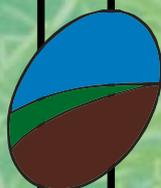


ISSN 1993-0135

ХВОЙНЫЕ

БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ



2022

Том XL
Номер 5

<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
№ 5

Красноярск
2022

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XL, № 5

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, № 5

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

Editor-In-Chief

Dr. Natalia P. Bratilova, Professor

Executive secretary

Cand. Aleksandr A. Korotkov, Associate Professor

EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

Учредитель и издатель

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

Адрес учредителя и издателя

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

Адрес редакции

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

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

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

Подписано в печать 17.10.2022. Дата выхода в свет 30.11.2022. Формат 70×108/8.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 12,8. Уч.-изд. л. 15,5. Тираж 700 экз.
Заказ С 617/22. 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

БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ, ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Братилова Н. П., Коротков А. А., Коновалова Д. А. Влияние субстрата на рост и развитие сеянцев сосны кедровой сибирской с закрытой корневой системой	347
Вайс А. А., Братилова Н. П., Барлекова П. Д. Горизонтальная форма крон и деревьев в кедровых плантациях пригородной зоны города Красноярска	353
Глинушкин А. П., Хамитова С. М., Бабич Н. А., Думачева Е. В., Хамитов Р. С., Федченко А. С., Пестовский Е. И. Сметанников А. П. Влияние условий произрастания сосны кедровой сибирской (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour) на процессы фотосинтеза и транспирации	361
Кузнецова Г. В. Межпопуляционная изменчивость размера шишек и массы семян сосны сибирской кедровой (<i>pinus sibirica</i> du tour)	369
Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. Исследования по выращиванию сосны кедровой сибирской за многолетний период	374
Николаева М. А., Варенцова Е. Ю., Межина К. М. Оценка сохранности и состояния <i>pinus sibirica</i> du tour в географических культурах Ленинградской области	381
Суховольский В. Г., Иванова Ю. Д., Ковалев А. В. Рост насаждений кедровой сосны <i>pinus sibirica</i> du tur разных бонитетов: оценка влияния регулирующих факторов	388
Танцырев Н. В. Начальная фаза формирования послепожарных горных кедровников на Северном Урале	395
Титов Е. В. История выращивания и перспективы плантационного ореховодства кедровых сосен в восточной Европе	404
Усольцев В. А., Цепордей И. С., Данилин И. М. Прогнозирование биомассы кедровых сосен Северной части Азии при изменении климата	410
Щерба Ю. Е., Ибе А. А., Сухих Т. В., Шелер М. А., Копченко Д. Е. Результаты анализа ДНК для генетической идентификации рамет на гибридно-семенной плантации сосны кедровой сибирской	424

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Криворотова А. И., Эскин В. Д. Исследование способов и режимов переработки шишки сосны сибирской при изготовлении декоративного композиционного материала	430
Невзоров В. Н., Кох Ж. А., Мацкевич И. В., Голубев И. В. Разработка оборудование для калибровки и сортировки кедрового ореха	439
Невзоров В. Н., Кох Ж. А., Мацкевич И. В., Холопов В. Н. Совершенствование технологии и оборудования производства кедрового масла	444
Авторская ссылка	450

Contents

BIOLOGY AND ECOLOGY, FORESTRY

Bratilova N. P., Korotkov A. A., Konovalova D. A. The effect of the substrate on the growth and development of seedlings of siberian cedar pine with a closed root system	347
Vais A. A., Bratilova N. P., Barlekova P. D. Horizontal form of crown and trees in cedar plantations of the suburban zone of Krasnoyarsk	353
Glinushkin A. P., Khamitova S. M., Babich N. A., Dumacheva E. V., Khamitov R. S., Fedchenko E. I., Pestovsky A. S., Smetannikov A. P. Influence of the growing conditions of siberian cedar pine (<i>Pinus Sibirica</i>) on the processes of photosynthesis and transpiration	361
Kuznetsova G. V. Interpopulation variability of the size of cones and seed weight of siberian pine (<i>pinus sibirica</i> du tour)	369
Matveeva R. N., Butorova O. F. Research on the cultivation of siberian cedar pine for a long period	374
Nikolaeva M. A., Varentsova E. Yu., Mezhdina K. M. Assessment of the preservation and condition of <i>pinus sibirica</i> du tour in provenance trials of Leningrad region	381
Soukhovolsky V. G., Ivanova Yu. D., Kovalev A. V. Growth of stands of cedar pine <i>pinus sibirica</i> du tour of different growth types: assessment of the influence of regulatory factors	388
Tantsyrev N. V. The initial phase of the formation of post-fire siberian stone pine mountain forests in the Northern Urals	395
Titov E. V. History of cultivation and prospects of planting pine pine nuts in Eastern Europe	404
Usoltsev V. A., Tsepordey I. S., Danilin I. M. Forecasting the biomass of cedar pines in Northern Asia under climate change	410
Shcherba Iu. E., Ibe A. A., Sukhikh T. V., Sheller M. A., Kopchenko D. E. The results of DNA analysis for genetic identification of ramets on a hybrid seed plantation of siberian cedar pine	424

TECHNOLOGY OF HARVESTING AND MECHANICAL PROCESSING OF WOOD

Krivorotova A. I., Eskin V. D. Investigation of methods and modes of processing siberian pine cones in the manufacture of decorative composite material	430
Nevzorov V. N., Koch Zh. A., Matskevich I. V., Golubev I. V. Development of equipment for calibration and sorting of pine nuts	439
Nevzorov V. N., Koch Zh. A., Matskevich I. V., Kholopov V. N. Improvement of technology and equipment cedar oil production	444
Author's link	450

ВЛИЯНИЕ СУБСТРАТА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ

Н. П. Братилова, А. А. Коротков, Д. А. Коновалова

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

Приведены сравнительные данные развития и роста, формирования фитомассы сеянцев сосны кедровой сибирской с закрытой корневой системой в течение первого года выращивания в оранжерее Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. Для выращивания сеянцев использовались субстраты разного состава, основой которых служил нейтральный торф (рН = 7) или кокосовый субстрат. В субстраты добавляли вермикулит и/или перлит в концентрациях 5 и 12 %. Семена сосны кедровой сибирской были собраны в Емельяновском лесничестве Красноярского края, подвергнуты траншейной стратификации. Посев произведен в июне 2021 г.

В течение первого вегетационного сезона были изучены длина семядолей, первичной хвои всходов, сформированных верхушечных почек сеянцев, высота и диаметр стволика у шейки корня и фитомасса сеянцев.

В результате проведенных исследований установлено, что на линейные размеры и фитомассу надземной и подземной частей растений оказывает влияние состав субстрата. Большие размеры стебля отмечаются на субстратах из чистого нейтрального торфа, смеси торфа с перлитом 5 % и вермикулитом 5 % и кокосовом субстрате с вермикулитом 12 %. Отставание линейных размеров выявлено у сеянцев, выращиваемых на чистом кокосовом субстрате и торфяной смеси с добавлением 12 % перлита. Сеянцы, растущие на торфяных субстратах, формируют к концу первого вегетационного сезона корневую систему меньших размеров и массы, чем на субстратах, основным компонентом которых является кокос.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, всходы, семядоли, первичная хвоя, сеянцы, корневая система, фитомасса, субстрат.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 5, P. 347–352

THE EFFECT OF THE SUBSTRATE ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF SEEDLINGS OF SIBERIAN CEDAR PINE WITH A CLOSED ROOT SYSTEM

N. P. Bratilova, A. A. Korotkov, D. A. Konovalova

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

The comparative data of development and growth, formation of phytomass of seedlings of Siberian cedar pine with a closed root system during the first year of cultivation in the greenhouse of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology are presented. Substrates of different composition, the basis of which was neutral peat (pH = 7) or coconut substrate, were used for the cultivation of seedlings. Vermiculite and/or perlite were added to the substrates in concentrations of 5 and 12 %. Seeds of Siberian cedar pine were collected in the Yemelyanovsky forestry of the Krasnoyarsk Krai, subjected to trench stratification. Sowing was carried out in June 2021.

During the first growing season, the length of cotyledons, the primary needles of seedlings, the formed apical buds of seedlings, as well as the height and diameter of the stem at the neck of the root of seedlings and their phytomass, were studied.

As a result of the conducted research, it was found that the composition of the substrate influences the linear dimensions and phytomass of the aboveground and underground parts of plants. Large stem sizes are noted on substrates of pure neutral peat, peat mixtures with 5 % perlite and 5 % vermiculite, and coconut substrate with 12% vermiculite. The lag of linear dimensions was revealed in seedlings grown on a pure coconut substrate and peat mixture with the addition of 12 % perlite. Seedlings growing on peat substrates form by the end of the first growing season a root system of smaller size and weight than on substrates, the main component of which is coconut.

Keywords: Siberian cedar pine, seedlings, cotyledons, primary needles, seedlings, root system, phytomass, substrate.

ВВЕДЕНИЕ

Использование посадочного материала с закрытой корневой системой в настоящее время является одним из перспективных направлений лесовосстановления. Такой вид посадочного материала начинали применять в России в середине XX века, но его использование было ограничено различными лимитирующими факторами. В настоящее время технологии выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой совершенствуются, проводится большое количество исследований по подбору оптимального состава субстрата, размеров и материалов кассет и др. [12].

Несмотря на современный успешный опыт, в разных регионах РФ встречаются противоречивые выводы о превосходстве или недостатках технологии выращивания посадочного материала с ЗКС. Установлена высокая эффективность применяемых технологий выращивания посадочного материала, как с открытой, так и с закрытой корневой системой в разных вариантах опыта в условиях Алтая, Воронежской, Омской, Ленинградской областей, Марий Эл, Красноярского края [1; 3; 6; 7; 8; 9]. Выращиванию семян сосны кедровой сибирской с закрытой корневой системой посвящено небольшое количество работ [2; 13].

В. П. Бессчетновым и др. [3] было отмечено, что стандартные семена сосны обыкновенной, выращиваемые в открытом грунте в течение двух лет по традиционным технологиям, являются более развитыми и более подготовленными к пересадке на постоянное место в искусственных насаждениях. Они характеризуются более развитой надземной частью и её сбалансированным развитием относительно корневой системы. Семена с открытой корневой системой, выращиваемые в грунте теплиц в течение одного года, заметно отстают в своем развитии от стандартного посадочного материала, хотя и близки к нему по морфометрическим параметрам. Наименее развитыми оказались однолетние семена с закрытой корневой системой. Это обстоятельство, возможно, связано с ограниченным объемом занимаемой ими корневой сферы и дисбалансом в развитии надземной части и корневой системы.

На успешность выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой влияют многие факторы, одним из которых является состав и качество субстрата. В качестве субстрата наиболее часто употребляется торф. Отмечается, что верховой торф является более предпочтительным по сравнению с низинным. В последнее время возросло число экспериментов по подбору смесей, которые в перспективе могут являться его полноценной заменой. В последние годы во многих странах увеличилось количество исследований по подбору субстратов, являющихся полноценной заменой торфу, используемому в большинстве смесей для выращивания семян с закрытой корневой системой. Одним из популярных субстратов на замену торфяным смесям является кокосовое волокно. Основными характеристиками кокосового субстрата считаются оптимальное соотношение влаги и воздуха в его объеме и катионообменная способность (буферность) [14].

Отмечается положительное влияние микоризации корневых систем семян на приживаемость и со-

хранность лесных культур. При микоризации уже на второй-третий год после посадки наблюдается увеличение приростов растений. Чем более неблагоприятны эдафические условия, тем сильнее микоризация может повлиять на устойчивость лесных культур [4].

