlya lazernogo zondirovaniya v temperaturnom gradiente Evrazii // *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2022. (V pechati).
15. Utkin A. I. *Izuchenie lesnykh biogeocenozov // Programma i metodika biogeocenologicheskikh issledovaniy*. M. : Nauka, 1974. S. 281–317.
16. Utkin A. I. *Metodika issledovaniy pervichnoj biologicheskoy produktivnosti lesov // Biologicheskaya produktivnost' lesov Povolzh'ya*. M. : Nauka, 1982. S. 59–72.
17. Ahmed R., Siqueira P., Hensley S. et al. Uncertainty of forest biomass estimates in north temperate forests due to allometry: implications for remote sensing // *Remote Sensing*. 2013. Vol. 5. P. 3007–3036.
18. Aijazi A. K., Checchin P., Malaterre L. et al. Automatic detection and parameter estimation of trees for forest inventory applications using 3D terrestrial LiDAR // *Remote Sensing*. 2017. Vol. 9. Article 946.
19. Aldred A. H., Alemdag I. S. Guidelines for forest biomass inventory. Information Report PI-X-77. Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service, 1988. 133 p.
20. Askari Y., Soltani A., Akhavan R. et al. Assessment of root-shoot ratio biomass and carbon storage of *Quercus brantii* Lindl. in the central Zagros forests of Iran // *Journal of Forest Science*. 2017. Vol. 63. P. 282–289.
21. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // *Canadian Journal of Forest Research*. 1972. Vol. 2 (1). P. 49–53.
22. Blunden J., Arndt D.S., Hartfield G. (Eds.). State of the Climate in 2017 // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2018. Vol. 99 (8), Si-S332. doi:10.1175/2018BAMSStateoftheClimate.1.
23. Bray J. R. Root production and the estimation of net productivity // *Canadian Journal of Botany*. 1963. Vol. 41. P. 65–72.
24. Camarretta N., Harrison P. A., Lucieer A. et al. Handheld laser scanning detects spatiotemporal differences in the development of structural traits among species in restoration plantings // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. Article 1706.
25. Cannell M. G. R. *World forest biomass and primary production data*. London : Academic Press, 1982. 391 p.
26. Danilin I. M., Medvedev E. M. Forest inventory and biomass assessment by the use of airborne laser scanning method (example from Siberia) // *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2004. Vol. 36 – 8/W2. P. 139–144.
27. Dengler A. Kronengröße, Nadelmenge und Zuwachslleistung von Altkiefern // *Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen*. 1937. Vol. 69. P. 321–336.
28. Falster D. S., Duursma R. A., Ishihara M. I. et al. BAAD: a Biomass And Allometry Database for woody plants // *Ecology*. 2015. Vol. 96. P. 1445–1445.
29. Fang O., Wang Y., Shao X. The effect of climate on the net primary productivity (NPP) of *Pinus koraiensis* in the Changbai Mountains over the past 50 years // *Trees*. 2016. Vol. 30. P. 281–294.
30. Ferraz A., Saatchi S., Mallet C. et al. Lidar detection of individual tree size in tropical forests // *Remote Sensing of Environment*. 2016. Vol. 183. P. 318–333.
31. Fischlin A., Ayres M., Karnosky D. et al. Future environmental impacts and vulnerabilities // Seppälä R., Buck A, Katila P., (eds). *Adaptation of forests and people to climate change: a global assessment report, 2009*. P. 53–100 (IUFRO World Series. Vol. 22).
32. Forrester D. I., Tachauer I. H. H., Annighoefer P. et al. Generalized biomass and leaf area allometric equations for European tree species incorporating stand structure, tree age and climate // *Forest Ecology and Management*. 2017. Vol. 396. P. 160–175.
33. Freschet G. T., Pages L., Iversen C. M. et al. A starting guide to root ecology: strengthening ecological concepts and standardising root classification, sampling, processing and trait measurements // *New Phytologist*. 2021. Vol. 232. P. 973–1122. DOI: 10.1111/nph.17572 2021.
34. Fu L., Lei X., Hu Z. et al. Integrating regional climate change into allometric equations for estimating tree aboveground biomass of Masson pine in China // *Annals of Forest Science*. 2017. Vol. 74. P. 1–15.
35. Fu W., Wu Y. Estimation of aboveground biomass of different mangrove trees based on canopy diameter and tree height // *Procedia Environmental Sciences*. 2011. Vol. 10. P. 2189–2194.
36. Gong P., Sheng Y., Biging G.S. 3D-Model based tree measurement from high-resolution aerial imagery // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2002. Vol. 68 (11). P. 1203–1212.
37. Goodman R. C., Phillips O. L., Baker T. R. The importance of crown dimensions to improve tropical tree

- biomass estimates // *Ecological Applications*. 2014. Vol. 24 (4). P. 680–698.
38. Grote R., Kiese R., Grünwald T. et al. Modelling forest carbon balances considering tree mortality and removal // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2011. Vol. 151. P. 179–190.
39. Hamraz H., Contreras M. A., Zhang J. Forest understory trees can be segmented accurately within sufficiently dense airborne laser scanning point clouds // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7 (1). Article 6770.
40. Hartig R. Wachstumsuntersuchungen an Fichten // *Forstlich-Naturwissenschaftliche Zeitschrift*. 1896. Vol. 5 (1, 3). P. 1–15, 33–45.
41. Houghton R. A., Hall F., Goetz S. J. Importance of biomass in the global carbon cycle // *Journal of Geophysical Research*. 2009. Vol. 114. Article G00E03.
42. Hu H., Li F. L., McCormack M. L. et al. Functionally divergent growth, biomass allocation and root distribution of two xerophytic species in response to varying soil rock fragment content // *Plant and Soil*. 2021. Vol. 463 (1-2). P. 1–13.
43. Huang C., Liang Y., He H. S. et al. Sensitivity of aboveground biomass and species composition to climate change in boreal forests of Northeastern China // *Ecological Modelling*. 2021. Vol. 445. Article 109472.
44. Huang J., Tardif J. C., Bergeron Y. et al. Radial growth response of four dominant boreal tree species to climate along a latitudinal gradient in the eastern Canadian boreal forest // *Global Change Biology*. 2010. Vol. 16. P. 711–731.
45. Ilvessalo Y. On the correlation between crown diameter and the stem of trees // *Communications Instituti Forestalis Fenniae*. 1950. Vol. 38(2). P. 1–32.
46. IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // Stocker T. F., Qin G.-K., Plattner M. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. 1535 p.
47. Jucker T., Caspersen J., Chave J. et al. Allometric equations for integrating remote sensing imagery into forest monitoring programmes // *Global Change Biology*. 2017. Vol. 23. P. 177–190.
48. Kajihara M. Crown structure of sugi (*Cryptomeria japonica*) and the relationship between crown dimensions and leaf fresh weight // *Bulletin of the Kyoto Prefectural University Forests*. 1980. Vol. 24. P. 49–63.
49. Kajihara M. Crown form, crown structure and the relationship between crown dimensions and leaf fresh weight of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) // *Bulletin of the Kyoto Prefectural University Forests*. 1981. Vol. 25. P. 11–28.
50. Ke Y., Quackenbush L. J. A review of methods for automatic individual tree-crown detection and delineation from passive remote sensing // *International Journal of Remote Sensing*. 2011. Vol. 32. P. 4725–4747.
51. Kern K. G. Die Beziehungen zwischen einigen Kronenkennwerten und dem Nadelrockengewicht bei Fichte und Tanne // *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*. 1962. Vol. 133. P. 13–18.
52. Korpela I. Incorporation of allometry into single-tree remote sensing with lidar and multiple aerial images // C. Heipke, K. Jacobsen, M. Gerke (eds.). High resolution earth imaging for geospatial information: ISPRS Hannover Vorkshop, Hannover, Germany May 29 – June 1, 2007. P. 1–6.
53. Lau A., Calders K., Bartholomeus H. et al. Tree biomass equations from terrestrial LiDAR: A case study in Guyana // *Forests*. 2019. Vol. 10. Article 527.
54. Laybros A., Aubry-Kientz M., Féret J.-B. et al. Quantitative airborne inventories in dense tropical forest using imaging spectroscopy // *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. Article 1577.
55. Liu R., Yang X., Gao R. et al. Allometry rather than abiotic drivers explains biomass allocation among leaves, stems and roots of *Artemisia* across a large environmental gradient in China // *Journal of Ecology*. 2021. Vol. 109(2). P. 1026–1040.
56. Luck L., Hutley L. B., Calders K. et al. Exploring the variability of tropical savanna tree structural allometry with terrestrial laser scanning // *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. Article 3893.
57. Machimura T., Fujimoto A., Hayashi K. et al. A novel tree biomass estimation model applying the pipe model theory and adaptable to UAV-derived canopy height models // *Forests*. 2021. Vol. 12 (2). Article 258.
58. Monserud R. A., Huang S., Yang Y. Biomass and biomass change in lodgepole pine stands in Alberta // *Tree Physiology*. 2006. Vol. 26. P. 819–831.
59. Næsset E., Gobakken T., Holmgren J. et al. Laser scanning of forest resources: the Nordic experience // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2004. Vol. 19. P. 482–489.
60. Pappas C., Bélanger N., Bergeron Y. et al. Smart-forests Canada: A network of monitoring plots for forest management under environmental change // R. Tognetti et al. (eds.). *Climate-Smart Forestry in Mountain Regions, Managing Forest Ecosystems*. 2022. Vol. 40. P. 521–543.
61. Pollock R. J. The automatic recognition of individual trees in aerial images of forests based on a synthetic tree crown model / PhD-thesis in computer science. The University of British Columbia, 1996. 158 p.
62. Poorter H., Jagodzinski A. M., Ruiz-Peinado R. et al. How does biomass allocation change with size and differ among species? An analysis for 1200 plant species from five continents // *New Phytologist*. 2015. Vol. 208 (3). P. 736–749.
63. Rehling F., Sandner T. M., Matthies D. Biomass partitioning in response to intraspecific competition depends on nutrients and species characteristics: a study of 43 plant species // *Journal of Ecology*. 2021. Vol. 109(9). P. 2219–2233.
64. Sato H., Kobayashi H., Delbart N. Simulation study of the vegetation structure and function in eastern Siberian larch forests using the individual-based vegetation model SEIB-DGVM // *Forest Ecology and Management*. 2010. Vol. 259. P. 301–311.
65. Satoo T., Madgwick H. A. I. *Forest Biomass*. Martinus Nijhoff; Dr. W. Junk Publishers, 1982. 152 p. (Forestry Sciences, No. 6).
66. Schaphoff S., Lucht W., Gerten D. et al. Terrestrial biosphere carbon storage under alternative climate projections // *Climatic Change*. 2006. Vol. 74 (1). P. 97–122.