А. В. Жигунов оптимальным показателем, характеризующим рост семян с закрытой корневой системой, считал энергию роста, являющуюся производным параметром от высоты и диаметра стволика семени [5].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований являются семена сосны кедровой сибирской, выращенные в оранжерее Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева на субстратах разного состава. В качестве субстратов были использованы смеси, в основе которых были использованы в качестве основных компонентов кокос и торф. Варианты субстратов: 1 – кокосовый субстрат без добавок, 2 – кокосовый субстрат с перлитом 12 %, 3 – кокосовый субстрат с вермикулитом 12 %, 4 – кокосовый субстрат с торфом в соотношении 50/50, 5 – кокосовый субстрат с перлитом 5 % и вермикулитом 5 %, 6 – торф нейтральный (рН = 7) без примесей, 7 – торф с перлитом 12 %, 8 – торф с вермикулитом 12 %, 9 – торф с перлитом 5 % и вермикулитом 5 %.

Семена сосны кедровой сибирской были собраны в Емельяновском лесничестве Красноярского края, подвергнуты траншейной стратификации. Посев произведен в июне 2021 г.

В течение вегетационного сезона 2021 г. были изучены длина семян, первичной хвои всходов, сформированных верхушечных почек семян, а также высота и диаметр стволика у шейки корня семян. В конце вегетационного сезона в каждом варианте были отобраны модельные семена для определения их фитомассы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Средняя длина стебля семян сосны кедровой сибирской в конце первого вегетационного сезона в зависимости от варианта опыта варьировала от $2,4 \pm 0,15$ до $3,8 \pm 0,20$ см. Показатель средней длины семян находился в пределах от $3,1 \pm 0,12$ см до $3,7 \pm 0,14$ см. Длина первичной хвои составляла от $9,7 \pm 0,52$ мм до $13,6 \pm 0,93$ мм.

В зависимости от преобладающего компонента смеси показатели роста и развития семян представлены в табл. 1 и 2. Так, длина стебля семян, выращенных на субстратах на основе кокосовой смеси, составляла к концу вегетационного периода в среднем от $2,4 \pm 0,15$ см до $3,4 \pm 0,16$ см. Большей длиной стебля характеризовались семена, растущие на субстратах с примесью вермикулита (варианты 3 и 5). Меньшими показателями длины и диаметра стебля у шейки корня отличались растения, выращиваемые на чистом кокосовом субстрате (вариант 1). Достоверность различий подтверждаются математической обработкой (табл. 1).

По совокупности изученных показателей можно сделать вывод о лучшем росте и развитии семян

третьего варианта с использованием в качестве субстрата кокосовой смеси в сочетании с 12 % вермикулита. Отстают по показателям роста и развития сеянцы первого года, выращиваемые на кокосовом субстрате без добавок.

Сеянцы, выращиваемые на субстратах, где в качестве основного компонента был использован торф, имели среднюю длину стебля от $2,5 \pm 0,25$ до $3,8 \pm 0,20$ см. Диаметр стебля у шейки корня варьировал от $1,3 \pm 0,06$ до $1,9 \pm 0,06$ мм (табл. 2).

Таблица 1
Показатели сеянцев, растущих на субстратах на основе кокосовой смеси

Вариант	X_{cp}	$\pm\sigma$	$\pm m$	$P, \%$	$V, \%$	t_{ϕ} при $t_{05} = 2,04$
Длина стебля, см						
1	2,4	0,59	0,15	6,1	24,3	4,44
2	2,9	0,76	0,17	5,9	26,6	2,43
3	3,4	0,71	0,16	4,7	20,9	–
4	2,9	0,82	0,22	7,6	28,4	1,85
5	3,3	0,74	0,14	4,4	22,4	0,51
Диаметр стебля у шейки корня, мм						
1	1,4	0,25	0,06	4,4	17,5	7,17
2	1,5	0,21	0,05	3,3	14,6	7,90
3	1,9	0,16	0,04	1,9	8,4	–
4	1,9	0,33	0,09	4,6	17,1	0,29
5	1,7	0,2	0,04	2,3	11,9	5,44
Длина семядолей, см						
1	3,3	0,43	0,11	3,2	12,8	2,00
2	3,4	0,45	0,10	2,9	13,0	1,39
3	3,7	0,61	0,14	3,7	16,6	–
4	3,5	0,85	0,23	6,4	24,1	0,50
5	3,7	0,71	0,14	3,8	19,3	0,00
Длина первичной хвои, мм						
1	9,7	2,09	0,52	5,4	21,5	2,82
2	12,2	2,71	0,61	5,0	22,3	0,67
3	13,0	4,56	1,02	7,9	35,2	–
4	12,2	2,15	0,58	4,7	17,6	0,63
5	10,8	2,61	0,51	4,7	24,1	1,88

Таблица 2
Показатели сеянцев, растущих на субстратах на основе торфа

Вариант	X_{cp}	$\pm\sigma$	$\pm m$	$P, \%$	$V, \%$	t_{ϕ} при $t_{05} = 2,04$
Длина стебля, см						
6	3,8	0,89	0,20	5,4	23,7	–
7	2,5	0,88	0,25	10,0	35,7	4,06
8	3,1	0,70	0,17	5,5	22,8	2,67
9	3,4	0,86	0,20	5,9	25,1	1,41
Диаметр стебля у шейки корня, мм						
6	1,7	0,45	0,10	6,3	27,4	1,71
7	1,3	0,22	0,06	5,0	17,3	7,07
8	1,9	0,26	0,06	3,3	13,4	–
9	1,6	0,26	0,06	3,9	16,7	3,54
Длина семядолей, см						
6	3,5	0,7	0,16	4,5	19,7	–
7	3,1	0,43	0,12	4,1	14,1	2,36
8	3,4	0,47	0,11	3,3	13,8	0,59
9	3,5	0,61	0,14	4,1	17,4	0,20
Длина первичной хвои, мм						
6	13,6	4,06	0,93	6,9	29,9	–
7	10,5	2,62	0,76	7,2	25,1	2,60
8	11,5	4,14	1,00	8,7	35,9	1,49
9	13,4	2,45	0,58	4,3	18,3	0,17

По данным табл. 2 можно сделать вывод о лучшем росте и развитии сеянцев на субстрате из чистого нейтрального торфа (6 вариант). Хорошими показателями размеров надземной части сеянцев отличаются также растения, выращиваемые на смесях с добавлением вермикулита (8 и 9 варианты). Отстают по показате-

лям роста и развития сеянцы на торфяном субстрате с добавлением чистого перлита (вариант 7). Различия подтверждены математической обработкой.

Осенью 2021 г. у модельных сеянцев произведено сравнение роста корней и формирования фитомассы надземной и подземной частей (рис. 1, 2).

Средняя протяженность надземной части сеянцев составила $5,6 \pm 0,10$ см, корней - $9,1 \pm 0,62$ см. Несмотря на большие линейные размеры корневой системы однолетних сеянцев сосны кедровой сибирской, выращиваемых с закрытой корневой системой, масса корней уступает массе надземной части растений в среднем в 2,6 раза (табл. 3).

Установлено, что в вариантах с использованием кокосовых смесей формируются корни больших размеров, чем при выращивании растений в торфяных субстратах (рисунок 3). Так, длина корневой системы однолетних сеянцев превышает протяженность над-

земной части растений в вариантах 1, 2, 3 и 5 в 1,8–2,3 раз. В вариантах с использованием торфа подобное превышение составляет 1,1–1,7 раз (6, 8 и 9 варианты). При использовании торфяной смеси в сочетании с перлитом 12 % (вариант 7) длина корней уступает протяженности надземной части сеянца. Отмечается большее превышение протяженности подземной части растения над надземной в 4 варианте в сочетании торфа и кокоса в равных пропорциях (в 2,3 раза) (рис. 3).

В зависимости от состава субстрата на надземную часть приходится 0,29-0,41 г, на корни – от 0,07 до 0,17 г фитомассы в свежем состоянии (рис. 4).

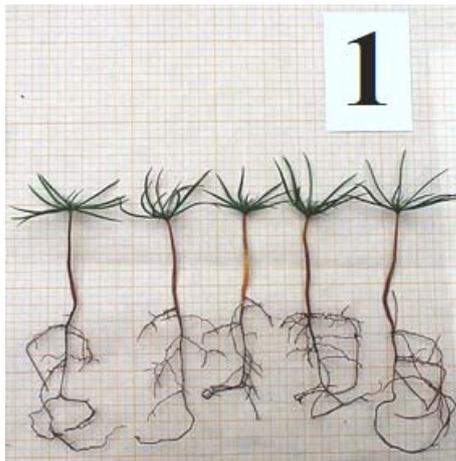


Рис. 1. Сеянцы варианта 1



Рис. 2. Сеянцы варианта 7

Таблица 3
Показатели однолетних сеянцев с закрытой корневой системой

Показатель	X_{cp}	$\pm\sigma$	$\pm m$	$P, \%$	$V, \%$
Протяженность надземной части, см	5,6	0,67	0,10	1,8	12,0
Длина корня, см	9,1	4,14	0,62	6,8	45,3
Масса надземной части, г	0,34	0,07	0,01	3,0	20,2
Масса корня, г	0,13	0,05	0,01	5,5	36,7

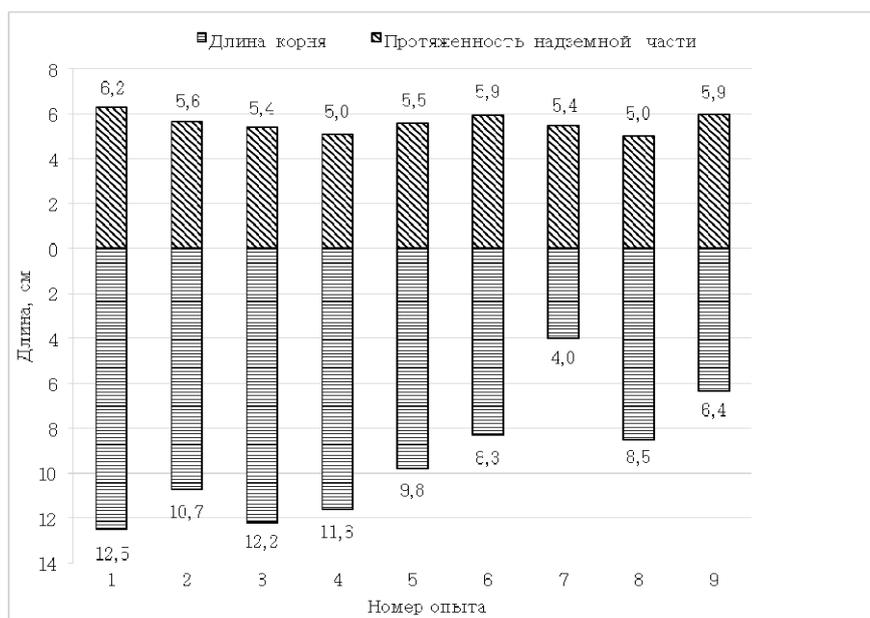


Рис. 3. Размеры модельных однолетних сеянцев с ЗКС в зависимости от состава субстрата

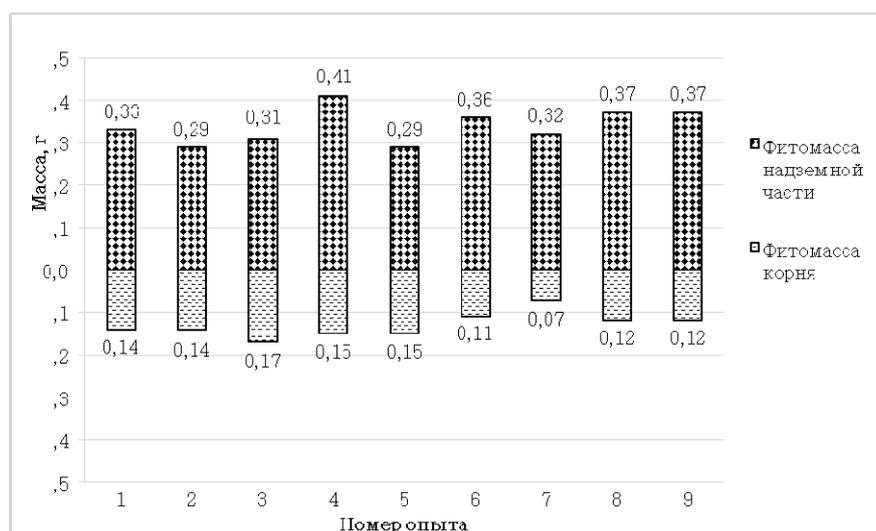


Рис. 4. Фитомасса модельных однолетних сеянцев с ЗКС в зависимости от состава субстрата