67. Schepaschenko D., Shvidenko A., Usoltsev V. A. et al. A dataset of forest biomass structure for Eurasia // Scientific Data. 2017. Vol. 4. Article No. 170070.
68. Snowdon P., Raison J., Keith H. et al. Protocol for sampling tree and stand biomass. National Carbon Accounting System. Technical report No. 31. Canberra: Australian Greenhouse office, 2002. 66 p.
69. Stegen J. C., Swenson N. G., Enquist B. J. et al. Variation in aboveground forest biomass across broad climatic gradients // Global Ecology and Biogeography. 2011. Vol. 20. P. 744–754.
70. Swatantran A., Tang H., Barrett T. et al. Rapid, high-resolution forest structure and terrain mapping over large areas using single photon lidar // Scientific Reports. 2016. Vol. 6. Article 28277.
71. Tadaki Y., Ogata N., Takagi T. Studies on the production structure of forests. III. Estimation of standing crop and some analyses on productivity of young stands of *Castanopsis cuspidata* // Journal of the Japanese Forest Society. 1962. Vol. 44. P. 350–359.
72. 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, 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.31984.00001.
73. Usoltsev V. A., Shobairi S. O. R., Tsepordey I. S. et al. On some differences in the response of *Picea* spp. and *Abies* spp. single-tree biomass structure to changes in temperatures and precipitation in Eurasia // Environment and Ecology. 2020a. Vol. 38. P. 300–315.
74. Usoltsev V. A., Shobairi S. O. R., Tsepordey I. S. et al. Additive model of aboveground biomass of larch single-trees related to age, DBH and height, sensitive to temperature and precipitation in Eurasia // Journal of Applied Sciences & Environmental Management. 2020b. Vol. 24. P. 1759–1766.
75. Usoltsev V. A., Shobairi O., Chasovskikh V. P. Additive allometric model of *Quercus* spp. stand biomass for Eurasia // Ecological Questions. 2020c. Vol. 31(2). P. 39–46.
76. Usoltsev V., Kovyazin V., Tsepordey I. et al. Allometric models of *Picea* spp. biomass for airborne laser sensing as related to climate variables // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021a. Vol. 806, 012033. (II All-Russian scientific-technical conference “Digital Technologies in Forest Sector”, 18–19 March 2021, Saint Petersburg, Russian Federation).
77. Usoltsev V., Zukow W., Tsepordey I. Generic models of the biomass of larches (*Larix* spp.) and stone pines (*Pinus* L. subsection *Cembrae* Loud.) for laser sensing in climatic gradients of Eurasia // Ecological Questions. 2021b. Vol. 32(4), 1–14.
78. Vogt K. A., Persson H. Measuring growth and development of roots // Lassoie J. P., Hinckley T. M. (eds.). Techniques and approaches in forest tree ecophysiology. Boca Raton: CRC Press, FL, 1991. P. 477–501.
79. Wang J. Y., Ju K. J., Fu H. E. et al. Study on biomass of water conservation forest on north slope of Qilian Mountains // Journal of Fujian College of Forestry. 1998. Vol. 18. P. 319–325.
80. Wang L., Gong P., Biging G. S. Individual tree-crown delineation and treetop detection in high-spatial-resolution imagery // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 2004. Vol. 70(3). P. 351–358.
81. Whittaker R. H., Marks P. L. Methods of assessing terrestrial productivity // Lieth H., Whittaker R. H. (eds.). Primary productivity of the biosphere. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1975. P. 55–118 (Ecological Studies: Analysis and Synthesis. Vol. 14).
82. World Weather Maps (2007). URL: <https://www.mapsofworld.com/referrals/weather/>.
83. Xiong F., Nie X., Yang L. et al. Biomass partitioning pattern of *Rheum tanguticum* on the Qinghai–Tibet Plateau was affected by water-related factors // Plant Ecology. 2021. Vol. 222 (4). P. 1–11.
84. Zanotelli D., Montagnani L., Manca G. et al. Net primary productivity, allocation pattern and carbon use efficiency in an apple orchard assessed by integrating eddy covariance, biometric and continuous soil chamber measurements. Biogeosciences. 2013. Vol. 10. P. 3089–3108.
85. Zeller L., Liang J., Pretzsch H. Tree species richness enhances stand productivity while stand structure can have opposite effects, based on forest inventory data from Germany and the United States of America // Forest Ecosystems. 2018. Vol. 5 (4). P. 1–17.
86. Zeng W., Duo H., Lei X. et al. Individual tree biomass equations and growth models sensitive to climate variables for *Larix* spp. in China // European Journal of Forest Research. 2017. Vol. 136. P. 233–249.
87. Zhen Z., Quackenbush L. J., Zhang L. Trends in automatic individual tree crown detection and delineation—Evolution of LiDAR data // Remote Sensing. 2016. Vol. 8 (4). Article 333.

© Усольцев В. А., Цепордей И. С.,
Норицин Д. В., 2022

Поступила в редакцию 15.11.2021
Принята к печати 31.01.2022

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 666.973.2

Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XL, № 1. С. 76–83

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТАЛЬНЫХ ТЕПЛОПРОВОДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО КОМПОЗИТА

С. Н. Долматов, П. Г. Колесников

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

Повышение энергосберегающих качеств объектов жилищного и коммунального строительства – важная задача, стоящая перед разработчиками перспективных строительных материалов, проектировщиками, строителями и эксплуатантами этих объектов. Особенно актуальна эта задача для индивидуального малоэтажного строительства при использовании сравнительно недорогих строительных материалов из местного сырья. Древесно-цементные композиты позволяют не только возводить ограждающие конструкции в высокими теплотехническими показателями, но и эффективно утилизировать древесные отходы лесопиления и деревообработки. Соответственно, решается проблема экологичного комплексного использования древесного сырья.

В ходе исследований определялось влияние теплопроводных включений в виде стальных крепежных элементов на показатели тепловой эффективности ограждающих конструкций из древесно-цементного композита (арболита и опилкобетона). Работа основывалась на применении методов физического моделирования (метод конечных элементов), реализованных в программном пакете Elcut. Влияние теплопроводных включений в виде металлических крепежных элементов на тепловые потери ограждающей конструкции из древесно-цементного композита весьма значительно и достигает 43...58 % от величины тепловых потерь конструкции без теплопроводных включений. Металлические крепежные элементы, имея температуру ниже температуры точки росы, интенсивно увлажняются, корродируют и способствуют увлажнению конструктивных элементов, находящихся с ними в контакте, что создает предпосылки развития плесени и грибов. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и эксплуатации строительных конструкций, изготовленных из древесно-цементных композитов.

Ключевые слова: *дерево, древесно-цементная композиция, мост холода, крепежный элемент, сопротивление теплопередаче, эксперимент, тепловая эффективность.*

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 1, P. 76–83

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF STEEL HEAT-CONDUCTING INCLUSIONS ON THERMAL PROPERTIES OF THE FRONTING STRUCTURE FROM WOOD-CEMENT COMPOSITE

S. N. Dolmatov, P. G. Kolesnikov

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

Improving the energy-saving qualities of housing and communal construction projects is an important task facing the developers of promising construction materials, designers, builders and operators of these facilities. This task is especially relevant for individual low-rise construction using relatively inexpensive building materials from local raw materials. Wood-cement composites make it possible not only to erect enclosing structures with high thermal performance, but also to efficiently dispose of wood waste from sawmilling and woodworking. Accordingly, the problem of environmentally friendly integrated use of wood raw materials is being solved. In the course of the research, the influence of heat-conducting inclusions in the form of steel fasteners on the indicators of the thermal efficiency of enclosing structures made of wood-cement composite (arbolite and sawdust concrete) was determined. The work was based on the use of physical modeling methods (finite element method) implemented in the Elcut software package. The

influence of heat-conducting inclusions in the form of metal fasteners on the heat losses of the enclosing structure made of wood-cement composite is very significant and reaches 43...58 % of the value of the heat losses of the structure without heat-conducting inclusions. Metal fasteners, having a temperature below the dew point temperature, are intensively moistened, corroded and contribute to moistening of structural elements in contact with them, which creates the prerequisites for the development of mold and fungi. The results obtained can be used in the design and operation of building structures made of wood-cement composites.

Keywords: wood, wood-cement composition, cold bridge, fastener, heat transfer resistance, experiment, thermal efficiency.

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции в области жилищного строительства характеризуются устойчивым ростом интереса застройщиков и потребителей к малоэтажной жилой застройке. За рубежом объемы малоэтажного строительства составляют до 75 % в США и до 90 % в Финляндии. Существует устойчивая парадигма, связанная с инвестированием, проектированием, строительством, приобретением, эксплуатацией и утилизацией и рециклингом таких малоэтажных зданий. Сформирован и активно поддерживается на государственном уровне пул потенциальных собственников такого жилья – это, как правило, представители населения, имеющие средние показатели уровня доходов. К сожалению, в России все еще интенсивно застраиваются свободные территории многоэтажными домами, а на долю малоэтажных комплексов приходится в различных регионах от 10 до 30 % общего объема жилищного строительства. Строительство малоэтажных домов квартирного типа по-прежнему в России ориентировано на традиционные технологии, принятые в массовом многоэтажном строительстве. При создании малоэтажных жилых объектов требуется эволюция структуры строительных технологий [1].

Обосновывая понятия малоэтажного строительства, нужно понимать, что наиболее привлекательным является строительство объектов достаточно высокой комфортабельности в ближайших пригородных зонах крупных городов, с соблюдением условия высокого благоустройства и преимуществ как загородного, так и городского образа жизни. Максимально полно эта концепция реализуется при строительстве малоэтажных строений, с этажностью до трех этажей. При этом необходимо обеспечить баланс высоких потребительских качеств и доступной стоимости реализации проектных решений. Максимально экономично строительство таких домов по каркасной технологии [2]. Вместе с тем, технология каркасного домостроения не всегда находит инвестиционный отклик конечного потребителя. И наряду с объективными причинами, например недостаточным количеством предприятий каркасно-панельного деревянного домостроения [3], существует общий, недостаточно позитивный окрас всей технологии каркасного домостроения.

Отечественный потребитель и застройщик технологиям каркасного домостроительства все еще относится с недоверием. Часто конечный потребитель относится к каркасным конструкциям, как к легким и недолговечным, считается, что срок службы каркасных и многослойных систем будет ниже, чем у конструкций с массивными однородными стенами. Самым существенным недостатком многослойных стен с эф-

фективными теплоизоляционными материалами является неопределенность их срока службы и недооценка затрат на их капитальный ремонт и утилизацию отслуживших свой срок теплоизоляционных материалов [4].

Жители России традиционно предпочитают жить и строить здания из кирпича, бетона, различных штучных блоков, бруса или оцилиндрованного бревна, считая что такие материалы имеют максимальный срок службы. Долговечность конструкции – часто главный критерий обоснованного выбора застройщика или покупателя недвижимости в России. Основе этого постулата лежит в области менталитета жителя России. Отличительной чертой менталитета россиян является пиегетное отношение к собственному жилью. Получив жилье от государства, или в наследство, или купив его, человек (семья) старается с ним не расставаться до конца своих дней. Подобная модель формируется из поколения в поколение [5].

Следовательно, традиционные технологии малоэтажного строительства с применением штучных блоков, крупных панелей будут сохранять устойчивую привлекательность у конечного потребителя. При тенденции увеличения темпов малоэтажного строительства неизбежно будет расти объемы производства и потребления строительных материалов.

При увеличении объемов выпуска строительных материалов неизбежно возникает проблема увеличения объемов выбросов в атмосферу, т.е. так называемый «углеродный след» конечного продукта, в качестве которого может выступать как строительный материал, так и здание или сооружение в целом. Объекты промышленного и гражданского строительства генерируют до 40 % годовых выбросов CO₂ во всем мире. Из этого объема выбросов, на строительство приходится 28 % ежегодно, а на строительные материалы и строительство (обычно называемые воплощенным углеродом) приходится дополнительно 11 % ежегодно. [6] Также в случае значительных расстояний перевозки строительных материалов дополнительно образуется логистическая составляющая углеродного следа. В свете вышесказанного имеется обоснованная потребность в производстве строительных материалов на основе местных ресурсов и отходов промышленности и сельского хозяйства. Наличие современных трендов на рециклинг отходов, комплексное использование сырья и экономии ресурсов диктует необходимость развития строительных материалов на основе органо-вяжущих композитов с высокими эксплуатационными показателями [7; 8].

Строительные материалы, производимые из отходов деревообрабатывающей промышленности (арбо-

литы, опилкобетоны), сельского хозяйства (композиции на основе льняной и конопляной костры, отходов заготовки подсолнечника) могут найти широкое применение при возведении жилых и производственных объектов, поскольку относительно недороги, просты в производстве и имеют высокие прочностные и теплоизоляционные показатели. Одним из основных показателей строительного материала является показатель теплопроводности. Показатель теплопроводности ограждающей конструкции может существенно меняться при наличии в конструкции различных элементов, нарушающих ее однородность. К таким элементам можно отнести стыки панелей, металлические крепежные элементы, такие как гвозди, шурупы, дюбели, крепежные уголки, закладные детали. Чаще всего такие включения изготовлены из металла и представляют собой теплотехническую неоднородность в виде теплопроводного включения.

В качестве одного из достоинств древесно-цементных композитов часто приводят хорошую «гвоздимость», т. е. способность уверенно удерживать гвозди и шурупы. [9,10] Поэтому чаще всего в качестве крепежного элемента используется обычный стальной гвоздь или шуруп-саморез.

Целью исследования является определение влияния металлических крепежных элементов на теплофизические свойства ограждающей конструкции из древесно-цементного композита (ДЦК).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сопrotивление теплопередаче является характеристикой уровня тепловой защиты ограждающей конструкции. Чаще всего теплотехнические показатели рассчитываются методами температурного поля узлов для характерных участков конструкции. Наличие крепежных элементов, играющих роль тепловых мостов, существенно нарушают показатели сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, что должно анализироваться и учитываться при расчетах. [11] Величина теплового потока является определяющим показателем при расчете показателя теплопроводности ограждающей конструкции в условиях стационарного режима.