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований роста и развития однолетних сеянцев сосны кедровой сибирской, выращиваемых с закрытой корневой системой, установлено, что на линейные размеры и фитомассу надземной и подземной частей растений оказывает влияние состав субстрата. Большие размеры стебля отмечаются на субстратах из чистого нейтрального торфа, смесей торфа с перлитом 5 % и вермикулитом 5 %, и кокосовом субстрате с вермикулитом 12 %. Отставание линейных размеров выявлено у сеянцев, выращиваемых на чистом кокосовом субстрате и торфяной смеси с добавлением 12 % перлита. Сеянцы, растущие на торфяных субстратах, формируют к концу первого вегетационного сезона корневую систему меньших размеров и массы, чем на субстратах, основным компонентом которых является кокос.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в Алтайском крае [Электронный ресурс] / Ананьев Е. М., Залесов С. В., Луганский Н. А. и др. // АБУ. 2017. № 8 (162). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-vyraschivaniya-posadochnogo-materiala-s-zakrytoy-kornevoy-sistemoy-v-altayskom-krae>.
2. Барайщук Г. В., Туник Е. А. Выращивание сеянцев сосны сибирской кедровой в условиях Омской области // Состояние и перспективы развития садоводства в Сибири : материалы II Национальной научно-практической конференции посвященной 85-летию плодового сада Омского ГАУ им. проф. А. Д. Кизюрина, Омск, 07–09 декабря 2016 года. Омск : Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 2016. С. 171–175.
3. Морфометрические параметры сеянцев сосны с открытой и закрытой корневой системой / В. П. Бесчетнов и др. // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. Т. 4. С. 52–67.
4. Бурцев Д. С. Зарубежный опыт искусственной микоризации сеянцев лесных древесных пород с за-

крытой корневой системой // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2014. № 1. С. 47–61.

5. Жигунов А. В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой для лесовосстановления : авторефер... дис. кан. с.-х. наук. СПб., 1998. 46 с.

6. Заболотских П. В. Рост лесных культур сосны обыкновенной, созданных различным видом посадочного материала, в республике Марий Эл // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, Воронеж, 2015. Т. 3. № 5-4 (16-4). С. 247–250.

7. Лугинина Л. И. Развитие саженцев с закрытой корневой системой в условиях лесосеменных плантаций сосны обыкновенной (*pinus sylvestris* L.) // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 2(14). С. 8–13.

8. Мальшева В. И., Чернышов М. П. Выращивание сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой в Воронежской области // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Воронеж, 2020. С. 316–321.

9. Пастухова А. М., Третьякова Н. А. Выращивание сеянцев лиственницы сибирской на различных субстратах // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2021. Т. 24. С. 99–102.

10. Пинаев В. В., Пинаева Н. В. Рост и развитие сеянцев кедра на разных субстратах под полиэтиленовым укрытием // Проблемы кедра. Томск, 1992. Вып. 5. С. 38–43.

11. Решетникова О. В., Заречнев А. В. Особенности выращивания хвойных растений для лесовосстановления // Научные труды по агрономии. 2019. № 2 (2). С. 29–37.

12. Фетисова А. А. Отечественный и зарубежный опыт систем подготовки посадочного субстрата для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой // Сборник научных трудов совета молодых ученых СПбГЛТУ, 2021. С. 47–56.

13. Храмова О. Ю., Молодцов С. В. Выращивание сеянцев сосны кедровой сибирской с закрытой корневой

вой системой в закрытом грунте Семеновского спец-семлесхоза // Лесоводство Нижегородской области на рубеже веков : сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции. Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия. 2004. С. 192–197.

14. Шахар Йоси, Шалмон Эли. Структура кокосового субстрата – ключ к его качеству // ГАВРИШ, 2011. № 3. С. 26–28.

REFERENCES

1. Opyt vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy v Altayskom kraye [Elektronnyy resurs] / Anan'yev E. M., Zalesov S. V., Luganskiy N. A. i dr. // AVU. 2017. № 8 (162). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-vyrashchivaniya-posadochnogo-materiala-s-zakrytoy-kornevoy-sistemoy-v-altayskom-krae>.

2. Barayshchuk G. V., Tunik E. A. Vyrashchivaniye seyantsev sosny sibirskoy kedrovoy v usloviyakh Omskoy oblasti // Sostoyaniye i perspektivy razvitiya sadovodstva v Sibiri : materialy II Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii posvyashchennoy 85-letiyu plodovogo sada Omskogo GAU im. prof. A.D. Kizyurina, Omsk, 07–09 dekabrya 2016 goda. – Omsk: Omskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni P. A. Stolypina, 2016. S. 171–175.

3. Morfometricheskiye parametry seyantsev sosny s otkrytoy i zakrytoy kornevoy sistemoy / V. P. Besschetnov i dr. // Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2014. T. 4. S. 52–67.

4. Burtsev D. S. Zarubezhnyy opyt iskusstvennoy mikorizatsii seyantsev lesnykh drevesnykh porod s zakrytoy kornevoy sistemoy // Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva. 2014. № 1. S. 47–61.

5. Zhigunov A. V. Teoriya i praktika vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy dlya lesovosstanovleniya : avtorefer... dis. kan. s.-kh. nauk. SPb., 1998. 46 s.

6. Zabolotskikh P. V. Rost lesnykh kul'tur sosny obyknovennoy, sozdannykh razlichnym vidom posadochnogo materiala, v respublike Mariy El // Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i

praktika, Voronezh, 2015. T. 3. № 5-4 (16-4). S. 247–250.

7. Luginina L. I. Razvitiye sazhenstv s zakrytoy kornevoy sistemoy v usloviyakh lesosemennykh plantatsiy sosny obyknovennoy (pinus sylvestris L.) // Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2017. № 2(14). S. 8–13.

8. Malysheva V. I., Chernyshov M. P. Vyrashchivaniye seyantsev sosny obyknovennoy s zakrytoy kornevoy sistemoy v Voronezhskoy oblasti // Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. Voronezh, 2020. S. 316–321.

9. Pastukhova A. M., Tret'yakova N. A. Vyrashchivaniye seyantsev listvennitsy sibirskoy na razlichnykh substratakh // Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy. 2021. T. 24. S. 99–102.

10. Pinayev V. V., Pinayeva N. V. Rost i razvitiye seyantsev kedra na raznykh substratakh pod polietilennym ukrytiyem // Problemy kedra. Tomsk, 1992. Vyp. 5. S. 38–43.

11. Reshetnikova O. V., Zarechnev A. V. Osobennosti vyrashchivaniya khvoynnykh rasteniy dlya lesovosstanovleniya // Nauchnyye trudy po agronomii. 2019. № 2 (2). S. 29–37.

12. Fetisova A. A. Otechestvennyy i zarubezhnyy opyt sistem podgotovki posadochnogo substrata dlya vyrashchivaniya seyantsev s zakrytoy kornevoy sistemoy // Sbornik nauchnykh trudov soveta molodykh uchenykh SPBGLTU, 2021. S. 47–56.

13. Khranova O. Yu., Molodtsov S. V. Vyrashchivaniye seyantsev sosny kedrovoy sibirskoy s zakrytoy kornevoy sistemoy v zakrytom grunte Semenovskogo spetssemleskhoza // Lesovodstvo Nizhegorodskoy oblasti na rubezhe vekov : sbornik nauchnykh trudov po materialam nauchno-prakticheskoy konferentsii. Nizhegorodskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya. 2004. S. 192–197.

14. Shakhar Yosi, Shalmon Eli. Struktura kokosovogo substrata – klyuch k ego kachestvu // GAVRISH, 2011. № 3. S. 26–28.

© Братилова Н. П., Коротков А. А.,
Коновалова Д. А., 2022

Поступила в редакцию 20.01.2022
Принята к печати 01.09.2022

ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ФОРМА КРОН И ДЕРЕВЬЕВ В КЕДРОВЫХ ПЛАНТАЦИЯХ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

А. А. Вайс, Н. П. Братилова, П. Д. Барлекова

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

В настоящее время наблюдаются аномальные климатические процессы, которые влияют на лесные экосистемы. Одной из форм адаптации и отклика деревьев является их морфогенез. Цель исследования – установить закономерности в изменении формы кроны и деревьев в кедровых плантациях как отражение влияния внешних и внутренних факторов. Основой опытного материала являлись морфологические признаки деревьев кедра, отражающие горизонтальную структуру плантации: радиус кроны по сторонам света, диаметр ствола в двух направлениях на высоте 1,3 метра. Установлено, что на степень соответствия формы стволов и кроны деревьев оказывает влияние местоположение участка и степень смыкания кроны, как в рядах, так и между рядами. По мере роста и развития кедровых плантаций всё более значительную роль играют как внешние, так и внутренние факторы. В самой затенённой части кедровых плантаций (участки 3 и 4) выявлено максимальное число деревьев с круговой формой, как стволов, так и кроны. При этом на плантации «Метеостанция» в левой её части установлено почти в 2 раза больше деревьев с круговой формой (56 % и 32 %), что указывает на влияние дополнительных факторов, таких как происхождение посадочного материала, расстояние в рядах и между рядами и т. д. Кедровые плантации на большинстве участков вступили в стадию смыкания кроны, когда на рост и развитие деревьев помимо экзогенных факторов начинает оказывать влияние конкуренция за ресурсы. В данном случае морфогенез (форма кроны и форма поперечного сечения стволов деревьев) является отражением всей совокупности внешних и внутренних факторов.

Ключевые слова: кедр сибирский, диаметр ствола, радиус кроны, форма кроны и дерева.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 5, P. 353–360

HORIZONTAL FORM OF CROWN AND TREES IN CEDAR PLANTATIONS OF THE SUBURBAN ZONE OF KRASNOYARSK

A. A. Vais, N. P. Bratilova, P. D. Barlekova

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

Currently, abnormal climatic processes that affect forest ecosystems are observed. One of the forms of adaptation and response of trees is their morphogenesis. The purpose of the study is to establish patterns of the change in the shape of crowns and trees in cedar plantations as a reflection of the influence of external and internal factors. The basis of the experimental material was the morphological features of cedar trees, reflecting the horizontal structure of the plantations: crown radius to the cardinal points, trunk diameter in two directions at a height of 1.3 meters. It has been established that the degree of conformity of the shape of trunks and crowns of trees is influenced by the location of the site and the degree of closing of crowns both in rows and between rows. With the growth and development of cedar plantations, both external and internal factors play an increasingly significant role. In the most shaded part of the cedar plantations (plots 3 and 4), the maximum number of trees with a circular shape of both trunks and crowns was revealed. At the same time, almost 2 times more trees with a circular shape (56 % and 32 %) were installed on the plantation “Meteostantsiya” in its left part, which indicates the influence of additional factors, such as the origin of planting material, the distance in the rows and between rows, etc. The cedar plantations in most areas have entered the stage of crown closing, when, in addition to exogenous factors, competition for resources begins to influence the growth and development of trees. In this case, morphogenesis (the shape of crowns and the shape of the cross section of tree trunks) is a reflection of the totality of both external and internal factors.

Keywords: *pinus sibirica*, diameter of trunk, crown radius, shape of crown and tree.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдаются диффузные (неравномерные) климатические процессы, которые влияют на лесные экосистемы. Искусственные план-

тации формируются и развиваются в условиях выраженного экзогенного воздействия. В этой связи одной из форм адаптации и отклика деревьев является их морфогенез. При этом, если говорить об эндогенных

процессах, отражением влияния будет являться в большей степени вертикальная структура участка. В случае экзогенных процессов именно горизонтальная структура плантаций отражает воздействие инсоляции, осадков, температурных лимитов и т. д.