Для моделирования и расчетов тепловой эффективности ограждающей конструкции при наличии тепловых мостов применялся программный продукт Elcut [12]. Программа Elcut предназначена для проведения инженерного анализа и моделирования посредством метода конечных элементов. [13; 14]. Проводя инженерные исследования в программах на основе метода конечных элементов, разработчик начинает свою работу с конечно-элементной модели элемента или изделия в целом, в которую он помещает требуемые, на его взгляд, элементы конструкции, элементы закрепления, стыковки и взаимодействия, необходимые для того, чтобы полученная конструкция выполняла определенные заложенные функции. Затем прикладываются к объекту проектирования действующие тепловые факторы, силы, нагрузки, точки закрепления, при этом проектировщик сразу видит деформации конструкции, действующие напряжения, темпе-

ратуры, величины тепловых потоков, изотермы тепловых полей. Модуль теплопередачи пакета Elcut предназначен для расчёта переходного и установившегося температурного поля с учётом конвективного и радиационного теплообмена.

Используется для анализа систем обогрева и систем охлаждения. Методика исследований тепловых явлений использовалась [15]. Величина показателей теплопроводности древесно-цементных композитов принята из исследований [16].

Объектом исследования являлось определение влияния теплопроводных включений в виде металлических крепежных элементов на показатель тепловой эффективности ограждающей конструкции из древесно-цементного композиционного материала. При моделировании тепловой защиты ограждающей конструкции здания, важное значение имеет однородность конструкции и отсутствие «тепловых мостов». Понятие «тепловой мост» включает область ограждающей конструкции с пониженным термическим сопротивлением по сравнению с массивом стены. При расчетах приведенного сопротивления теплопередаче необходимо учитывать влияние «тепловых мостов» – линейных и точечных теплотехнических неоднородностей [17].

Металлические крепежные элементы (гвозди, шурупы-саморезы), как предметы с более высокой теплопроводностью, по сравнению с древесно-цементным композитом, будут играть роль тепловых мостов, изменяющих картину теплопередачи в массиве стены.

Влияние тепловых мостов в виде стальных гвоздей рассмотрим на примере образцов ограждающей конструкции из древесно-цементных композитов (арболита и опилкобетона). Объектом моделирования выступал фрагмент ограждающей конструкции, размером 200×1000×1000 мм, вектор теплового излучения был направлен перпендикулярно к поверхности материала, толщиной 200 мм. Показатели плотности, теплопроводности материалов представлены в табл. 1. Условия эксплуатации ограждающих конструкций для Красноярского края могут быть приняты А или Б в зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности района строительства. Примеров крепления вспомогательных конструкций, является гвоздевое крепление деревянного бруска сечением 50×50 мм (рис. 1). Такая конструкция весьма характерна для технологии отделки внутренних стен помещения листами гипсокартона с креплением ГКЛ к деревянной обрешетке.

Конструкция моделировалась в системе Elcut. Проводилась разбивка сеткой конечных элементов. Затем задавались параметры стационарной задачи теплопереноса и проводился расчет стационарного теплового потока через ограждающую конструкцию. В программе определялся тепловой поток через определенное сечение при помощи тепловых полей. Согласно ГОСТ 30494–2011 [18] принято: внутренняя температура воздуха $t_{\text{int}} = 20$ °С. Температура наружного воздуха по СП 50.13330.2012 $t_{\text{ext}} = -35$ °С; $\alpha_{\text{si}} = 8,7$ Вт/(м²·°С), $\alpha_{\text{se}} = 23$ Вт/(м²·°С) [19].

Таблица 1
Характеристики материалов

Древесно-цементный композит	Объемный вес кг/м ³	Коэффициент теплопроводности Вт/(м ⁰ С)		
		В сухом состоянии	Условия эксплуатации	
			А	Б
Дерево (сосна поперек волокон)	500	0,09	0,14	0,18
Опилкобетон	850	0,25	0,41	0,63
Арболит	650	0,18	0,33	0,53
Сталь	7850	58	58	58

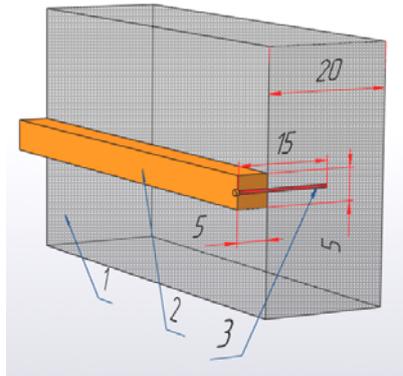


Рис. 1. Элементы исследуемой ограждающей конструкции из древесно-цементного композита:
1 – массив стены; *2* – деревянный брусок; *3* – крепежный стальной элемент (размеры в сантиметрах)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчетов температурных полей представлены в виде схемы (рис. 2) с нанесенными изотермами и векторами теплопереноса. Изотермы имеют шаг 2 °С. На рис. 2 видно, что наличие стального крепежного элемента в виде гвоздя кардинально ме-

няет картину теплового поля и интенсивность теплового излучения ограждающей конструкции.

В табл. 2 приведены расчеты удельных потерь теплоты и полученные величины сопротивления теплопередаче для различных режимов эксплуатации конструкции.

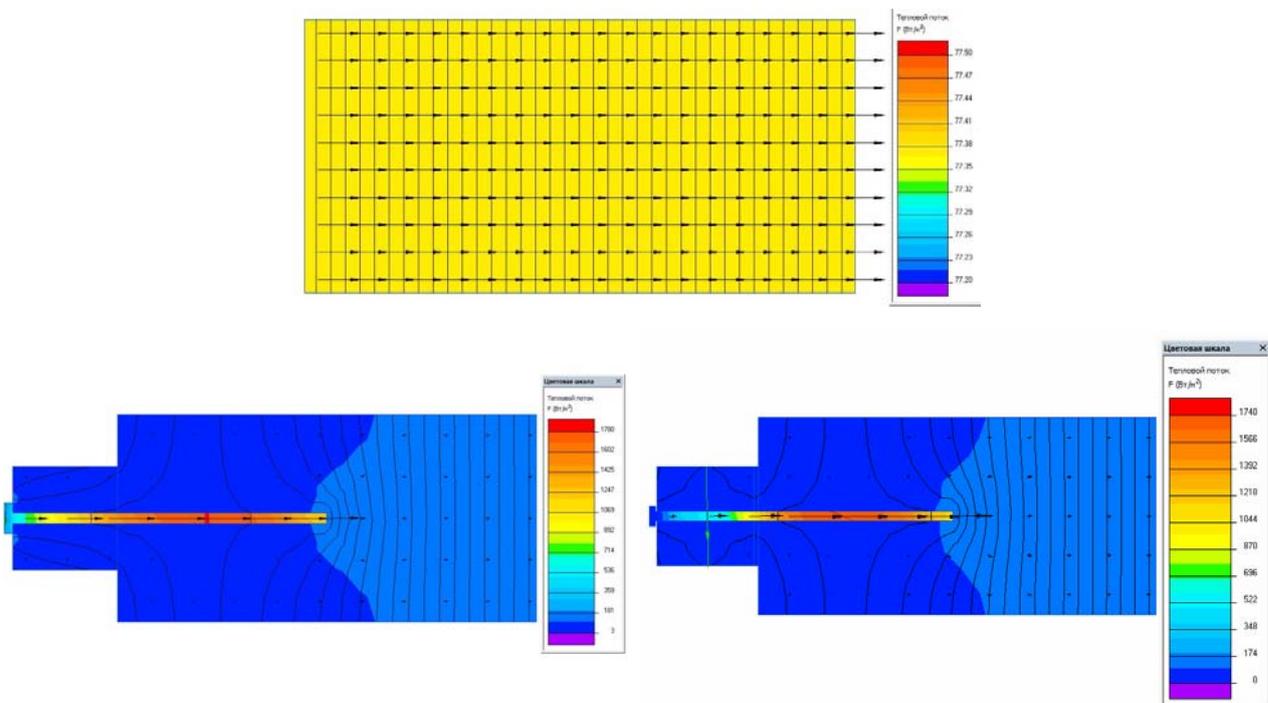


Рис. 2. Векторы теплового излучения и величина теплового потока в программе Elcut (вверху – сплошное тело ДЦК, по центру – брусок из сосны 50×50 мм с креплением к стене из ДЦК гвоздем 150 мм.), внизу – брусок из сосны 50×50 мм креплением к стене с воздушным зазором 3 мм)

Таблица 2
Результаты расчетов

Вид древесно- цементного композиата	Удельные потери теплоты (массив стены Q, Вт/(м ² · °C))			Удельные потери теплоты (стена с металлическим элементом Q, Вт/(м ² · °C))			Удельные потери теплоты (стена с металлическим элемен- том с учетом неплотного приле- гания бруска Q, Вт/(м ² · °C))		
	В сухом состоянии	Условия эксплуатации		В сухом состоянии	Условия эксплуатации		В сухом состоянии	Условия эксплуатации	
		А	Б		А	Б		А	Б
Опилкобетон	70,1	86,7	104,7	59,9	66,7	76,7	94,8	131,3	153,4
Арболит	52,3	66,2	77	43,6	48,7	56	83,1	98,6	116

Расчетные величины удельных тепловых потерь составили 43,6...153,4 Вт/(м² · °C). Показатель тепловых потерь зависит от группы условий эксплуатации, а также от вида ограждающей конструкции. В случае сплошной ограждающей конструкции их древесно-цементного композита без металлических включений, образующих мосты холода, показатель тепловых потерь составил 52,3...104,7 Вт/(м² · °C), что в хорошо согласуется с данными, полученными ранее [15]. При условии гвоздевого крепления деревянного бруска сечением 50×50 мм величина тепловых потерь снижается до уровня 43,6...76,7 Вт/(м² · °C), это объясняется тем, что в идеальных условиях, когда брусок и массив стены работает как единое плотное тело, увеличивается общее суммарное сечение материала, осуществляющего теплоперенос. Об этом свидетельствует характер изотерм (рис. 2, по центру). Однако, в реальных условиях, при креплении деревянного бруска к стене, будет всегда присутствовать воздушный зазор между бруском и массивом стены. Этот зазор будет вносить существенную корректировку в характер распределения изотерм и в конечный результат по потерям тепла. Этот режим изображен на рис. 2 (внизу), удельные тепловые потери 83,1...153,4 Вт/(м² · °C). Таким образом, дополнительные тепловые потери через конструкцию в месте нахождения металлического крепежного элемента весьма значительны и должны учитываться, т. е. если принять тепловой поток массивной однородной стены из древесно-цементного композита за 100 %, то наличие даже одного гвоздя, (длиной 150 мм) на 1 м² увеличивает потери тепла на 43...58 %. Кроме того, установлено, что дополнительные потери тепла прямо пропорциональны имеющемуся перепаду температур внутри помещения и снаружи. Следовательно, для сохранения уровня тепловых потерь нужно либо увеличивать толщины ограждающей конструкции, либо применять крепежные элементы с низкой теплопроводностью (например, неметаллические, пластиковые), либо избегать конструктивных решений, связанных с проникновением металлических элементов в массив стены из древесно-цементного композита.

На рис. 3 изображен график изменения температуры крепежного гвоздя. Анализ графика позволяет сделать вывод, что даже шляпка гвоздя, находящаяся на максимальном удалении от наружной стороны огражда-

ющей конструкции, испытывающей температуру – 30 °C имеет температуру +10,5 °C, что ниже чем температура точки росы. Температура объекта, на котором начнет конденсироваться пар, т. е. точка росы, зависит в основном от температуры воздуха и влажности воздуха. Для влажности 55 % и температуры воздуха внутри помещения +20 °C температура точки росы составляет 10,7 °C [20]. Исходя из этого, на стальной поверхности крепежного элемента будет конденсироваться влага. А учитывая тот факт, что гвоздь не покрывается каким-либо защитным или антикоррозионным покрытием, на его поверхности будет интенсивно развиваться коррозия.

Из рис. 4 видно, что металлический крепежный элемент оказывает ярко выраженное влияние на распределение изотерм по поверхности бруска. Влияние положительной температуры внутри помещения будет приводить к постоянному подсушиванию древесины бруска. Вместе с тем, если проанализировать температуру бруска по сечению А-А (рис. 5), видно, что температура ниже точки росы распространяется далеко за пределы области, ограниченной диаметром крепежного гвоздя, достигая 17...20 мм, т. е. древесина деревянного бруска в этой области будет переувлажняться. В этих условиях (повышенная влажность, недостаточное проветривание, положительные температуры) создаются благоприятные условия для развития дереворазрушающих грибов, плесени и т. п.

Кроме того, попеременное увлажнение и высушивание деревянного бруска будет способствовать его расширению и сжатию, а поскольку материал бруска имеет анизотропные свойства, складываются предпосылки к его короблению и соответственно к разрушениям на лицевом облицовочном слое (например, из листов гипсокартона). Обычно с нежелательным фактом образования конденсата сталкиваются в угловых соединениях бревенчатых и брусчатых стен, являющихся самым холодным местом в доме [21].

Традиционные технологии защиты в виде пропиток антисептиками, грунтовок, финишных покрытий в случае увлажнения конструкций при наличии промерзающих мостов холода малоэффективны. Поэтому решение по защите необходимо искать в области недопущения понижения температур металлических крепежных элементов ниже точки росы за счет совершенствования конструкции, утепления.

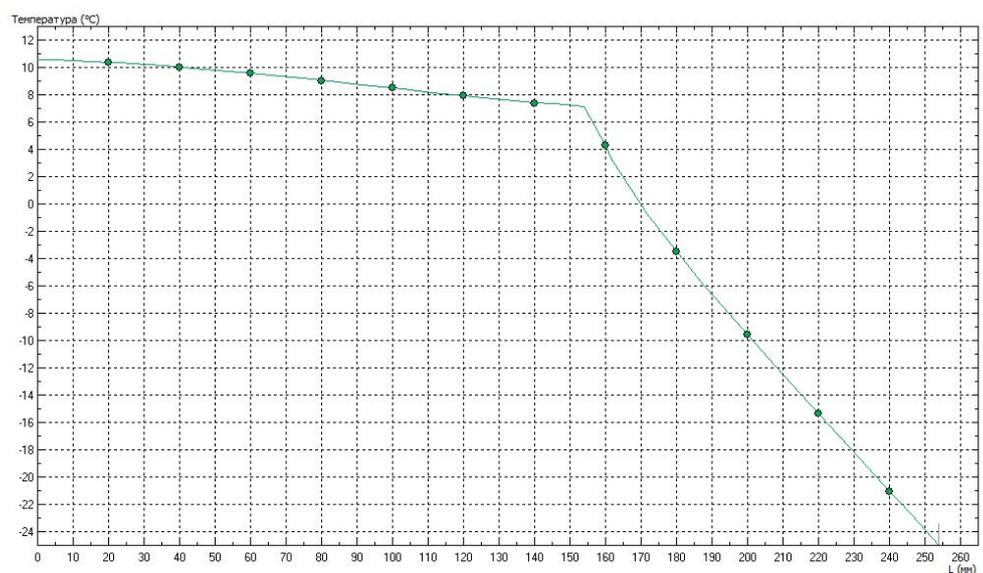


Рис. 3. График изменения температуры (разрез по оси симметрии крепежного гвоздя)

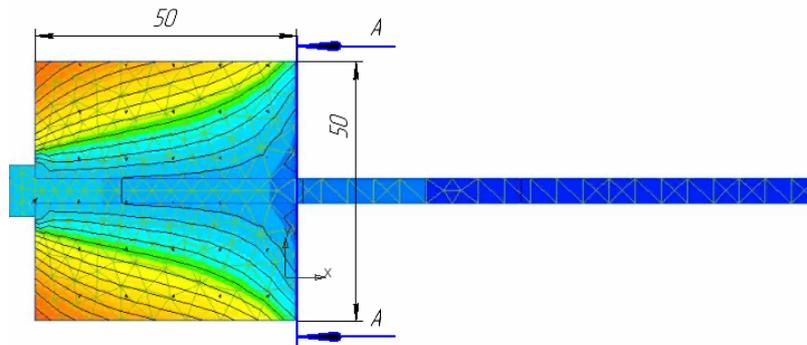


Рис. 4. Распределение температуры по поверхности бруса в зоне влияния изотерм металлического крепежного элемента

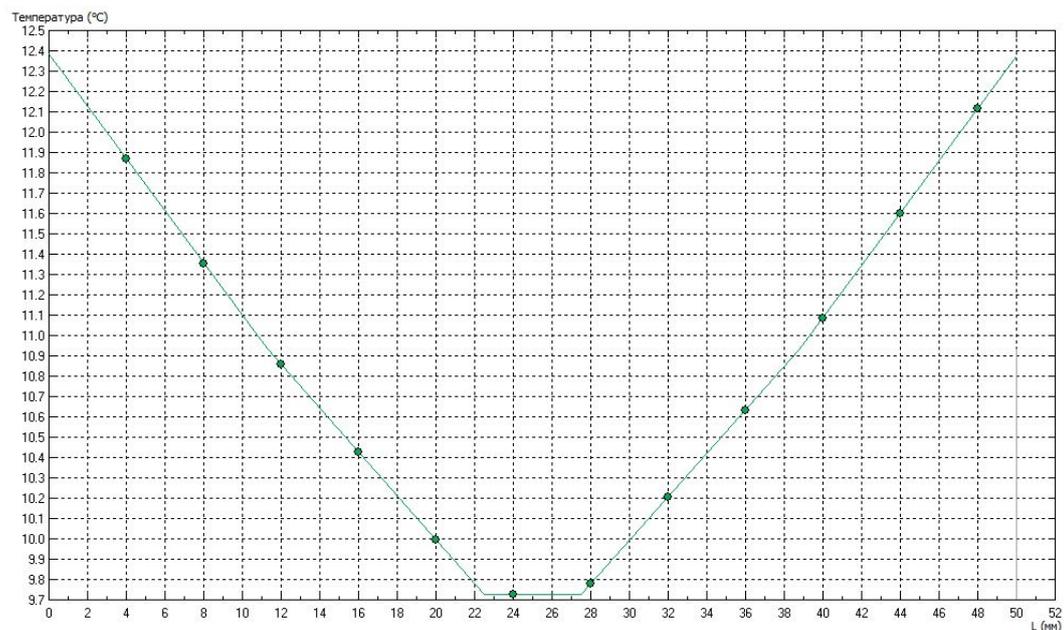


Рис. 5. Температурное поле узла крепления бруса (вверху) и график изменения температуры по разрезу бруса по сечению А-А (внизу)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние теплопроводных включений в виде металлических крепежных элементов на тепловые потери ограждающей конструкции из древесно-цементного композита весьма значительно и достигает 43...58 % от величины тепловых потерь конструкции без теплопроводных включений. Такое влияние необходимо учитывать при проведении практических расчетов тепловых потерь ограждающих конструкций, выполненных из древесно-цементных композитов.

Еще большее влияние металлические теплопроводные включения оказывают на распределение температуры по поверхности конструктивных элементов, которые они закрепляют. При гвоздевом креплении элементов деревянной обрешетки непосредственно к стене из древесно-цементного композита температура деревянных элементов может быть ниже, чем температура точки росы. При этом древесина будет переувлажняться, что создает предпосылки для развития дереворазрушающих грибов. Интенсивное увлажнение незащищенного стального крепежного приведет к его интенсивной коррозии. Это необходимо учитывать, поскольку возможен выход пятен коррозии на поверхность облицовочных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Левин Ю. А. Малоэтажное строительство: современные тенденции рынка и оценка инвестиционной привлекательности // *Инновации и инвестиции*. 2017. № 8. С. 137–140.
2. Кузьменков А. А., Титова С. А. Технико-экономическое сравнение вариантов конструкций стен малоэтажных жилых зданий для северных условий Республики Карелия // *Resour. Technol.* 2016. № 4. С. 58–70.
3. Инжутов И. С., Рожков А. Ф., Никитин В. М. К проблеме малоэтажного домостроения в Сибири // *Вестник ТГАСУ*. 2007. № 1. С. 75–81
4. Енюшин В. Н., Нурмухаметова А. Д., Хаеретдинова А. Д. Энергоэффективность современных ограждающих конструкций // *Известия КазГАСУ*. 2016. № 4 (38). С. 217–221.
5. Николаев С. В. СПКД – система строительства жилья для будущих поколений // *Жилищное строительство*. 2013. С. 2–4.
6. Architecture 2030 – Почему строительный сектор? [Электронный ресурс]. URL: <https://architecture2030.org/why-the-building-sector/> (дата обращения: 01.10.2021).
7. Competition and management of wood-cement compositions among light concretes in the market of construction materials / S. N. Dolmatov, A. V. Nikonchuk and S. V. Gorbunova. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*, Volume 822, doi:10.1088/1757-899X/822/1/012001.
8. Долматов С. Н., Никончук А. В. Исследование показателей теплопроводности древесно-цементных композитов // *Хвойные бореальной зоны*. 2019. Т. XXXVII, № 5. С. 341–346.
9. Наназашвили И. Х., Бунькин И. Ф., Наназашвили В. И. *Строительные материалы и изделия*. М. : Аделант, 2005. 443 с.

10. Наназашвили И. Х. *Строительные материалы из древесно-цементной композиции*. Л. : Стройиздат, 1990. 415 с.

11. Гагарин В. Г., Дмитриев К. А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // *Construction materials*. 2013. № 6. С. 14–16.

12. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Руководство пользователя. СПб. : ПК TOP, 2009. 339 с.

13. Зенкевич О. К. *Метод конечных элементов в технике*. М. : МИР, 1975. 542 с.

14. Bendsoe M. P., Sigmund O. *Topology optimization: theory, methods and applications*. English. Berlin : Springer-Verlag, 2003. 320 p.

15. Долматов С. Н., Колесников П. Г. Исследование тепловой эффективности древесно-цементных композитов // *Хвойные бореальной зоны*. 2021. Т. 39, № 4. С. 224–231.

16. Исследование показателей теплопроводности древесно-цементных композитов / С. Н. Долматов, А. В. Никончук // *Хвойные бореальной зоны*. 2019. Т. 37, № 5. С. 341–346.

17. Елохов А. Е. Методики и примеры расчета тепловых мостов // *Строительство и техногенная безопасность*. 2015. № 1 (53). С. 86–93.

18. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Введ. 01.01.2013. М. : Стандартинформ, 2013. 12 с.

19. СП 50.13330–2012. Тепловая защита зданий. Минрегионразвития РФ. Введ. 07.01.2013. М., 2012. 97 с.

20. Проектирование тепловой защиты зданий. СП 23-101-2004. М., 2004. 196 с.

21. Ломакин А. Д. Защита фасадных поверхностей деревянного дома // *Жилищное строительство*. 2013. № 2. С. 51–55.

REFERENCES

1. Levin Yu. A. Maloetazhnoye stroitel'stvo: sovremennyye tendentsii rynka i otsenka investitsionnoy privlekatel'nosti // *Innovatsii i investitsii*. 2017. № 8. S. 137–140.
2. Kuz'menkov A. A., Titova S. A. Tekhniko-ekonomicheskoye sravneniye variantov konstruktсий sten maloetazhnykh zhilykh zdaniy dlya severnykh usloviya Respubliki Kareliya // *Resour. Technol.* 2016. № 4. S. 58–70.
3. Inzhutov I. S., Rozhkov A. F., Nikitin V. M. K probleme maloetazhnogo domostroyeniya v Sibiri // *Vestnik TGASU*. 2007. № 1. S. 75–81
4. Enyushin V. N., Nurmukhametova A. D., Khayeretdinova A. D. Energoeffektivnost' sovremennykh ograzhd-dayushchikh konstruktсий // *Izvestiya KazGASU*. 2016. № 4 (38). S. 217–221.
5. Nikolayev S. V. SPKD – sistema stroitel'stva zhil'ya dlya budushchikh pokoleniy // *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2013. S. 2–4.
6. Architecture 2030 – Pochemu stroitel'nyy sektor? [Elektronnyy resurs]. URL: <https://architecture2030.org/why-the-building-sector/> (data obrashcheniya: 01.10.2021).