В научной литературе [1; 2] приводятся данные о форме вертикальной и горизонтальной проекций крон, их изменениях в зависимости от таксационных характеристик древостоев. Размер кроны в значительной степени коррелирует с ростом отдельных структур дерева и биомассы в целом [3]. Актуальность исследования формы поперечного сечения деревьев обусловлена необходимостью рационального использования древесного ресурса, а также может отражать условия местопроизрастания [4; 5]. Форма крон указывает на высокую адаптивную способность к условиям среды и светолюбие вида [6].

С. А. Шавнин и др. [7] предложили комплексную методику оценки формы ствола и кроны на основе кривизны ствола, многоствольности, многовершинности, сучковатости и охвоения. Метод позволяет установить разные уровни отклонения от нормального морфогенеза.

В. Н. Глухих, А. Г. Черных [8] констатируют, что эллипсоидная форма сечений ствола свойственна деревьям с несимметричной кроной. При этом господствующая ветровая нагрузка влияет в значительной степени на форму ствола.

Таким образом, форма кроны и поперечного сечения стволов деревьев искусственных насаждений отражают комплекс внешних факторов окружающей среды.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель исследования – установить закономерности в изменении формы крон деревьев в кедровых плантациях как отражение влияния внешних и внутренних факторов.

Изученные плантации созданы под руководством профессора Р. Н. Матвеевой [9] на территории Карaulьного участкового лесничества Учебно-опытного лесхоза СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Участки под номерами 1-3 относятся к плантации «Известковая», под номерами 4-5 расположены на плантации «Метеостанция».

Участок № 1 представляет собой плантацию кедрового сибирского площадью 3 га, созданного в 1989 году по схеме 3,5×3,5 м сеянцами различной формовой принадлежности. На участке отмечена хорошая освещенность. Живой напочвенный покров (ЖНП) представлен горошком мышиным (*Vicia eracca L.*), вейником наземным (*Calamagrostis epigejos*), нивяником обыкновенным (*Leucanthemum vulgare*), лютиком едким (*Ranunculus acris*) и клевером луговым (*Trifolium pratense*).

Участок № 2 – первая часть плантации, созданной посадочным материалом кедровых сосен разного географического происхождения в 1983 году по схеме 5×5 м. Наблюдается высокая сомкнутость крон в рядах, у деревьев отмечается отмирание нижней части кроны. В живой напочвенный покров входит хвощ полевой (*Equisetum arvense L.*), зеленый мох

(*Ctenidium molluscum*), клевер луговой (*Trifolium pratense L.*), костяника каменистая (*Rubus saxatilis*), лютик едкий (*Ranunculus acris*), вейник наземный (*Calamagrostis epigejos*). Участок № 3 – вторая часть этой плантации, граничит со стеной соснового древостоя. Наблюдается сомкнутость крон в рядах. ЖНП: земляника лесная (*Fragaria vesca L.*), кипрей узколистный (*Chamerion angustifolium L.*), костяника каменистая (*Rubus saxatilis*), лютик едкий (*Ranunculus acris*), горошек однопарный (*Vicia unijuga A. Br.*). Общая площадь плантации составляет 6,0 га.

Участок № 4 представляет часть гибридно-семенной плантации кедровых сосен разного географического происхождения, граничит со стеной соснового древостоя. Участок № 5 – продолжение той же гибридно-семенной плантации. Плантация заложена в 1979 году по схеме 5×5 м, общая площадь составляет 8 га. В рядах и междурядьях наблюдается сомкнутость крон деревьев. Живой напочвенный покров представлен земляникой лесной (*Fragaria vesca L.*), осочкой лесной (*Carex sylvatica Huds.*), костяникой каменистой (*Rubus saxatilis*), горошком мышиным (*Vicia eracca L.*), горошком однопарным (*Vicia unijuga A. Br.*), подорожником средним (*Plantago media L.*), ландышем майским (*Convallaria majalis L.*), нивяником обыкновенным (*Leucanthemum vulgare*), хвощом полевым (*Equisetum arvense L.*), кипреем узколистным (*Chamerion angustifolium L.*).

У каждого дерева измерены радиусы крон по сторонам света (север, юг, запад, восток) и диаметр ствола в двух направлениях (север-юг и запад-восток). На основании этих данных получены значения диаметра крон в направлениях север-юг и запад-восток, путем суммирования радиуса крон по исходным сторонам света.

Для оценки формы стволов использовался упрощенный способ. Одним из самых простых методов оценки формы является абсолютная разница в диаметре ствола по двум направлениям (север-юг и запад-восток):

$$\Phi C = ABS(d_{1,3(с\text{ю})} - d_{1,3(з\text{в})}), \quad (1)$$

где ΦC – разница в диаметре ствола дерева по двум измеренным направлениям, см; $d_{1,3(с\text{ю})}$ – диаметр ствола в направлении север-юг, см; $d_{1,3(з\text{в})}$ – диаметр ствола в направлении запад-восток, см.

Оценка формы поперечного сечения ствола дерева производилась по следующей шкале (ΦC): 0–0,5 см – круговая; 0,6–1,5 см – эллипсоидная; 1,6 см и выше – неправильная.

Для оценки формы кроны применялся аналогичный принцип, что и при оценке формы диаметра ствола:

$$\Phi K = ABS(d_{(с\text{ю})} - d_{(з\text{в})}), \quad (2)$$

где ΦK – разница в диаметре кроны по двум измеренным направлениям, м; $d_{(с\text{ю})}$ – диаметр кроны в направлении север-юг, м; $d_{(з\text{в})}$ – диаметр кроны в направлении запад-восток, м.

Оценка формы поперечного сечения ствола дерева производилась по следующей шкале (ΦK): 0–0,5 м – круговая; 0,6–1,5 м – эллипсоидная; 1,6 м и выше – неправильная.

Для более достоверной оценки горизонтальной проекции формы стволов деревьев и их крон (круговая, эллипсовидная, неправильная) выполнена визуализация их размеров на горизонтальной поверхности.

Обработка данных производилась в электронной таблице Excel с помощью пакета «Анализ данных», процедура «Описательная статистика».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основой обработки материала являлись морфологические признаки деревьев кедров сибирского, отражающие горизонтальную структуру плантаций: радиусы крон по сторонам света, диаметр ствола в двух направлениях на высоте 1,3 м. Результаты статистического анализа радиусов крон представлены в табл. 1.

Таблица 1
Статистические показатели радиуса крон деревьев по сторонам света

Статистики	С	Ю	В	З
Участок № 1				
Среднее, м	2,8±0,07	2,8±0,07	2,8±0,05	2,8±0,06
Стандартное отклонение, м	0,49	0,5	0,38	0,43
Эксцесс	0,81	-0,26	0,55	0,24
Асимметрия	-0,25	0,33	0,04	-0,02
Интервал, м	2,6	2,2	2	2,1
Минимум, м	1,5	1,8	1,7	1,8
Максимум, м	4,1	4	3,7	3,9
Участок № 2				
Среднее, м	2,9±0,08	2,9±0,07	2,9±0,06	2,8±0,05
Стандартное отклонение, м	0,54	0,49	0,46	0,38
Эксцесс	4,76	1,47	2,97	0,66
Асимметрия	0,71	-0,47	-1,04	-0,58
Интервал, м	3,5	2,7	2,6	1,7
Минимум, м	1,5	1,3	1,2	1,8
Максимум, м	5	4	3,8	3,5
Участок № 3				
Среднее, м	2,6±0,09	2,6±0,09	2,6±0,08	2,6±0,08
Стандартное отклонение, м	0,52	0,55	0,48	0,45
Эксцесс	-0,37	-0,19	0,81	-0,58
Асимметрия	-0,52	-0,63	-0,91	-0,32
Интервал, м	2,1	2,2	2,1	1,8
Минимум, м	1,5	1,2	1,3	1,7
Максимум, м	3,6	3,4	3,4	3,5
Участок № 4				
Среднее, м	2,8±0,06	2,8±0,08	2,8±0,06	2,8±0,08
Стандартное отклонение, м	0,46	0,59	0,45	0,6
Эксцесс, м	1,39	-0,02	0,53	0,14
Асимметрия	-0,17	0,49	0,52	0,42
Интервал, м	2,6	2,6	2,1	2,6
Минимум, м	1,4	1,7	1,9	1,6
Максимум, м	4	4,3	4	4,2
Участок № 5				
Среднее, м	2,6±0,08	2,7±0,08	2,7±0,07	2,6±0,07
Стандартное отклонение, м	0,58	0,55	0,49	0,49
Эксцесс	0,69	1,74	6,76	2,06
Асимметрия	-0,5	0,53	-1,96	-1,05
Интервал, м	3,0	2,9	2,8	2,5
Минимум, м	1	1,5	0,5	1
Максимум, м	4	4,4	3,3	3,5

Примечание. Статистические оценки получены при уровне доверительной вероятности $p = 0,954$.

Участок № 1. Различия по среднему радиусу кроны не выявлено. Средний радиус кроны по всем сторонам света – 2,8 м. Медианные величины и моды практически не отличаются от средней величины, различия составляют 0,1–0,2 м. Анализ формы распределения показывает, что в направлении север и

запад наблюдается незначительная левосторонняя асимметрия ($< 0,5$), в направлении юг и восток установлено незначительное правостороннее смещение. Эксцессивное распределение выявлено в направлении север, восток, запад. В направлении восток, запад эксцессивность незначительная, а в направлении се-

вер распределение эксцессивное ($> 0,5$). В южном направлении распределение носит депрессивный и незначительный характер.

Участок № 2. Различие по среднему радиусу кроны не выявлено. Средний радиус кроны в направлениях север, юг, восток – 2,9 м; в направлении запад – 2,8 м. Медианные величины и моды практически не отличаются от средней величины, различия составляют 0,1–0,2 м. Анализ формы распределения показывает, что в направлении юг наблюдается незначительная левосторонняя асимметрия ($< 0,5$), в направлении запад средняя левосторонняя асимметрия, в направлении восток крайне асимметричное левостороннее смещение, а в северном направлении среднее правостороннее смещение. Эксцессивное распределение выявлено в направлении север, юг, восток, запад.

Участок № 3. Различие по среднему радиусу кроны не выявлено. Средний радиус кроны по всем сторонам света – 2,6 м. Медианные величины и моды практически не отличаются от средней величины, различия составляют 0,2–0,5 м. Анализ формы распределения показывает, что в направлении запад наблюдается незначительная левосторонняя асимметрия ($< 0,5$), в направлении север, юг и восток выявлено среднее левостороннее смещение. Эксцессивное распределение установлено в направлении восток. В направлении север, юг наблюдается незначительная депрессивность, а в направлении запад распределение депрессивное ($> 0,5$).

Участок № 4. Различие по среднему радиусу кроны не выявлено. Средний радиус кроны по всем сторонам света – 2,8 м. Медианные величины и моды практически не отличаются от средней величины,

различия составляют 0,1–0,4 м. Анализ формы распределения показывает, что в направлении юг и запад наблюдается незначительная правосторонняя асимметрия ($< 0,5$). В направлении восток установлено среднее правостороннее смещение, а в направлении север незначительная левосторонняя асимметрия. Эксцессивное распределение выявлено в направлении север, восток, запад. В направлении запад эксцессивность незначительная, а в направлении север, восток распределение эксцессивное ($> 0,5$). В южном направлении распределение носит депрессивный и незначительный характер.

Участок № 5. Различие по среднему радиусу кроны не выявлено. Средний радиус кроны в направлении север, запад – 2,6 м; в направлении юг, восток – 2,7 м. Медианные величины и моды практически не отличаются от средней величины, различия составляют 0,1–0,4 м. Анализ формы распределения показывает, что в направлении север наблюдается незначительная левосторонняя асимметрия ($< 0,5$). В направлении юг выявлено среднее правостороннее смещение, а на восток и запад крайне асимметричное левостороннее распределение. Эксцессивное распределение наблюдалось в направлении север, юг, восток, запад.