7. Competition and management of wood-cement compositions among light concretes in the market of construction materials / S. N. Dolmatov, A. V. Nikonchuk and S. V. Gorbunova. IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, Volume 822, doi:10.1088/1757-899X/822/1/012001.
8. Dolmatov S. N., Nikonchuk A. V. Issledovaniye pokazateley teploprovodnosti drevesno-tsementnykh kompozitov // Khvoynyye boreal'noy zony. 2019. T. XXXVII, № 5. S. 341–346.
9. Nanazashvili I. Kh., Bun'kin I. F., Nanazashvili V. I. Stroitel'nyye materialy i izdeliya. M. : Adelant, 2005. 443 s.
10. Nanazashvili I. Kh. Stroitel'nyye materialy iz drevesno-tsementnoy kompozitsii. L. : Stroyizdat, 1990. 415 s.
11. Gagarin V. G., Dmitriyev K. A. Uchet teplotekhnicheskikh neodnorodnostey pri otsenke teplozashchity ograzhdayushchikh konstruktsiy v Rossii i evropeyskikh stranakh // Construction materials. 2013. № 6. S. 14–16.
12. ELCUT. Modelirovaniye dvumernykh poley metodom konechnykh elementov. Rukovodstvo pol'zovatelya. SPb. : PK TOR, 2009. 339 s.
13. Zenkevich O. K. Metod konechnykh elementov v tekhnike. M. : MIR, 1975. 542 s.
14. Bendsoe M. P., Sigmund O. Topology optimization: theory, methods and applications. English. Berlin : Springer-Verlag, 2003. 320 r.
15. Issledovaniye teplovoy effektivnosti drevesno-tsementnykh kompozitov / S. N. Dolmatov, P. G. Kolesnikov // Khvoynyye boreal'noy zony. 2021. T. 39, № 4. S. 224–231.
16. Dolmatov S. N., Nikonchuk A. V. Issledovaniye pokazateley teploprovodnosti drevesno-tsementnykh kompozitov // Khvoynyye boreal'noy zony. 2019. T. 37, № 5. S. 341–346.
17. Elokho A. E. Metodiki i primery rascheta teplovykh mostov // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. 2015. № 1 (53). S. 86–93.
18. GOST 30494–2011. Zdaniya zhilye i obshchestvennyye. Parametry mikroklimate v pomeshcheniyakh. Vved. 01.01.2013. M. : Standartinform, 2013. 12 s.
19. SP 50.13330–2012. Teplovaya zashchita zdaniy. Minregionrazvitiya RF. Vved. 07.01.2013. M., 2012. 97 s.
20. Proyektirovaniye teplovoy zashchity zdaniy. SP 23-101-2004. M., 2004. 196 s.
21. Lomakin A. D. Zashchita fasadnykh poverkhnostey derevyannogo doma // Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2013. № 2. S. 51–55.

© Долматов С. Н., Колесников П. Г., 2022

Поступила в редакцию 12.08.2021
Принята к печати 31.01.2022

УСТРАНЕНИЕ ПОКОРОБЛЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ ПЛИТ ЗА СЧЕТ ДИСБАЛАНСА ПОВЕРХНОСТНОЙ ВЛАЖНОСТИ СТРУЖЕЧНОГО КОВРА

С. М. Плотников

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
Красноярский институт железнодорожного транспорта
Российская Федерация, 660028, Красноярск, ул. Новой Зари, 2и
E-mail: smplotnikov@rambler.ru

В настоящее время наиболее трудноустранимым дефектом древесных плит является их покоробленность, которая может быть вызвана множеством факторов. В статье кратко рассмотрены основные способы устранения покоробленности древесных плит. Предшествующими исследованиями установлено, что величина конечной покоробленности определяется плотностью, форматом, толщиной плиты и периодом, прошедшим с момента ее изготовления. Установлено, что коробление, вызванное компенсацией внутренних напряжений, образовавшихся в процессе пьезотермообработки, протекает экспоненциально со средним значением постоянной времени 10,5 минут. Рассмотрен один из активных способов устранения покоробленности, заключающийся в одностороннем увлажнении поверхности исходного стружечного пакета в зависимости от величины и направления стрелы прогиба готовой плиты. С учетом поправок на плотность, формат, толщину изготавливаемой плиты и времени измерения стрелы ее прогиба получено выражение, устанавливающее количество влаги на 1 м² поверхности стружечного пакета для полной компенсации покоробленности. В эксперименте прогиб древесной плиты, целенаправленно созданный температурным дисбалансом прессующих поверхностей лабораторного пресса, компенсировался обратным прогибом, возникающим в результате контролируемого дисбаланса поверхностной влажности стружечного пакета. Представлены экспериментальные результаты, которые подтверждают полученные теоретические выкладки. Цель исследования – получить приемлемую для практики методику устранения покоробленности древесных плит наиболее просто реализуемым способом – рассчитанным предварительным увлажнением одной из поверхностей формируемого стружечного пакета.

Ключевые слова: *древесная плита, покоробленность, плотность, формат, толщина.*

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 1, P. 84–90

REMOVING OF WARPING OF WOOD BOARDS THANKS TO IMBALANCE OF SURFACE HUMIDITY OF THE CHIP MAT

S. M. Plotnikov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
Krasnoyarsk Institute of Railway Transport
2i, Novaya Zarya str., Krasnoyarsk, 660028, Russian Federation
E-mail: smplotnikov@rambler.ru

Currently, the most hard-to-repair defect of wood boards is their warping, which can be caused by many factors. The main ways to eliminate the warping of wood boards are considered. Previous studies have established that the value of the final warping is determined by the density, format, thickness of the board and the period that has passed since its manufacture. It is established that warpage caused by compensation of internal stresses generated during the piezo-heat treatment proceeds exponentially with an average value of the time constant of 10.5 minutes. One of the active ways to eliminate warping is considered, which consists in one-sided wetting of the surface of the initial briquette, depending on the size and direction of the arrow of the deflection of the made board. Taking into account the corrections for density, format, thickness of the manufactured board and the time of measuring the arrow of its deflection, an expression is obtained that establishes the amount of moisture per 1 m² of the surface of the chip package to completely compensate for warp. In the experiment, the deflection of the wood board, purposefully created by the temperature imbalance of the pressing surfaces of the laboratory press, was compensated by the reverse deflection resulting from the controlled imbalance of the surface moisture of the chip mat. Experimental results are presented that confirm the theoretical calculations obtained. The purpose of the study is to obtain a methodology acceptable for practice to eliminate warping of wood boards in the most easily implemented way – by calculated preliminary wetting of one of the surfaces of the formed chip mat. The considered method of eliminating the warping of

wood-based boards is easy to automate in the presence or after installation of plate sagging sensors and two aerosol sprays in the line.

Keywords: *wood board, warping, density, format, thickness, moisture imbalance.*

ВВЕДЕНИЕ

Покоробленность в древесных плитных материалах (в древесностружечных плитах, MDF, OSB, OSL, в изделиях из ламинированного шпона LVP, в ламинатах FML и др.) в большей или меньшей степени присутствует практически всегда [1] и является трудноустраняемым дефектом, с которым приходилось сталкиваться большинству производителей и потребителей данных материалов.

Исследования нарушений стабильности формы древесных плит, возникающих вследствие воздействия на них климата и односторонней влажности, описаны в [2; 3]. Выявлено, что процесс коробления заканчивается более чем на 90 % в течение шести часов после воздействия на плиту возмущающего фактора. В [4] установлено, что наиболее часто плиты деформируются вдоль направления изготовления (до 50 % плит имеют прогиб до 1 мм/м) вниз от центральной плоскости, но более сильно плита деформируется в поперечном направлении (до 60 % плит могут иметь прогиб от 1 до 4 мм/м) вверх от центральной плоскости.

Коробление плит в условиях отсутствия внешней механической нагрузки исследовано в [5] и классифицировано по форме искажений: деформация чашки, изгиба, скручивания или седла. Отмечается, что наиболее распространена деформация чашки. В [6] показано, что основным и самым серьезным видом деформации клееных плит является скручивание. Обсуждаются возможности достижения хорошей стабильности формы плит за счет их оптимального склеивания даже при воздействии экстремальных колебаний влажности.

Процесс коробления плиты, вызванный несбалансированным напряжением ее конструкции, смоделирован в [7]. Деформацию плиты авторы объясняют растягиванием или сжатием отдельных ее элементов в зависимости от разной чувствительности композитного материала к температуре, влажности или к химическим особенностям связующего. Исследование плиты, которая из-за определенного распределения остаточных напряжений, вызванных пластическим изгибом, приобретала устойчивую цилиндрическую форму, произведено в [8]. Авторами разработана комплексная аналитическая модель, прогнозирующая распределение остаточных напряжений в плите и рассмотрены ее бистабильные конфигурации. В [9] показано, что связанное с влагой набухание древесных частиц зависит от породы древесины и многократно различается в продольном, радиальном и тангенциальном направлениях, представлены зависимости изменения формы древесных плит (мм/м) от разности влажности на их пластах. В [10] с помощью трехмерной термо-химико-вязкоупругой модели авторы показали, что прессуемые поверхности, их тепловое расширение, толщина исходного материала и ориентация его волокон играют гораздо большую роль в окончательной форме

плиты, чем такие параметры цикла отверждения, как температура, выдержка, давление и скорость охлаждения. В качестве причин коробления древесных плит в [11] определены их несимметричная структура, неравномерное охлаждение после прессования и неправильное складирование. Условия стабильности размеров многослойных древесных плит проанализированы в [12], авторами предложена математическая модель процесса гигротермической деформации плит при отверждении. При этом особое внимание уделено влиянию механических свойств клеев, чувствительных к изменению влажности. Авторы попытались спрогнозировать «упругий отклик» материала на изменение некоторых технологических параметров в процессе изготовления плит. В [13] те же авторы рассматривают влияние клеев с разными свойствами на деформацию многослойных древесных плит. Установлено, что начальное коробление после изготовления плиты сильно зависит от характеристик отверждения клея и от количества влаги, попавшей в древесину.

В последнее время возрастает число исследований, посвященных покоробленности ламинатов. В [14] представлена аналитическая модель прогнозирования коробления и остаточных напряжений, возникающих при отверждении волокнистых ламинатов (FML). Модель в целом применима к другим композитным материалам. В изделиях из ламинированного шпона (LVP) и фанеры, как отмечается в [15] на стабильность формы оказывает влияние ориентация волокон шпона, асимметричная конструкция в сочетании с разными уровнями влажности при формировании изделия, а также порода древесины. В частности, бук дает большую деформацию и меньшую устойчивость формы, чем береза. Авторы предлагают сортировать исходный материал с учетом ориентации волокон, а перед склеиванием кондиционировать его до одной влажности.

Покоробленность плит частично устраняется односторонним калиброванием или выдержкой плит в штабелях. В первом случае происходит потеря дорогостоящего древесного материала с большим содержанием связующего и растут затраты энергопотребления, во втором неизбежно расширение производственных площадей и увеличение производственного цикла. Возможно также уменьшение покоробленности плит приложением обратной прогибу деформации в условиях определенной влажности и температуры [16]. Параметры такой коррекции определяются по выражениям, полученным в результате сложных экспериментов.

Перечисленные способы устранения покоробленности плит реализуются уже на готовой плите, поэтому их можно отнести к «пассивным» способам. Для разработки так называемых «активных» способов управления покоробленностью была исследована динамика коробления плит непосредственно после

выгрузки их из пресса [17], выявлены зависимости конечной стрелы прогиба плит от разного рода технологических дисбалансов, неточностей и дефектов, а также от параметров самой плиты: ее плотности, формата и толщины. При этом была установлена закономерность процесса коробления во времени.

К «активным» способам устранения покоробленности, т. е. способам, реализуемым непосредственно в процессе изготовления плиты, относятся целенаправленное создание дисбаланса температур верхней и нижней прессующих поверхностей при прессовании [18] и создание разности влажности наружных слоев трех- или пятислойных плит [19]. Однако более прост в реализации другой «активный» способ, предусматривающий создание определенной разности поверхностной влажности исходного стружечного ковра, за счет которой в прессуемом материале возникают механические напряжения, которые компенсируют коробление плиты, начинающееся сразу после выгрузки ее из пресса.

В [20; 21] предложено устранять покоробленность изготавливаемых плит увлажнением поверхности формирующего транспортера (поддона) или поверхности стружечного ковра (пакета) с указанием, что следует дополнительно увлажнять наружную поверхность ковра, в сторону которой изогнута середина готовой плиты. В результате дисбаланса влажности влага и тепло с поверхности передаются внутрь ковра с разной скоростью. Связующее в верхних и нижних слоях ковра отверждается неодновременно. Стружка более влажного слоя набухает дольше, расширяясь в объеме, при этом возникают внутренние механические напряжения по толщине образующейся плиты, которые начинают уравниваться посредством ее коробления после раскрытия пресса. Середина плиты выгибается в сторону более влажной поверхности, тем самым компенсируется покоробленность, имевшая место в ранее сформированных плитах. Однако в [20; 21] отсутствуют конкретные сведения о количестве необходимой для орошения влаги, необходимой для устранения в готовой плите прогиба определенной величины.

Несмотря на многочисленные исследования и разработки, в полной мере проблема устранения покоробленности древесных плит остается нерешенной. Целью статьи является исследование процесса коробления плит непосредственно после выгрузки их из пресса и разработка методики, позволяющей создать в процессе изготовления плиты такие условия, чтобы в конечном продукте покоробленность находилась в допустимых пределах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Объектом исследования является процесс несимметричного поверхностного увлажнения исходной древесно-клеевой композиции и связанная с этим увлажнением покоробленность готовой плиты.