Изменчивость признака на всех участках характеризуется как значительная, при этом объем данных достаточен для получения достоверных средних значений, поскольку точность опыта не превысила 5 %.

На следующем этапе произведено статистическое описание диаметра ствола кедровых деревьев в направлениях север, юг, запад, восток. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2
Статистические показатели диаметра стволов кедра сибирского на высоте 1,3 м

Статистики	СЮ	ЗВ
Участок № 1		
Среднее, см	29,6±0,74	29,2±0,74
Стандартное отклонение, см	5,28	5,26
Эксцесс	1,49	1,00
Асимметрия	-1,03	-1,01
Интервал, см	25,7	22,9
Минимум, см	14,0	14,0
Максимум, см	39,7	36,9
Участок № 2		
Среднее, см	27,4±0,71	27,7±0,79
Стандартное отклонение, см	5,00	5,55
Эксцесс	1,00	0,85
Асимметрия	-0,56	-0,32
Интервал, см	24,9	30,1
Минимум, см	12,3	12,7
Максимум, см	37,2	42,8
Участок № 3		
Среднее, см	24,7±1,05	24,6±1,08
Стандартное отклонение, см	6,32	6,45
Эксцесс	-1,09	-0,96
Асимметрия	-0,13	0,01
Интервал, см	22,3	22,9
Минимум, см	13,0	13,0
Максимум, см	35,3	35,9

Окончание таблицы 2

Статистики	СЮ	ЗВ
Участок № 4		
Среднее, см	26,6±0,96	27±0,99
Стандартное отклонение, см	6,78	6,97
Эксцесс	-0,77	-0,92
Асимметрия	-0,07	-0,19
Интервал, см	26,5	25,9
Минимум, см	14,0	13,8
Максимум, см	40,5	39,7
Участок № 5		
Среднее, см	29,2±0,85	28,9±0,79
Стандартное отклонение, см	6,06	5,64
Эксцесс	1,45	1,01
Асимметрия	-0,38	-0,93
Интервал, см	33,5	25,8
Минимум, см	12,6	12,2
Максимум, см	46,1	38,0

Примечание. Статистические оценки получены при уровне доверительной вероятности $p = 0,954$.

Участок № 1. Различия по среднему диаметру стволов не установлены. Средний диаметр ствола в направлении север-юг – 29,6 см, а в направлении запад-восток – 29,2 см. Различия средней величины от моды и медианой величины составляют 1–1,3 см. Анализ формы распределения показывает, что в направлении север-юг и запад-восток крайне асимметричное левостороннее распределение. Эксцессивное распределение установлено в направлении север-юг и запад-восток.

Участок № 2. Различия по среднему диаметру стволов не установлены. Средний диаметр ствола в направлении север-юг – 27,4 см, а в направлении запад-восток 27,7 см. Различия средней величины от моды и медианой величины составляют 0,2–3,9 см. Анализ формы распределения показывает, что в направлении запад-восток наблюдается незначительная левосторонняя асимметрия, в направлении север-юг асимметричное левостороннее распределение. Эксцессивное распределение выявлено в направлении север-юг и запад-восток.

Участок № 3. Различия по среднему диаметру стволов не установлены. Средний диаметр ствола в направлении север-юг – 24,7 см, а в направлении запад-восток – 24,6 см. Различия средней величины от моды и медианой величины составляют 0,6–6,7 см. Анализ формы распределения показывает, что в направлении север-юг наблюдается незначительная левосторонняя асимметрия, в направлении запад-восток незначительное правостороннее распределение. Депрессивное распределение выявлено в направлении север-юг и запад-восток.

Участок № 4. Различия по среднему диаметру стволов не выявлены. Средний диаметр ствола в направлении север-юг – 26,6 см, а в направлении запад-восток – 27,0 см. Различия средней величины от моды и медианой величины составляют 1,4–7,0 см. Анализ формы распределения показывает, что в направлении север-юг и запад-восток наблюдается незначительная левосторонняя асимметрия. Депрессивное распреде-

ление установлено в направлении север-юг и запад-восток.

Участок № 5. Различия по среднему диаметру стволов не выявлены. Средний диаметр ствола в направлении север-юг – 29,2 см, а в направлении запад-восток – 28,9 см. Различия средней величины от моды и медианой величины составляют 0,6–3,8 см. Анализ формы распределения показывает, что в направлении север-юг наблюдается незначительная левосторонняя асимметрия, в направлении запад-восток среднее левостороннее распределение. Эксцессивное распределение выявлено в направлении север-юг и запад-восток.

Изменчивость признака характеризуется как значительная, точность опыта не превысила 5 %, поэтому объем данных достаточен для получения достоверных средних значений.

Результаты оценки формы стволов деревьев представлены в табл. 3.

Данные табл. 3 показывают, что больше всего деревьев с круговой формой стволов наблюдалось на участках 3 и 4 (52,8–56,0 %). Вторая группа местоположений, схожих по количеству деревьев круговой формы стволов, это участки 1 (39,2 %), 2 (36,0 %) и 5 (32,0 %). Причины такого распределения установить достаточно сложно, но, возможно, это преобладающее влияние светового фактора.

Для эллипсоидной формы стволов картина следующая: схожий процент деревьев выявлен на участках 3 (27,8 %) и 5 (30,0 %), а также участках 1 (19,6 %) и 2 (22 %), где данные близки. Меньше всего деревьев, имеющих эллипсоидную форму стволов, установлено на участке 4 (14 %).

Развитие неправильной формы ствола обусловлено как биотическими, так и абиотическими причинами. Процент таких деревьев может косвенно указывать на не совсем благоприятные условия их произрастания. Для деревьев неправильной формы ствола выявлены следующие закономерности: близкий процент деревьев на участках 1, 2 и 5 (41,2–42,0 – 40,0 % соответственно), меньший процент деревьев отмечен на участ-

ке 4 (30,0 %) и минимальное их число встречается на участке 3 (19,4 %).

Результаты оценки формы крон деревьев представлены в табл. 4. Значительный процент деревьев, имеющих круговую форму кроны, выявлен на участках 3 и 4 (86,1 – 80,0 %). Вторая группа участков имела схожие показатели по количеству деревьев круговой формы (1 – 78,5 %, 2 – 74,0 %, 5 – 74,0 %).

Высокая представленность деревьев с эллипсовидной формой кроны отмечена на участке 5 (16,0 %), близкий процент установлен на участках 1 и 2 (13,7 – 12,0 %). Меньшее количество деревьев с данной формой кроны выявлено на участках 3 (11,1 %) и 4 (10,0 %).

Одинаковый процент деревьев с неправильной формы кроны наблюдался на участках 4 и 5 (по 10,0 %), несколько меньше деревьев произрастает на участке 1 (7,8 %) и наименьшая представленность отмечена на участках 2 и 3 (4,0 – 2,8 %).

На расположение кроны по отношению к сторонам света в значительной мере оказывает влияние размещение её в рядах или междурядьях, орографическое положение плантации и другие факторы. Помимо определения отдельно формы крон и стволов деревьев, устанавливалось соответствие развития крон и диаметров стволов друг другу у каждого дерева отдельно. Выявленные соотношения форм крон и стволов деревьев представлены в табл. 5.

Необходимо отметить, что первоначально при одиночном росте и развитии дерева с высокой долей вероятности наблюдается соответствие горизонтальной формы ствола и кроны. В данный момент времени на большинстве участков установлено смыкание крон, как в рядах, так и между рядами, что влияет на форму кроны. Данные таблицы показывают, что кроме фактора смыкания (участок 2, соответствие 66,7 %) на степень соответствия влияет местоположение (участки 1, 3 на плантации «Известковая» – 82,4 – 83,3 %; участки 4 и 5 на плантации «Метеостанция» – 72,5 – 74,0 %).

Таблица 3
Оценка формы стволов деревьев в кедровых плантациях

Название	Форма ствола		
	круговая	эллипсовидная	неправильная
Участок № 1			
n	20	10	21
%	39,2	19,6	41,2
Участок № 2			
n	18	11	21
%	36,0	22,0	42,0
Участок № 3			
n	19	10	7
%	52,8	27,8	19,4
Участок № 4			
n	28	7	15
%	56,0	14,0	30,0
Участок № 5			
n	16	15	20
%	32,0	30,0	40,0

Таблица 4
Оценка формы крон деревьев в кедровых плантациях

Название	Форма кроны		
	круговая	эллипсовидная	неправильная
Участок № 1			
n	40	7	4
%	78,5	13,7	7,8
Участок № 2			
n	36	12	2
%	74,0	12,0	4,0
Участок № 3			
n	31	4	1
%	86,1	11,1	2,8
Участок № 4			
n	40	5	5
%	80,0	10,0	10,0
Участок № 5			
n	37	8	5
%	74,0	16,0	10,0

Таблица 5
Соотношение форм стволов и крон деревьев

Номер участка	Соответствие формы ствола на высоте 1,3 метра форме кроны, %	
	соответствует	не соответствует
1	82,4	17,6
2	66,7	33,3
3	83,3	16,9
4	74,0	26,0
5	72,5	27,5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получен ряд выводов применительно к кедровым плантациям в условиях подтаёжно-лесостепного района Средней Сибири.

– При статистической обработке биометрических показателей радиуса крон, диаметров стволов деревьев различий в средних значениях не установлено. Изменчивость признаков характеризуется как значительная вариабельность.

– Преобладание деревьев с круговой формой кроны выявлено на участках 3 и 4 (86,1 – 80 %), эллипсоидной формы – на участке 5 (16,0 %). Для неправильной формы установлен одинаковый процент деревьев на участках 4 и 5 (10,0 %), меньшее количество деревьев на участке 1 (7,8 %); минимальное – на участках 2 и 3 (4,0 – 2,8 %). Высокий процент количества деревьев, имеющих круговую форму ствола, выявлено на участках 3 и 4 (52,8 – 56,0 %), эллипсоидную форму – на участке 3 и 5 (27,8 – 30,0 %). Для деревьев с неправильной формой ствола близкий процент наблюдался на участках 1 и 2 (41,2 – 42,0 %).

– Установлено, что на степень соответствия формы стволов и крон деревьев оказывает влияние местоположение участка и степень смыкания крон, как в рядах, так и между рядами.

– По мере роста и развития кедровых плантаций всё более значительную роль играют как внешние, так и внутренние факторы. В частности световой фактор, конкуренция за ресурсы оказывают влияние на форму крон и диаметров стволов деревьев кедра сибирского. В самой затенённой части кедровых плантаций (участки 3 и 4) выявлено максимальное число деревьев с круговой формой стволов и крон. При этом на плантации «Метеостанция» в левой её части установлено почти в 2 раза больше деревьев с круговой формой ствола (56,0 % в сравнении с 32,0 %), что может указывать на влияние дополнительных факторов (происхождение посадочного материала, густота и др.). По форме крон наблюдается стабильное число деревьев с круговой формой на всех плантациях (74,0 – 86,1 %).

Таким образом, можно констатировать, что кедровые плантации на большинстве изученных участках вступили в стадию смыкания крон, когда на рост и развитие деревьев помимо экзогенных факторов начинают оказывать влияние конкуренция за ресурсы. В данном случае морфогенез (форма крон и форма поперечного сечения стволов деревьев) является отражением всей совокупности как внешних, так и внутренних факторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Coonen E. J., Sillett S. C. Separating Effects of Crown Structure and Competition for Light on Trunk Growth of *Sequoia sempervirens* // *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 358. Pp. 26–40. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.08.035.

2. Fisher A., Scarth P., Armston J., Danaher T. Relating Foliage and Crown Projective Cover in Australian Tree Stands // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2018. Vol. 259. Pp. 39–47. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.04.016.

3. Sharma R. P., Bilek L., Vacek Z., Vacek S. Modelling Crown Width-Diameter Relationship for Scots Pine in the Central Europe // *Trees*, 2017. Vol. 31. Iss. 6. Pp. 1875–1889. DOI: 10.1007/s00468-017-1593-8.