Зависимость покоробленности плиты (стрелы прогиба на пересечении диагоналей) от дисбаланса влажности поверхностей исходного стружечного пакета (ковра) установлена экспериментально [17]. Величина покоробленности Δf (мм), измеренная через 20 минут

после выгрузки из пресса плиты форматом $0,4 \cdot 0,4 \text{ м}^2$ и толщиной 16 мм, описана в виде степенного уравнения

$$\Delta f = 0,145 \cdot \Delta W^{0,304} \cdot \rho^{-0,848}, \quad (1)$$

где ΔW – разность влажности верхней и нижней поверхностей стружечного пакета, %; ρ – плотность плиты, г/см³.

Здесь же установлено, что коробление плиты происходит по закону, близкому к экспоненциальному с постоянной времени коробления $T_k = 10,5$ мин. (усредненное значение), причем данная величина не зависит от толщины и формата плит [17].

Из выражения (1) можно получить обратную зависимость, из которой следует, что для устранения покоробленности Δf (мм) плиты с описанными выше параметрами необходимо создавать разность влажности ΔW (%) наружных слоев

$$\Delta W (\%) = 574 \cdot \Delta f^{3,289} \cdot \rho^{2,789}, \quad (2)$$

С учетом того, что интенсивность процесса коробления снижается по экспоненте [22], поправку на время измерения покоробленности введем в виде коэффициента

$$K_t = \frac{0,851}{(1 - e^{-t/T_k})}, \quad (3)$$

где t – время между выгрузкой плиты из пресса и моментом измерения ее стрелы прогиба, мин.

Здесь коэффициент 0,851 отражает тот факт, что выражения (1) и (2) справедливы для периода, соответствующего 20 минутам после выгрузки плиты из пресса. При подстановке в (3) $t = 20$ мин и $T_k = 10,5$ мин получим $K_t = 1$. Для того, чтобы выражения (1) и (2) имели допустимую определенность, время t должно быть не менее 5 мин. Управляющее воздействие, вводимое для устранения покоробленности плиты со стрелой прогиба Δf , измеренной через 5 минут после выгрузки плиты из пресса, согласно формуле (3), должно быть увеличено в 2,25 раз ($K_t = 2,25$). Если же прогиб плиты был измерен через бесконечно долгое время ($t \rightarrow \infty$), то теоретически управляющее воздействие должно быть умножено на 0,851 ($K_t = 0,851$). Таким образом, коэффициент K_t показывает степень уменьшения воздействия, вводимого в технологический режим по мере увеличения времени, прошедшего от выгрузки плиты из пресса до измерения прогиба.

Экспериментальные исследования [22] показали, что величина Δf подчиняется условию подобия, т. е. для квадратной плиты с длиной сторон L (м) стрела прогиба отличается в $L / 0,4$ от стрелы прогиба плиты, для которой получено уравнение (1), т. е. для плиты форматом $0,4 \cdot 0,4 \text{ м}^2$. Поправка на формат плиты имеет вид

$$K_L = \frac{0,4}{L}. \quad (4)$$

Для плиты форматом $0,4 \cdot 0,4 \text{ м}^2$ коэффициент $K_L = 1$. Для устранения стрелы прогиба плиты форматом $1 \cdot 1 \text{ м}^2$ при прочих равных условиях требуется

вести управляющее воздействие в 2,5 раза более слабое, чем для плиты форматом $0,4 \cdot 0,4 \text{ м}^2$, т. е. $K_L = 0,25$. Для плиты неквадратной формы вместо L следует подставлять среднее арифметическое между длиной и шириной плиты.

В [23] на образцах толщиной от 2,54 до 25,4 мм эмпирически установлено, что произведение стрелы прогиба древесной плиты Δf на ее толщину b при прочих равных условиях является величиной постоянной

$$\Delta f \cdot b = \text{const.}$$

Выражение (1) получено в [17] для плиты толщиной $b = 16 \text{ мм}$, поэтому с учетом постоянства произведения $\Delta f \cdot b$, поправка на толщину плиты составляет

$$K_b = \frac{b}{16}. \quad (5)$$

Для плиты толщиной 16 мм коэффициент $K_b = 1$. Стрела прогиба плиты толщиной 32 мм при прочих равных условиях будет вдвое меньше стрелы прогиба плиты толщиной 16 мм, поэтому управляющее воздействие, компенсирующее покоробленность более толстой плиты, должно быть вдвое сильнее, т. е. $K_b = 2$.

С учетом поправок на время измерения, формат и толщину плиты, выражение (2) имеет вид

$$\begin{aligned} \Delta W (\%) &= K_t \cdot K_L \cdot K_b \cdot 574 \cdot \Delta f^{3,289} \cdot \rho^{2,789} = \\ &= \frac{0,851}{(1 - e^{-t/T_k})} \cdot \frac{0,4}{L} \cdot \frac{b}{16} \cdot 574 \cdot \Delta f^{3,289} \cdot \rho^{2,789} = \\ &= \frac{12,21}{(1 - e^{-t/10,5})} \cdot \frac{b}{L} \cdot \Delta f^{3,289} \cdot \rho^{2,790}. \quad (6) \end{aligned}$$

Экспериментально установлено, что 100-процентной влажности поверхности стружечного пакета с учетом его поверхностной шероховатости соответствует 120 г воды на 1 м^2 поверхности. Выражение (6) справедливо для плиты форматом $0,4 \cdot 0,4 \text{ м}^2$. Для площади 1 м^2 следует уменьшить увлажняющее воздействие в $1/0,4^2 = 6,25$ раз. Поэтому, умножив коэффициент в формуле (6) на 1,2 и разделив на 6,25, от относительной влажности перейдем к абсолютной влажности (г/м^2) одной из поверхностей пакета при условии, что противоположная поверхность не увлажняется:

$$W (\text{г/м}^2) = \frac{2,34}{(1 - e^{-t/10,5})} \cdot \frac{b}{L} \cdot \Delta f^{3,289} \cdot \rho^{2,790}. \quad (7)$$

На формулу количества воды, необходимой для увлажнения поверхности исходного пакета для устранения покоробленности готовой плиты в зависимости от ее формата, толщины, плотности, времени измерения покоробленности и величины прогиба, получен патент РФ на изобретение [24].

На рис. 1 представлены зависимости количества воды W (г/м^2), наносимой на поверхность исходного стружечного пакета для устранения покоробленности плиты величиной Δf , измеренной через 20 мин после

выгрузки плиты из пресса для плиты толщиной 16 мм, форматом 1 м^2 . Здесь ρ – плотность плиты (г/см^3).

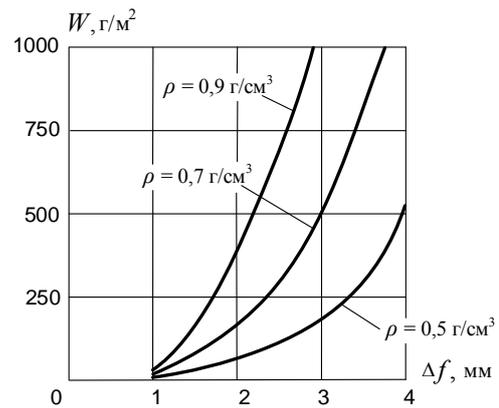


Рис. 1. Количество воды для орошения поверхности пакета в зависимости от прогиба плиты толщиной 16 мм, форматом 1 м^2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для подтверждения адекватности выражения (7) на электрообогреваемом лабораторном прессе было изготовлено четыре партии однослойных плит из сосновой стружки (по 10 плит в каждой партии) толщиной 16 мм, форматом $0,4 \cdot 0,4 \text{ м}^2$ плотностью $0,7 \text{ г/см}^3$. Влажность исходных пакетов составляла 12 %, средняя температура прессования – $170 \text{ }^\circ\text{C}$. Продолжительность прессования составляла 6 минут ($0,375 \text{ мм/мин}$), давление прессования – $2,1 \text{ МПа}$. Для большей наглядности действия предложенного способа целенаправленно выбран экстремальный дисбаланс температур верхней и нижней прессующих поверхностей, составляющий $40 \text{ }^\circ\text{C}$, который не встречается в практике изготовления древесных плит. Значения температур верхней T_v и нижней T_n прессующих поверхностей и количество воды, наносимой на соответственно верхнюю или нижнюю поверхности стружечных пакетов W_v или W_n , а также значения стрелы прогиба готовых плит (средние по 10 измерениям) представлены в табл. 1 (числитель для верхней поверхности, знаменатель – для нижней). Прогиб со знаком «+» означает изгиб середины плиты вверх. Основные физико-механические показатели контрольной плиты A и плиты Γ , конечная покоробленность которой свидетельствует об адекватности предложенного способа, представлены в табл. 2 (средние значения по 10 измерениям).

Количество воды, наносимой на поверхность стружечного пакета для устранения покоробленности плиты $\Delta f = 1,9 \text{ мм}$, определялось по формуле (7)

$$W (\text{г/м}^2) = \frac{2,34}{(1 - e^{-20/10,5})} \cdot \frac{16}{0,4} \cdot 1,9^{3,289} \cdot 0,7^{2,790} = 286 \text{ г,}$$

причем при изготовлении плиты B орошалась верхняя поверхность пакета, а при изготовлении плиты Γ – поверхность поддона, на котором формировался пакет, т. е. увлажнялась его нижняя поверхность.

Таблица 1
Зависимость стрелы прогиба плиты от соотношения температур пресса и соотношения влажности поверхностей исходного ковра

	Температуры прессующих поверхностей $T_в/T_н$, град. С	Количество воды для орошения на поверхностях пакета $W_в/W_н$, г/м ²	Стрела прогиба, мм
Плита А	170 / 170	0 / 0	- 0,1
Плита Б	150 / 190	0 / 0	+ 1,9
Плита В	150 / 190	286 / 0	+ 3,9
Плита Г	150 / 190	0 / 286	- 0,2

Таблица 2
Физико-механические показатели плит

	Предел прочности при статическом изгибе, МПа. Увлажняемая сторона		Предел прочности при растяжении перпендикулярно к плите, МПа	Предел прочности при растяжении вдоль пласти, МПа
	сверху	снизу		
Плита А	13,8	13,8	0,33	12,4
Плита Г	13,8	13,5	0,31	12,3

После выгрузки из пресса плиты выдерживались в вертикальном положении в течение 20 минут, после чего измерялась стрела их прогиба. Для плиты А покоробленность составила 0,1 мм (соизмеримо с погрешностью измерения), для плиты Б – 1,9 мм, для плиты В – 3,9 мм и для плиты Г – 0,2 мм (среднее по 10 измерениям).

В плите Б покоробленность была искусственно вызвана несимметрией температур прессующих поверхностей. В плите В покоробленность была обусловлена сразу двумя причинами: температурной несимметрией при прессовании и дисбалансом влажности поверхностей исходного стружечного ковра. В плите Г покоробленность, вызванная температурной несимметрией при прессовании, была компенсирована «обратной» покоробленностью, обусловленной влажностным дисбалансом верхней и нижней поверхностей исходного стружечного пакета. Таким образом, экспериментальные результаты подтвердили адекватность полученных теоретических выкладок по устранению покоробленности плиты. При этом, как следует из табл. 2, наблюдалось незначительное ухудшение физико-механических показателей плиты Г, исходный стружечный пакет которой подвергся одностороннему увлажнению.

Реализация рассматриваемого способа устранения покоробленности возможна также для трехслойных плит, однако при этом к пяти расчетным факторам (толщина, плотность, формат плиты, период от ее выгрузки из пресса до измерения стрелы прогиба и значение этой стрелы) добавляются еще два фактора (соотношение толщин и плотностей слоев), что делает расчет количества корректирующей влаги громоздким. Данное количество может быть подобрано экспериментально.

Прогиб древесноволокнистых плит не поддается точному измерению, что является предпосылкой неработоспособности рассматриваемого способа в производстве таких плит.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Осуществляемые после изготовления древесных плит «пассивные» способы уменьшения их покоробленности (выдержка в штабеле, калибрование, создание обратной деформации и др.) связаны с большими временными, сырьевыми и энергетическими затратами. По сравнению с ними выгодно отличаются «активные способы», проводимые непосредственно в процессе изготовления плит. Из данных способов наиболее просто реализуется целенаправленное создание дисбаланса влажности поверхностей исходного древесно-стружечного материала.

2. Такой трудноустраняемый дефект, как покоробленность изготавливаемых плит, возможно устранить независимо от технологических причин, вызвавших коробление. Это делает производственный процесс менее критичным к погрешностям. Кроме того, экономится сырье, расходуемое на устранение покоробленности.