4. Вайс А. А. Влияние местоположения насаждений на форму нижней части деревьев в условиях Восточно-Саянского горно-таежного района // *Лесная таксация и лесоустройство*. 2013. № 2 (50). С. 32–36.

5. Вайс А. А., Горошко А. А. Форма поперечного сечения деревьев сосны обыкновенной (*pinus silvestris* L.) с учетом типологической структуры в условиях южной части Средней Сибири // *Хвойные бореальной зоны*. 2014. № 1-2. Т. 32. С. 49–51.

6. Казакова Н. Л., Антонова И. С. Форма кроны *Araucaria araucana (molina) k.koch* в разных возрастных состояниях и экологических условиях естественных местообитаний // *Вестник Тверского государственного университета*. 2015. № 3. С. 135–153.

7. Оценка формы ствола и кроны сосны обыкновенной по комплексу морфологических признаков / С. А. Шавнин, И. С. Овчинников, А. А. Монтиле, Д. Ю. Голиков // *Лесоведение*. 2019. № 1. С. 64–74.

8. Глухих В. Н., Черных А. Г. Обоснование овалности формы сечений стволов деревьев при их росте с наклоном // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2020. № 5 (377). С. 166–175.

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

REFERENCES

1. Coonen E. J., Sillett S. C. Separating Effects of Crown Structure and Competition for Light on Trunk Growth of *Sequoia sempervirens* // *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 358. Pp. 26–40. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.08.035.

2. Fisher A., Scarth P., Armston J., Danaher T. Relating Foliage and Crown Projective Cover in Australian Tree Stands // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2018.

Vol. 259. Pp. 39–47. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.04.016.

3. Sharma R. P., Bílek L., Vacek Z., Vacek S. Modeling Crown Width-Diameter Relationship for Scots Pine in the Central Europe // *Trees*. 2017. Vol. 31, iss. 6. Pp. 1875–1889. DOI: 10.1007/s00468-017-1593-8.

4. Vajs A. A. Vliyanie mestopolozheniya nasazhdenij na formu nizhnej chasti derev`ev v usloviyakh Vostochno-Sayanskogo gorno-taezhnogo rajona // *Lesnaya taksacziya i lesoustrojstvo*, 2013. № 2 (50). S. 32–36.

5. Vajs A. A., Goroshko A. A. Forma poperechnogo secheniya derev`ev sosny` oby`knovennoj (pinus silvestris l.) s uchetom tipologicheskoy struktury` v usloviyakh yuzhnoj chasti Crednej Sibiri // *Khvojny`e boreal`noj zony`*, 2014. № 1-2. T. 32. S. 49–51.

6. Kazakova N. L., Antonova I. S. Forma krony` Araucaria araucana (molina) k.koch v razny`kh vozrastny`kh sostoyaniyakh i e`kologicheskikh uslovi-

yakh estestvenny`kh mestoobitanij // *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015. № 3. S. 135–153.

7. Oczenka formy` stvola i krony` sosny` oby`knovennoj po kompleksu morfologicheskikh priznakov / S. A. Shavnin, I. S. Ovchinnikov, A. A. Montile, D. Yu. Golikov // *Lesovedenie*. 2019. № 1. S. 64–74.

8. Glukhikh V. N., Cherny`kh A. G. Obosnovanie oval`nosti formy` sechenij stvolov derev`ev pri ikh roste s naklonom // *Izvestiya vy`sshikh uchebny`kh zavedenij. Lesnoj zhurnal*, 2020. № 5 (377). S. 166–175.

9. Matveeva R. N., Butorova O. F. Kollekcija kedrovyyh sosen raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya na opytnyyh uchastkakh SibGTU : spravochno-uchebnoe posobie. Krasnoyarsk : SibGTU, 2007. 68 s.

© Вайс А. А., Братилова Н. П.,
Барлекова П. Д., 2022

Поступила в редакцию 14.10.2022
Принята к печати 01.09.2022

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ (PINUS SIBIRICA DU TOUR) НА ПРОЦЕССЫ ФОТОСИНТЕЗА И ТРАНСПИРАЦИИ

А. П. Глинушкин¹, С. М. Хамитова¹, Н. А. Бабич², Е. В. Думачева³,
Р. С. Хамитов⁴, Е. И. Федченко¹, А. С. Пестовский¹, А. П. Сметанников¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
Российская Федерация, 143050, Московская область, Одинцовский район,
р. п. Большие Вяземы, ул. Институт, владение 5
E-mail: xamitowa.sveta@yandex.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова
Российская Федерация, 163002, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 17

³Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса
Российская Федерация, 141055, Московская область, г. Лобня, Научный городок, корп. 1

⁴Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина
Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2

Исследовали влияние условий произрастания сосны кедровой сибирской (Pinus sibirica Du Tour) на процессы фотосинтеза и транспирации. Выявили прямую зависимость между уменьшением интенсивности света и снижением скорости фотосинтеза, и обратную зависимость между уменьшением интенсивности света и скоростью транспирации у образцов, произрастающих в фитотроне. У образцов, произрастающих в естественных условиях, выявлена параболическая зависимость между интенсивностью света и скоростью фотосинтеза и транспирации. При изучении влияния содержания CO₂ в воздухе на скорость фотосинтеза у всех образцов наблюдается прямая зависимость: при снижении содержания CO₂ в воздухе отмечается снижение скорости фотосинтеза, при повышении содержания CO₂ наблюдается увеличение скорости фотосинтеза. При исследовании изменения скорости транспирации от содержания CO₂ четкой зависимости не выявлено.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, фотосинтез, транспирация, интенсивность света, содержание CO₂.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 5, P. 361–368

INFLUENCE OF THE GROWING CONDITIONS OF SIBERIAN CEDAR PINE (PINUS SIBIRICA) ON THE PROCESSES OF PHOTOSYNTHESIS AND TRANSPIRATION

A. P. Glinushkin¹, S. M. Khamitova¹, N. A. Babich², E. V. Dumacheva³,
R. S. Khamitov⁴, E. I. Fedchenko¹, A. S. Pestovsky¹, A. P. Smetannikov¹

¹All-Russian Research Institute of Phytopathology
5, possession, Institute str., Bolshye Vyazemy settlement, Odintsovo district,
Moscow region, 143050, Russian Federation
E-mail: xamitowa.sveta@yandex.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov
17, Severnaya Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

³All-Russian Williams Fodder Research Institute
build. 1, Scientific town, Lobnya, Moscow region, 141055, Russian Federation

⁴Vologda State Dairy Farming Academy by N. V. Vereshchagin
2, Schmidt str., Molochnoye village, Vologda, 160555, Russian Federation

The influence of the growing conditions of Siberian cedar pine (Pinus sibirica) on the processes of photosynthesis and transpiration was investigated. A direct relationship was revealed between a decrease in light intensity and a decrease in the rate of photosynthesis, and an inverse relationship between a decrease in light intensity and the rate of transpiration in samples growing in phytotron. A parabolic relationship between the intensity of light and the rate of photosynthesis and transpiration was revealed in samples growing in natural conditions. When studying the effect of the CO₂ content in the air on the photosynthesis rate, a direct relationship is observed in all samples: with a decrease in the CO₂ content in the air, a decrease in the photosynthesis rate is observed, with an increase in the CO₂ content, an increase in the photosynthesis rate is observed. The study of the change in the transpiration rate from the CO₂ content did not reveal a clear dependence.

Keywords: Siberian cedar pine, photosynthesis, transpiration, light intensity, CO₂ content.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования по изучению сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica Du Tour*) проводятся с середины XX века (Бобров, 1982, Путенихина, Путенихин, 2015). Большое количество исследований проведено в Сибири и на Урале (Маштаков, 2016; Андреева, Терехов и др. 2019; Рыль 2020).

Р. Н. Матвеева, О. Ф. Буторова и Н. П. Братилова (2001, 2007, 2014, 2020, 2021, 2022) проводили, начиная с 1960-х годов, длительные исследования по изучению сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica Du Tour*) в условиях Красноярского края. Изучались структура фитомассы, урожайность, особенности роста и изменчивость семян, а также деревьев разного возраста.

Проводились исследования по возможности интродукции сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica Du Tour*) в европейской части России. Такие работы выполнены в Московской области (Белинский, 2015), Воронежской области (Левин, 2021) Вологодской области (Хамитов, Хамитова, 2013; Хамитов, Бабич, Дроздов, 2016). В условиях интродукции в основном изучались особенности семенного и посадочного материала, всхожесть и приживаемость.

Изучением фотосинтеза и транспирации у хвойных пород деревьев занимались С. Н. Сенькина (2009), А. В. Соколов, В. К. Болондинский (2020). С. Н. Сенькиной представлены результаты многолетних исследований транспирации и устьичного сопротивления хвои сосны обыкновенной в древостоях разного состава. Охарактеризованы сезонная и дневная динамика параметров, рассмотрены их изменения в хвое разного возраста в зависимости от ее нахождения в кроне дерева. А. В. Соколов и В. К. Болондинский провели моделирование устьичной, мезофильной и биохимической регуляции фотосинтеза сосны обыкновенной на основе экспериментальных данных. На основе построенной модели проведены расчеты ассимиляции CO₂ лесными экосистемами и показателя эффективности использования воды растениями WUE (Water Use Efficiency).

О. Г. Бендером (2019) проведен анализ сезонной динамики состояния фотосинтетического аппарата и особенностей водного обмена вегетативного потомства кедра сибирского (*Pinus sibirica Du Tour*) и кедрового стланика (*Pinus pumila (Pall.) Regel*) в условиях юга Западной Сибири. Установлена видовая и сезонная специфика содержания фотосинтетических пигментов, показателей флуоресценции хлорофилла, содержания свободной и связанной воды в подснежной и надснежной хвое. Показана большая пластичность кедра сибирского при адаптации к низким температурам в зимний период.

Также О. Г. Бендер (2017) изучал особенности фотосинтетической активности хвои кедра сибирского на северном пределе произрастания. Он сделал вывод, что фотосинтез хвои кедра сибирского активно протекает при низких значениях фотосинтетически активной радиации (ФАР). Увеличение температуры вызывает значительное падение поглощения CO₂. Так как температурный оптимум фотосинтеза растений закреплен генетически, можно предположить, что поте-

пление климата отрицательно повлияет на северные популяции кедра сибирского, вызывая снижение интенсивности фотосинтеза и продуктивности коренных кедровых лесов.

Изучением влияния условий произрастания на интенсивность процессов фотосинтеза и транспирации кедра сибирского (*Pinus sibirica Du Tour*) в условиях Московской области еще никто не занимался. Поэтому данное исследование является актуальным.

Цель – исследовать влияние условий произрастания сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica Du Tour*) на процессы фотосинтеза и транспирации.

Задачи:

– определить скорость фотосинтеза и скорость транспирации саженцев сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica Du Tour*), произрастающих в естественных климатических условиях, при изменении интенсивности света и содержания CO₂;

– определить скорость фотосинтеза и скорость транспирации саженцев сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica Du Tour*), произрастающих в фитотроне, при изменении интенсивности света и содержания CO₂.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования являются пятилетние саженцы сосны кедровой сибирской.

Кедр сибирский, или сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica Du Tour*) – дерево, относящееся к семейству Сосновые (*Pinaceae*). Кедр сибирский – дерево первой величины, способное достигать 40–50 м высоты и 1,5–2 м в диаметре (Смолоногов, Залесов, 2002).

Взрослые растения на свободе обычно имеют мощную овальную или конусовидную раскидистую крону. Хвоя, собрана в пучки по пять штук и сидит на брахибластах. Хвоя темно-зеленая, плотная длиной от 5 до 13 см, шириной 0,8–1,2 мм. В поперечном разрезе она имеет трёхгранную форму.

Протяженные, густоохвоенные кроны и цвет хвои свидетельствуют о теневыносливом качестве кедра. Кедр одно из самых медленнорастущих лесобразующих пород, при этом довольно успешно переносит затенение в молодом возрасте. Экспериментально показано, что саженцы кедра успешнее растут при их затенении на 20 %. Однако при более интенсивном затенении отмечается снижение ростовых процессов и работоспособность хлорофилла (Бабич, Хамитов, Хамитова, 2014).

На интенсивность фотосинтеза решающее влияние оказывают: свет, температура, влажность почвы, содержание в воздухе углекислоты, уровень снабжения элементами минерального питания и некоторые другие внешние факторы. Одни из указанных факторов, например освещенность и снабжение CO₂, действуют на фотосинтез прямо, другие – содержание воды и минеральных элементов в почве – нередко опосредованно, через воздействие на другие физиологические процессы.

Для большинства растений прямая зависимость интенсивности фотосинтеза от интенсивности света

проявляется лишь при сравнительно небольшой величине последнего. В дальнейшем при повышении освещенности прирост фотосинтеза становится все меньше и меньше, и, наконец, кривая фотосинтеза переходит на плато. Это состояние, называемое световым насыщением, свидетельствует о том, что интенсивность фотосинтеза в данный момент больше всего зависит от других, нежели освещенность, факторов.

Существует множество факторов, которые могут повлиять на скорость фотосинтеза у зимних вечнозеленых растений. Меньшее количество света и более холодные температуры зимой являются ограничивающими факторами для фотосинтеза. Здоровье растений, возраст и состояние цветения также могут изменить скорость этого процесса.

Углекислый газ необходим в качестве источника углерода для создания сахаров и других органических соединений. Чем больше углекислого газа имеется в наличии, тем быстрее протекают реакции фотосинтеза. Когда устьица сосновых игл открываются, чтобы впустить углекислый газ, вода неизбежно теряется через эти поры в виде пара.

Благодаря тому, что они сохраняют свою хвою круглый год, зимой сосны способны к фотосинтезу. Это главное преимущество перед деревьями, которые

теряют свои листья. Однако иглы имеют небольшую площадь поверхности, что означает, что они не способны улавливать столько солнечной энергии для этого процесса.

В условиях замерзания лед может образовываться между клетками зимних вечнозеленых деревьев. Это может привести к обезвоживанию организма. При обезвоживании зимой устьица могут закрываться, чтобы уменьшить потерю воды деревом, хотя это также остановит газообмен и еще больше ограничит фотосинтез.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для исследования были взяты пятилетние саженцы сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica Du Tour*), выращенные в условиях Московской области. 1 группа саженцев (30 шт.) произрастала в естественных климатических условиях в горшках (рис. 1, а), т.е. находилась при отрицательных температурах воздуха под снегом. 2 группа (30 шт.) – росла в фитотроне, где температура воздуха выше 0 °С и отсутствует снежный покров (рис. 1, б).

Морфометрические показатели образцов сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica Du Tour*), произрастающих в разных условиях, представлены в таблице.

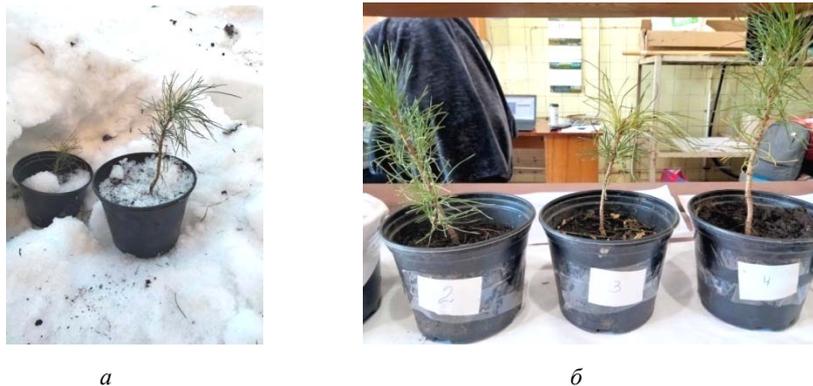


Рис. 1. Саженцы сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica Du Tour*) выращенные: а – в естественных условиях; б – в фитотроне

Морфометрические показатели образцов сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica Du Tour*)

Номер образца	Саженцы, произрастающие в фитотроне		Саженцы, произрастающие в естественных условиях	
	длина хвои, см	высота саженца, см	длина хвои, см	высота саженца, см
1	6,7	32,3	6,2	31,1
2	7,0	35,5	6,4	30,5
3	6,8	30,3	9,3	32,6
4	13,4	38,4	5,6	33,4
5	7,5	36,8	6,4	35,4
6	8,9	37,7	7,6	36,5
7	7,2	31,4	7,1	32,4
8	10,2	42,1	8,3	33,9
9	7,6	36,6	6,4	34,4
10	6,4	36,4	6,5	35,6
11	7,0	35,4	6,9	31,7
12	8,5	35,3	7,4	36,1
13	6,0	32,3	5,3	32,5
14	7,8	34,4	5,8	32,5
15	8,4	33,4	6,3	31,3
16	7,7	32,1	8,2	37,1
17	8,2	31,9	5,9	35,6

Окончание таблицы

Номер образца	Саженьцы, произрастающие в фитотроне		Саженьцы, произрастающие в естественных условиях	
	длина хвои, см	высота саженца, см	длина хвои, см	высота саженца, см
18	10,5	35,5	7,6	35,8
19	7,2	34,4	7,2	37,8
20	7,6	37,3	8,4	38,6
21	7,8	36,6	6,8	35,4
22	7,6	36,3	6,5	34,6
23	8,2	37,4	7,4	34,5
24	9,8	34,5	6,9	33,5
25	7,6	35,4	7,4	33,4
26	9,2	31,6	6,1	33,1
27	9,0	40,1	5,4	34,5
28	8,8	35,2	6,2	32,1
29	8,5	38,5	5,9	31,5
30	7,5	36,4	6,7	36,6
Средние значения	8,2±1,4	35,5±2,5	6,8±0,9	34,1±2,1

Исследования проводились в марте 2022 года. Климат района исследований влажный, умеренно континентальный, с сильным влиянием атлантического морского, с чётко выраженной сезонностью. Среднегодовая температура воздуха +7,1 °С. Зима умеренно холодная с оттепелями, температура воздуха колеблется от –5 до –20 °С. Снежный покров устойчивый, обычно не превышает 60 см.

Исследование процессов фотосинтеза проводили с помощью портативной системы измерения газообмена растений, модель LI-6800, LI-COR. Данная система имеет беспрецедентные возможности для изучения газообмена растений и флуоресценции хлорофилла (Evans, & Santiago, 2014; Coursolle et al. 2019; Riches, Farmer, 2020)

Определялись чистая скорость ассимиляции А (фотосинтез) (мкмоль м⁻²с⁻¹), скорость транспирации Е (моль м⁻²с⁻¹) в зависимости от интенсивности света (Q) и содержания СО₂ (Сi). При измерении зависимости скорости фотосинтеза и транспирации от интенсивности света, скорость потока СО₂ в листовой камере составляла 400 мкмоль/с, а его содержание 400 мкмоль/моль. При этом интенсивность света уменьшалась с 1500 до 0 мкмоль м⁻² с⁻¹.

Далее проводились измерения зависимости скорости транспирации и фотосинтеза от содержания СО₂ в воздухе. Для этого содержание СО₂ в камере сначала постепенно уменьшали с 400 до 0 ммоль моль⁻¹, затем повышали до 1200 ммоль моль⁻¹ и снова понижали до 400 ммоль моль⁻¹. Содержание СО₂ 400 ммоль моль⁻¹ соответствует содержанию СО₂ в окружающей среде. Таким образом, использовалась следующая последовательность значений СО₂: 400, 300, 200, 100, 50, 0, 250, 400, 600, 800, 1000, 1200, 900, 500, 400 ммоль моль⁻¹.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования анализировались с помощью графиков.

При исследовании фотосинтеза у образцов, которые произрастали в фитотроне, выявлена зависимость: при уменьшении интенсивности освещения скорость фотосинтеза уменьшается, а скорость транспирации увеличивается. Данная зависимость выявля-

на у 27 образцов, которые отличаются наибольшим ростом и размером хвои (рис. 2).

Остальные 3 образца, выращенных в фитотроне, отличались меньшими размерами, пожелтевшей хвоей. У них выявлена другая закономерность: при уменьшении интенсивности света до 150 ммоль м⁻² с⁻¹ уменьшается скорость фотосинтеза и транспирации, затем при уменьшении интенсивности света до 0 ммоль м⁻² с⁻¹ скорость транспирации и фотосинтеза увеличивается (рис. 3).

Исследование зависимости скорости фотосинтеза и транспирации от интенсивности света у образцов, выращенных в естественных условиях, показало, что у большинства саженцев (24 шт.) при уменьшении интенсивности света до 1000 ммоль м⁻² с⁻¹ скорость фотосинтеза и транспирации увеличивается, далее при снижении интенсивности света до 300 ммоль м⁻² с⁻¹ скорость фотосинтеза и транспирации находится в некотором пределе. Затем при снижении интенсивности света до 0 ммоль м⁻² с⁻¹ скорость фотосинтеза и транспирации падает (рис. 4).

У 6 образцов, выращенных в естественных условиях, отмечается прямая линейная зависимость: при снижении интенсивности света снижается скорость фотосинтеза и транспирации (рис. 5). Данные образцы отличались пожелтением хвои и меньшими размерами.

Далее проводились измерения зависимости скорости транспирации и фотосинтеза от содержания СО₂ в воздухе. В результате исследования получились следующие данные.

У всех образцов при снижении содержания СО₂ в воздухе отмечается снижение скорости фотосинтеза, затем при повышении содержания СО₂ наблюдается увеличение скорости фотосинтеза, а затем при снижении содержания СО₂ скорость фотосинтеза также снижается. Максимумы скорости фотосинтеза наблюдаются у образцов, произрастающих в фитотроне при содержании СО₂ 1200 ммоль моль⁻¹, а у образцов, произрастающих в естественных условиях при 1000 ммоль моль⁻¹. Минимумы скорости фотосинтеза наблюдаются при 0 ммоль моль⁻¹ у всех образцов (рис. 6).

При исследовании изменения скорости транспирации от содержания СО₂ четкой зависимости не выявлено (рис. 7).

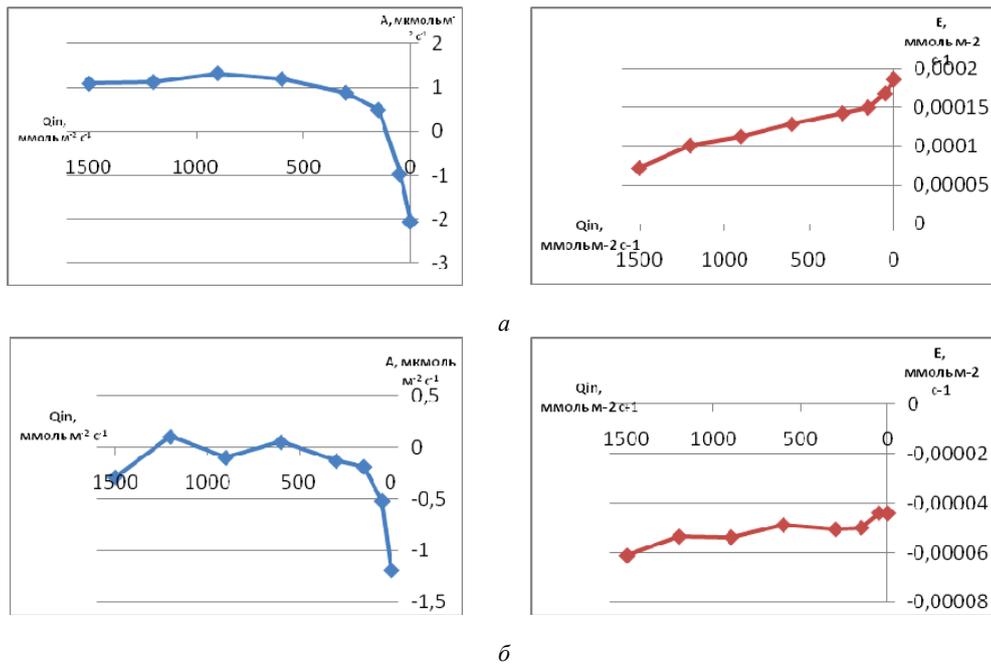


Рис. 2. Зависимость скорости фотосинтеза (А) и транспирации (Е) от интенсивности света (Qin): а – образец 4; б – образец 18