3. Получено выражение количества воды, наносимой на одну из поверхностей формируемого стружечного пакета (ковра), необходимой для устранения покоробленности плиты определенной толщины, формата и плотности. Данное выражение учитывает протекание процесса коробления по экспоненциальному закону.

4. При наличии в линии двух аэрозольных распылителей (до и после формирующей машины) реализация рассмотренного способа устранения покоробленности не требует больших дополнительных затрат, и после установки соответствующего оборудования, в частности, датчиков прогиба плиты на участке охлаждения или раскроя, процесс устранения покоробленности готовых плит поддается автоматизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Kehr E., Scherfke R. Über die Formabweichungen (Plattenverzug) von dreischichtigen Spanplatten / Holztechnologie, Leipzig, 1970. № 4. S. 258–263.

2. Dobrowolska E., Neumüller J., Kühne G. Entwicklung einer Messmethode zur Untersuchung der Formbeständigkeit von Spanplatten / Holztechnologie, Leipzig, 1986. № 6. S. 316–319.
3. Dueholm S. Untersuchungen zum Deformationsverhalten von geschichteten Holzwerkstoffplatten unter Klimaeinwirkung – Diss. Hamburg. Univ., 1976. 216 s.
4. Grigoriou F. Untersuchungen zur Formbeständigkeit von verschiedenen Holzwerkstoffen // Holz als Roh- und Werkstoff. Berlin, 1984. № 6. S. 116–120.
5. Gerke T., Gustafsson P. J., Persson K., Niemz P. Experimental and numerical determination of the hygroscopic warping of cross-laminated solid wood panels // Holzforschung, 2009. Vol. 63, pp. 340–347. DOI: 10.1515/HF.2009.061.
6. Eriksson J., Ormarsson S., Petersson H. An experimental study of shape stability in glued boards // Holz Roh- Werkst. 2004. 62, pp. 225–232. URL: <https://doi.org/10.1007/s00107-004-0468-z>.
7. Struzziero G. et al. Cure-induced residual stresses for warpage reduction in thermoset laminates // Journal of Composite Materials. 2020. Volume 54, pp. 3055–3065. <https://doi.org/10.1177/0021998320908631>.
8. Keadze E., Guest S.D., Pellegrino S. Bistable prestressed shell structures // International Journal of Solids and Structures. 2004. – Volume 41. – pp. 2801–2820. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2004.01.028>
9. Wagenführ A., Scholz F. Taschenbuch der Holztechnik / Fachbuchverlag Leipzig. 2012. 567 s.
10. Zhu Q., Geubelle P. H., Li M. Dimensional accuracy of thermoset composites: simulation of process-induced residual stresses // Journal of Composite Materials. 2001. 35(24), pp. 2171–2205. URL: <https://doi.org/10.1177/002199801772662000>.
11. Niemz P., Sonderegger W. Holzphysik: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe / Fachbuchverlag Leipzig. 2017. 580 s. URL: <http://dnb.d-nb.de/abrufbar>.
12. Rindler A., Vay O., Hansmann C., Müller U. Dimensional stability of multi-layered wood-based panels: a review / Wood Science and Technology. 2017. Volume 51, pp. 969–996. URL: <https://doi.org/10.1007/s00226-019-01124-w>.
13. Rindler A., Vay O., Hansmann C. et al. Adhesive-related warping of thin wooden bi-layers // Wood Sci Technol. 2019. Vol. 53, pp. 1015–1033. URL: <https://doi.org/10.1007/s00226-019-01124-w>.
14. Abouhamzeh M., Sinke J., Jansen, K., Benedictus R. Closed form expression for residual stresses and warpage during cure of composite laminates // Composite structures. 2015. Vol. 133, pp. 902–910. DOI: 10.1016/j.compstruct.2015.07.098.
15. Blomqvist L. Shape stability of laminated veneer products—a review—defining and achieving shape stability // International Wood Products Journal, 2015. Vol. 6, pp. 89–95. <https://doi.org/10.1080/17480272.2014.919022>.
16. Базанов Л. Ф. Влияние технологических факторов на деформацию щитов из древесностружечных плит при облицовывании : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. М., 1984. 22 с.
17. Плотников С. М. Исследование покоробленности древесностружечных плит с асимметричной структурой // Изв. вузов. Лесн. журн. 1989. № 1. С. 49–53. [Plotnikov S. M. The study of the warping of chipboards with an asymmetric structure. Lesnoy Zhurnal [Russian Forestry Journal], 1998, No. 1, pp. 49–53].
18. А. с. № 1653961 СССР, МПК В 27 N 3/02. Способ изготовления древесностружечных плит: № 4698745: заявл. 29.05.1989; опубл. 07.06.1991 / Плотников С. М.
19. А. с. № 1653960 СССР, МПК В 27 N 3/02. Способ изготовления древесностружечных плит: № 4697655: заявл. 29.05.1989; опубл. 07.06.1991 / Плотников С. М.
20. Патент 2508193 Российская Федерация, МПК В 27 N3/02. Линия для изготовления древесностружечных плит: № 2012129927/13: заявл. 13.07.2012; опубл. 27.02.2014 / Плотников С. М., Нимц П.
21. Патент 2453428 Российская Федерация, МПК В 27 N3/02, В 27 N3/18. Линия для изготовления древесно-стружечных плит: № 2011100320: заявл. 11.01.2011; опубл. 20.06.2012 / Плотников С. М., Нимц П.
22. Плотников С. М. Активные способы уменьшения покоробленности древесностружечных плит // Изв. вузов. Лесн. журн. 1992. № 3. С. 76–80.
23. Cai, Z., Dickens J. R. Wood Composite Warping: Modeling and Simulation // Wood and Fiber Science. 2004. No. 2, pp.174–185.
24. Патент 2708323 Российская Федерация, МПК В27N 3/02. Способ изготовления древесностружечных плит: № 2708323: заявл. 24.12.2018; опубл. 05.12.2019 / Плотников С. М.

REFERENCES

1. Kehr E., Scherfke R. Über die Formabweichungen (Plattenverzug) von dreischichtigen Spanplatten / Holztechnologie, Leipzig, 1970. № 4. S. 258–263.
2. Dobrowolska E., Neumüller J., Kühne G. Entwicklung einer Messmethode zur Untersuchung der Formbeständigkeit von Spanplatten / Holztechnologie, Leipzig, 1986. № 6. S. 316–319.
3. Dueholm S. Untersuchungen zum Deformationsverhalten von geschichteten Holzwerkstoffplatten unter Klimaeinwirkung – Diss. Hamburg. Univ., 1976. 216 s.
4. Grigoriou F. Untersuchungen zur Formbeständigkeit von verschiedenen Holzwerkstoffen // Holz als Roh- und Werkstoff. Berlin, 1984. № 6. S. 116–120.
5. Gerke T., Gustafsson P. J., Persson K., Niemz P. Experimental and numerical determination of the hygroscopic warping of cross-laminated solid wood panels // Holzforschung, 2009. Vol. 63, pp. 340–347. DOI: 10.1515/HF.2009.061.
6. Eriksson J., Ormarsson S., Petersson H. An experimental study of shape stability in glued boards // Holz Roh- Werkst. 2004. 62. pp. 225–232. URL: <https://doi.org/10.1007/s00107-004-0468-z>.
7. Struzziero G. et al. Cure-induced residual stresses for warpage reduction in thermoset laminates // Journal of Composite Materials. 2020. Volume 54. pp. 3055–3065. <https://doi.org/10.1177/0021998320908631>.
8. Keadze E., Guest S. D., Pellegrino S. Bistable prestressed shell structures // International Journal of Solids and Structures. 2004. Volume 41. Pp. 2801–2820. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2004.01.028>.
9. Wagenführ A., Scholz F. Taschenbuch der Holztechnik / Fachbuchverlag Leipzig. 2012. 567 s.

10. Zhu Q., Geubelle P.H., Li M. Dimensional accuracy of thermoset composites: simulation of process-induced residual stresses // *Journal of Composite Materials*. 2001. 35(24). pp. 2171–2205. URL: <https://doi.org/10.1177/002199801772662000>.
11. Niemz P., Sonderegger W. Holzphysik: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe / Fachbuchverlag Leipzig. 2017. 580 s. URL: <http://dnb.d-nb.de/abrufbar>.
12. Rindler A., Vay O., Hansmann C., Müller U. Dimensional stability of multi-layered wood-based panels: a review / *Wood Science and Technology*. 2017. Vol. 51, pp. 969–996. URL: <https://doi.org/10.1007/s00226-019-01124-w>.
13. Rindler A., Vay O., Hansmann C. et al. Adhesive-related warping of thin wooden bi-layers // *Wood Sci Technol*. 2019. Vol. 53. Pp. 1015–1033. URL: <https://doi.org/10.1007/s00226-019-01124-w>.
14. Abouhamzeh M., Sinke J., Jansen, K., Benedictus R. Closed form expression for residual stresses and warpage during cure of composite laminates // *Composite structures*. 2015. Vol. 133. Pp. 902–910. DOI: 10.1016/j.compstruct.2015.07.098
15. Blomqvist L. Shape stability of laminated veneer products—a review—defining and achieving shape stability // *International Wood Products Journal*, 2015. Vol. 6. Pp. 89–95. <https://doi.org/10.1080/17480272.2014.919022>.
16. Bazanov L. F. Vliyanie tekhnologicheskikh faktorov na deformaciyu shchitov iz dreves-nostruzhechnyh plit pri oblicovyvanii: avtoref. dis...kand. tekhn. nauk: 05.21.05. M., 1984. 22 s.
17. Plotnikov S. M. Issledovanie pokoroblennosti drevesnostruzhechnyh plit s asim-metrichnoj strukturoj // *Izv. vuzov. Lesn. zhurn.* 1989. № 1. S. 49–53. [Plotnikov S. M. The study of the warping of chipboards with an asymmetric structure. *Lesnoy Zhurnal [Russian Forestry Journal]*, 1998, No. 1, pp. 49–53].
18. A.s. № 1653961 SSSR, MPK V 27 N 3/02. Sposob izgotovleniya drevesnostruzhechnyh plit: № 4698745: zayavl. 29.05.1989; opubl. 07.06.1991 / Plotnikov S. M.
19. A.s. № 1653960 SSSR, MPK V 27 N 3/02. Sposob izgotovleniya drevesnostruzhechnyh plit: № 4697655: zayavl. 29.05.1989; opubl. 07.06.1991 / Plotnikov S. M.
20. Patent 2508193 Rossijskaya Federaciya, MPK V 27 N3/02. Liniya dlya izgotovleniya drevesno-struzhechnyh plit: № 2012129927/13: zayavl.13.07.2012: opubl. 27.02.2014 / Plotnikov S. M., Nimc P.
21. Patent 2453428 Rossijskaya Federaciya, MPK V 27 N3/02, V 27 N3/18. Liniya dlya iz-gotovleniya drevesno-struzhechnyh plit: № 2011100320: zayavl. 11.01.2011: opubl. 20.06.2012 / Plotnikov S. M., Nimc P.
22. Plotnikov S. M. Aktivnye sposoby umen'sheniya pokoroblennosti drevesnostruzhechnyh plit // *Izv. vuzov. Lesn. zhurn.* 1992. № 3. S. 76-80.
23. Cai, Z., Dickens J. R. Wood Composite Warping: Modeling and Simulation // *Wood and Fiber Science*. 2004. No. 2. Pp. 174–185.
24. Patent 2708323 Rossijskaya Federaciya, MPK V27N 3/02. Sposob izgotovleniya dre-vesnostruzhechnyh plit: № 2708323: zayavl. 24.12.2018: opubl. 05.12.19 / Plotnikov S. M.

© Плотников С. М., 2022

Поступила в редакцию 26.10.2021
Принята к печати 31.01.2022

ТЯГОВЫЕ СИЛЫ ВЫСОКОМАНЕВРЕННОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**В. Н. Холопов, В. Б. Федченко**

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

Известны конструкции маневренных транспортных средств, у которых все колеса являются поворотными и активными, что усложняет конструкцию ходовой системы. Была предложена конструкция высокоманевренного тягового средства, у которого только два диагонально расположенных активных колеса, они же являются и поворотными. Два других колеса, также расположенных диагонально являются самоустанавливающимися и активными с возможностью отключения привода. На конструкцию такого высокоманевренного транспортного средства получен патент Российской Федерации за № 2006410 одним из авторов статьи.

На основании предложенного конструктивного решения выполнена расчетная схема поворота транспортного средства и на ее основе рассмотрено действие тяговых сил самоустанавливающихся колёс. Сформулированы зависимости влияния на радиусы и углы поворота самоустанавливающихся колёс углов поворота управляемых колёс, а также длин стержней, соединяющих самоустанавливающиеся колёса с их вертикальными шарнирами. Используя полученные зависимости можно определить параметры ходовой системы и действия тяговых сил высокоманевренного транспортного средства.

Составляющие тяговых усилий самоустанавливающихся колёс, лежащих в плоскостях управляемых колёс, зависят от углов поворота управляемых колёс и длин стержней, связывающих самоустанавливающиеся колёса с соответствующими вертикальными шарнирами.

С увеличением углов поворота управляемых колёс и длин стержней, связывающих самоустанавливающиеся колёса с соответствующими вертикальными шарнирами, составляющие тяговых усилий самоустанавливающихся колёс, перпендикулярных плоскостям управляемых колёс, увеличиваются. Дальнейшее увеличение составляющих тяговых усилий на этих колесах может привести к заносу уже управляемых колёс.

Результаты теоретических исследований можно использовать при расчетах геометрических параметров ходовой системы высокоманевренного транспортного средства с диагональным расположением управляемых и самоустанавливающихся колёс.

Ключевые слова: транспортное средство, самоустанавливающиеся колёса, управляемые колёса, тяговые силы.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 1, P. 91–93

TRACTION FORCES HIGHLY MANEUVERABLE VEHICLE**V. N. Kholopov, V. B. Fedchenko**

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

There are known designs of maneuverable vehicles, in which all the wheels are pivoting and active, which complicates the design of the running system. The design of a highly maneuverable traction vehicle was proposed, which has only two diagonally located active wheels, they are also rotary. The other two wheels, also located diagonally, are self-aligning and active with the possibility of disabling the drive. For the design of such a highly maneuverable vehicle, a patent of the Russian Federation for No. 2006410 was obtained by one of the authors of the article.

Based on the proposed design solution, the calculated scheme of vehicle rotation is performed and the effect of the traction forces of self-aligning wheels is considered on its basis. The dependences of the influence of the steering angles of the controlled wheels on the radii and angles of rotation of the self-aligning wheels, as well as the lengths of the rods connecting the self-aligning wheels with their vertical hinges, are formulated. Using the obtained dependencies, it is possible to determine the parameters of the running system and the action of the traction forces of a highly maneuverable vehicle.

The components of the traction forces of the self-aligning wheels lying in the planes of the controlled wheels depend on the angles of rotation of the controlled wheels and the lengths of the rods connecting the self-aligning wheels with the corresponding vertical hinges.

– перпендикулярно продольной оси транспортного средства.

Определим углы образованных при этом треугольников. Угол zjc равен углу α_c , а угол czj равен углу $90^\circ - \alpha_{c1}$, поскольку они имеют взаимно перпендикулярные стороны.

По теореме синусов для треугольника zjc будем иметь:

$$\frac{P_{kc1}}{\sin \alpha_c} = \frac{P_{kc}}{\sin(90^\circ - \alpha_{c1})}, \quad (5)$$

откуда

$$P_{kc1} = \frac{P_{kc} \sin \alpha_c}{\sin(90^\circ - \alpha_{c1})} = \frac{P_{kc} \sin \alpha_c}{\cos \alpha_{c1}}. \quad (6)$$

Угол cju определится из суммы углов треугольника cju

$$\angle cju = 180^\circ - ((90^\circ - \alpha_{c1}) + \alpha_c) = 90^\circ + \alpha_{c1} - \alpha_c.$$

$$\frac{P_{kc2}}{\sin(90^\circ + \alpha_{c1} - \alpha_c)} = \frac{P_{kc}}{\sin(90^\circ - \alpha_{c1})},$$

откуда

$$P_{kc2} = \frac{P_{kc} \sin(90^\circ + \alpha_{c1} - \alpha_c)}{\sin(90^\circ - \alpha_{c1})}. \quad (7)$$

Сила P_{kc2} обеспечивает движение транспортного средства относительно центра поворота O , а сила P_{kc1} через корпус транспортного средства передаётся на управляемое колесо a , взаимодействующее с опорной поверхностью.

Разложим эту силу на две составляющих:

одну P_{a2} , лежащую в плоскости колеса a перпендикулярно радиусу поворота колеса a относительно центра поворота O , а вторую P_{a1} – перпендикулярно плоскости колеса a . Тогда

$$P_{a1} = P_{kc1} \cos \Theta_a = \frac{P_{kc} \sin \alpha_c}{\cos \alpha_{c1}} \cos \Theta_a; \quad (6)$$

$$P_{a2} = P_{kc1} \sin \Theta_a = \frac{P_{kc} \sin \alpha_c}{\cos \alpha_{c1}} \sin \Theta_a. \quad (7)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные уравнения и схема (см. рисунок) показывают:

1) при всех ведущих колёсах рассматриваемого транспортного средства сила, действующая на вертикальную ось управляемого колеса, внешнего к центру поворота, определяется суммой двух сил: тягового усилия P_{kb} этого управляемого колеса и составляющей P_{b2} тягового усилия P_{kd} самоустанавливающегося колеса, внутреннего к центру поворота;

2) при всех ведущих колёсах рассматриваемого транспортного средства сила, действующая на вертикальную ось управляемого колеса, внутреннего к центру поворота действует разность двух сил: тягового усилия P_{ka} на управляемом колесе, внутреннем к центру поворота, и составляющей тягового усилия P_{a2} самоустанавливающегося колеса, внешнего к центру поворота;

3) составляющие тяговых усилий самоустанавливающихся колёс, лежащих в плоскостях управляемых колёс, зависят от углов поворота управляемых колёс и длин стержней, связывающих самоустанавливающиеся колёса с соответствующими вертикальными шарнирами;

4) с увеличением углов поворота управляемых колёс и длин стержней, связывающих самоустанавливающиеся колёса с соответствующими вертикальными шарнирами, составляющие тяговых усилий самоустанавливающихся колёс, перпендикулярных плоскостям управляемых колёс, увеличиваются;

5) увеличение составляющих тяговых усилий самоустанавливающихся колёс, перпендикулярных плоскостям управляемых колёс в конечном счёте может привести к заносу управляемых колёс.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Литвинов А. С., Фаробин Я. Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. М. : Машиностроение, 1989. 240 с.
2. Беккер И. Г. Портальные автомобили. М. : Машиностроение, 1971. 320 с.
3. Холопов В. Н. Высокоманевренное транспортное средство. Патент РФ № 2006410, МПК В62D63/02. Устройство для перевозки грузов / В. Н. Холопов; заявитель и патентообладатель Сибирский технологический университет. № 4682168/11; заявл. 25.04.89; опубл. 30.01.94.
4. Тарасик В. П. Теория движения автомобиля. СПб. : БХВ-Петербург, 2006. 478 с.

REFERENCES

1. Litvinov A. S., Farobin YA. E. Avtomobil': Teoriya ekspluatacionnyh svojstv. M. : Mashinostroenie, 1989. 240 s.
2. Bekker I. G. Portal'nye avtomobili. M. : Mashinostroenie, 1971. 320 s.
3. Holopov V. N. Vysokomanevrennoe transportnoe sredstvo. Patent RF № 2006410, MPK B62D63/02. Ustrojstvo dlya perevozki gruzov / V. N. Holopov ; zayavitel' i patentoobladatel' Sibirskij tekhnologicheskij universitet. № 4682168/11; zayavl. 25.04.89; opubl. 30.01.94.
1. 4. Tarasik V. P. Teoriya dvizheniya avtomobilya. SPb. : BHV-Peterburg, 2006. 478 s.

© Холопов В. Н., Федченко В. Б., 2022

АВТОРСКАЯ ССЫЛКА

- Андряс А. А.**, см. Корпачев В. П.
Ануев Е. А., см. Волкова А. С.
Баранов А. Н., см. Ковалев Р. Н.
Бессчетнов В. П., см. Бессчетнова Н. Н.
Бессчетнов В. П., см. Горелов А. Н.
Бессчетнова Н. Н. Корреляция показателей пигментного состава хвои ели европейской в географических культурах, с. 9–17
Бессчетнова Н. Н., см. Горелов А. Н.
Братилова Н. П., см. Свалова А. И.
Волкова А. С. Актуальные вопросы описания границ лесного фонда (на примере города Красноярска), с. 18–26
Горелов А. Н. Сравнительная оценка таксационных показателей плюсовых деревьев сосны обыкновенной на лесосеменной плантации, с. 27–37
Долматов С. Н. Исследование влияния стальных теплопроводных включений на теплотехнические свойства ограждающей конструкции из древесно-цементного композита, с. 76–83
Колесников П. Г., см. Долматов С. Н.
Коротков А. А. Юбилей Хорошего человека (Римма Никитична Матвеева), с. 7–8
Корпачев В. П. Технические проблемы, создаваемые строительством водохранилищ ГЭС на лесных землях, с. 38–45
Лузганов А. Г., см. Свалова А. И.
Мельник П. Г., см. Тишков А. С.
Мерзленко М. Д., см. Тишков А. С.
Милашкин И. Г., см. Волкова А. С.
Наумов Е. Г., см. Тишков А. С.
Норицин Д. В., см. Усольцев В. А.
Орнатский А. Н., см. Бессчетнова Н. Н.
Пережилин А. И., см. Корпачев В. П.
Плотников С. М. Устранение покоробленности древесных плит за счет дисбаланса поверхностной влажности стружечного ковра, с. 84–90
Свалова А. И. Оценка подпологовых культур сосны кедровой сибирской в урочище «Майдат» пригородной зоны Красноярска, с. 46–53
Танцырев Н. В. Интенсивность возобновления кедрового стланика в связи с урожаями семян в Южной Якутии, с. 54–58
Тишков А. С. Показатели культур ели европейской при разной густоте посадки, с. 59–64
Усольцев В. А. Аллометрические модели для оценки биомассы корней лесообразующих родов Евразии дистанционными методами с учетом глобального потепления, с. 65–75
Федченко В. Б., см. Холопов В. Н.
Холопов В. Н. Тяговые силы высокоманевренного транспортного средства, с. 91–93
Цепордей И. С., см. Усольцев В. А.
Щербаков А. Ю., см. Бессчетнова Н. Н.

AUTHOR'S LINK

- Andriyas A. A.**, see Korpachev V. P.
Anuev E. A., see Volkova A. S.
Baranov A. N., see Kovalev R. N.
Besschetnov V. P., see Besschetnova N. N.
Besschetnov V. P., see Gorelov A. N.
Besschetnova N. N. Correlation of indicators of the pigment composition of european spruce needles in geographical cultures, p. 9–17
Besschetnova N. N., see Gorelov A. N.
Bratilova N. P., see Svalova A. I.
Dolmatov S. N. Research of the influence of steel heat-conducting inclusions on thermal properties of the fronting structure from wood-cement composite, p. 76–83
Fedchenko V. B., see Kholopov V. N.
Gorelov A. N. Comparative assessment of the taxation indicators of plus trees of scots pine on a forest seed plantation, p. 27–37
Kholopov V. N. Traction forces highly maneuverable vehicle, p. 91–93
Kolesnikov P. G., see Dolmatov S. N.
Korotkov A. A. Anniversary of a Good Man (Rimma Nikitichna Matveeva), p. 7–8
Korpachev V. P. Technical problems, created by construction of reservoirs of hpp on forest lands, p. 38–45
Luzganov A. G., see Svalova A. I.
Melnik P. G., see Tishkov A. S.
Merzlenko M. D., see Tishkov A. S.
Milashkin I. G., see Volkova A. S.
Naumov E. G., see Tishkov A. S.
Noritsin D. V., see Usoltsev V. A.
Ornatsky A. N., see Besschetnova N. N.
Perezhilin A. I., see Korpachev V. P.
Plotnikov S. M. Removing of warping of wood boards thanks to imbalance of surface humidity of the chip mat, p. 84–90
Shcherbakov A. Yu., see Besschetnova N. N.
Svalova A. I. Assessment of cultures under forest canopy of siberian cedar pine in the tract “Maydat” in the suburban zone of Krasnoyarsk, p. 46–53
Tantsyrev N. V. The intensity of japanese stone pine renewal in connection with the seed yields in South Yakutia, p. 54–58
Tishkov A. S. Indicators of european spruce crops with different planting density, p. 59–64
Tsepordey I. S., see Usoltsev V. A.
Usoltsev V. A. Allometric models for estimating the root biomass of Eurasian forest-forming genera by remote sensing as related to global warming, p. 65–75
Volkova A. S. Actual question descriptions the boundaries of forest (on the example of Krasnoyarsk), p. 18–26