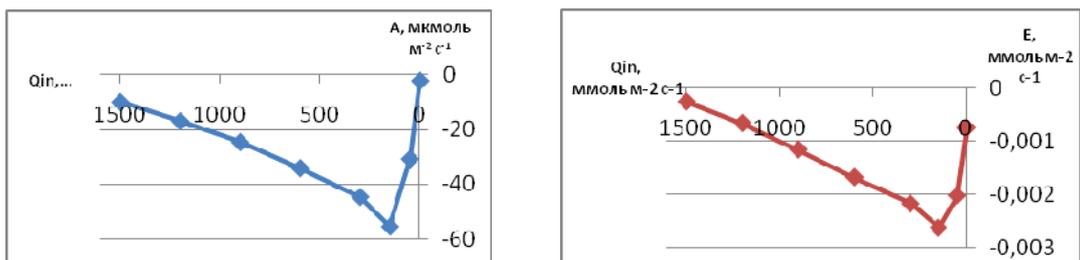


Рис. 3. Зависимость скорости фотосинтеза (А) и транспирации (Е) от интенсивности света (Qin): образец 13

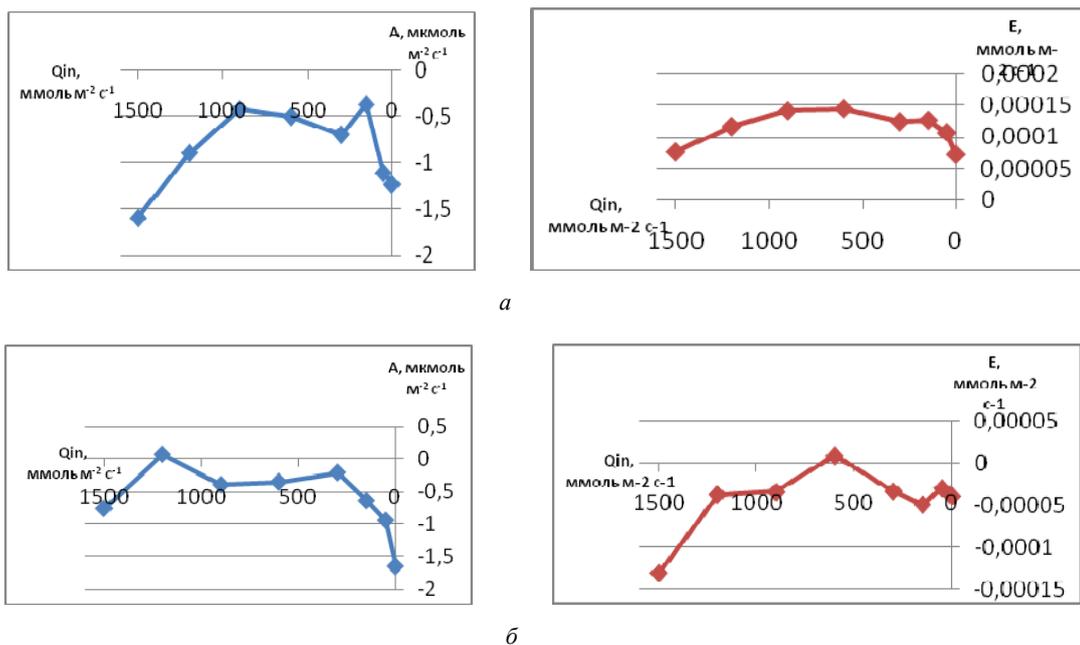


Рис. 4. Зависимость скорости фотосинтеза (А) и транспирации (Е) от интенсивности света (Qin): 0 а – образец 3; б – образец 20

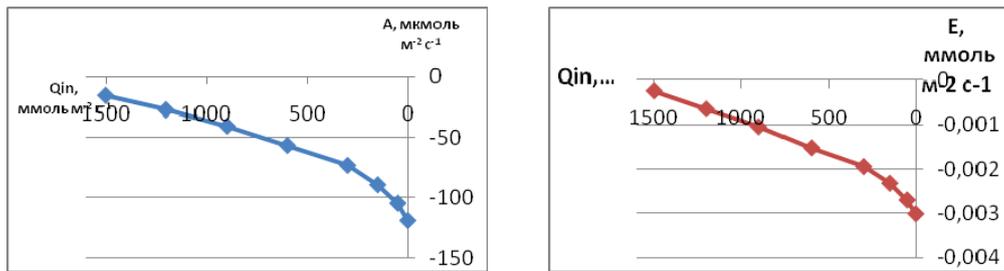


Рис. 5. Зависимость скорости фотосинтеза (А) и транспирации (Е) от интенсивности света (Qin): образец 4

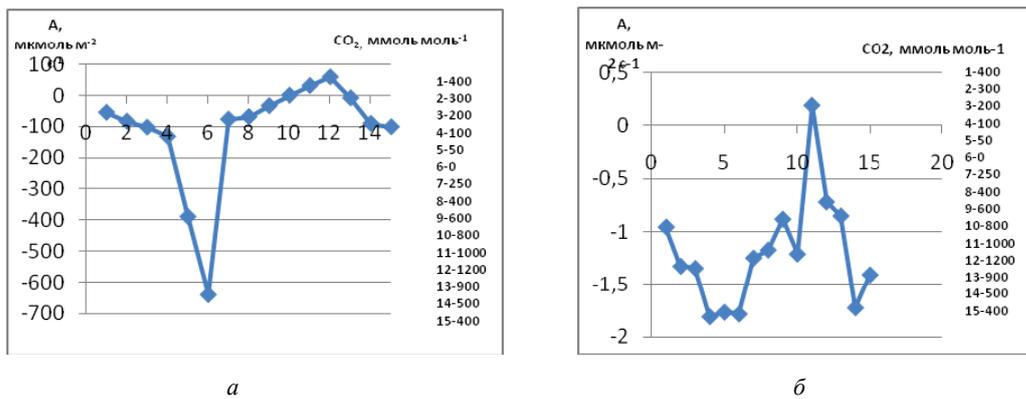


Рис. 6. Зависимость скорости фотосинтеза (А) и транспирации (Е) от содержания CO₂: а – образец, произрастающий в фитотроне; б – образец, произрастающий в естественных условиях.

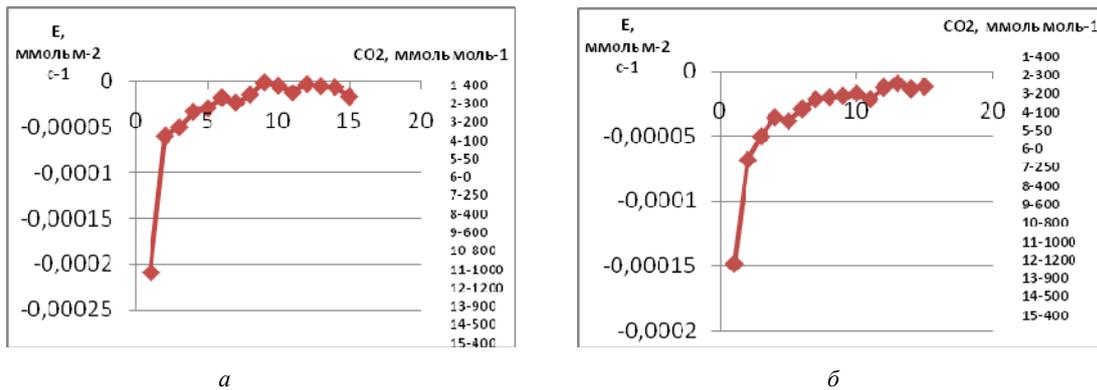


Рис. 7. Зависимость скорости фотосинтеза (А) и транспирации (Е) от содержания CO₂: а – образец, произрастающий в фитотроне; б – образец, произрастающий в естественных условиях

Отмечаются минимальные начальные значения скорости транспирации при содержании CO₂ 400 ммоль моль⁻¹, затем при уменьшении содержания CO₂ до 300–200 ммоль моль⁻¹ наблюдается резкое увеличение скорости транспирации и при дальнейших изменениях содержания CO₂ скорость транспирации, незначительно увеличиваясь, находится в некоторых пределах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, выявлена прямая зависимость между уменьшением интенсивности света и снижением скорости фотосинтеза, и обратная зависимость между уменьшением интенсивности света и скоростью транспирации у образцов, произрастающих в фитотроне. У образцов, произрастающих в естественных условиях, выявлена параболическая зависимость между интенсивностью света и скоростью фотосинтеза и транспирации.

При изучении влияния содержания CO₂ в воздухе на скорость фотосинтеза у всех образцов наблюдается прямая зависимость: при снижении содержания CO₂ в воздухе отмечается снижение скорости фотосинтеза, при повышении содержания CO₂ наблюдается увеличение скорости фотосинтеза. При исследовании изменения скорости транспирации от содержания CO₂ четкой зависимости не выявлено.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

Андреева Е.М., Терехов Г.Г., Стеценко С.К., Соловьев В.М., Фомин В.В. Лесоводственная и санитарная оценка культур кедра сибирского первого класса возраста в Свердловской области // Естественные и технические науки. 2019. № 10(136). С. 172–176.
Бабич Н.А., Хамитов Р.С., Хамитова С.М. Селекция и семенная репродукция кедра сибирского / Вологда–Молочное: ВГМХА, 2014. 154 с.

Белинский, М. Н. Интродукция сосны кедровой сибирской и сосны кедровой корейской в условиях Московской области // Леса Евразии – большой Алтай : материалы XV Международной конференции молодых учёных, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Г.Н. Высоцкого, Барнаул, 13–20 сентября 2015 года. Барнаул: Московский государственный университет леса, 2015. С. 86–87.

Бендер О.Г. Фотосинтез хвои кедра сибирского на северной границе произрастания // XII Сибирское совещание и школа молодых ученых по климатологическому мониторингу. Томск, 2017. С. 116–117.

Бендер О.Г. Структурные и функциональные особенности хвои кедра сибирского и кедрового стланика в условиях юга Западной Сибири // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2019. 1. 467–471. 10.14258/pbssm.2019097.

Бобров Р.В. Об улучшении ведения хозяйства в кедровых лесах в Российской Федерации в свете Постановления СМ СССР и РСФСР // Проблемы комплексного использования кедровых лесов. Томск : ТГУ, 1982. С. 38–50.

Братилова Н.П., Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Щерба Ю.Е., Якимов С.П. Мониторинг урожайности сосны кедровой сибирской на плантации «Известковая» : Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021681721, 24.12.2021. Заявка № 2021681151 от 17.12.2021.

Левин С.В. Экологические особенности кедра сибирского в условиях интродукции на территории Воронежской области. Леса России: политика, промышленность, наука, образование : материалы VI Всероссийской научно-технической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 253–256.

Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф. Изменчивость сеянцев кедра сибирского // Вестник Сибирского государственного технологического университета. 2001. № 2. С. 3.

Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Братилова Н.П. Рост кедровых сосен на гибридно-семенной плантации в пригородной зоне Красноярска // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2007. № 5. С. 7–15.

Матвеева Р.Н., Братилова Н.П., Буторова О.Ф. Изменчивость показателей роста и генеративного развития кедровых сосен на плантации зеленой зоны города Красноярска. Сибирский лесной журнал. 2014. № 2. С. 81–86.

Маштаков, Д. А. Состояние сосны кедровой сибирской в Юрсовском лесничестве Пензенской области / Д. А. Маштаков, А. Р. Садыков // Научные основы современного прогресса : сборник статей Международной научно-практической конференции, Магнитогорск, 08 июня 2016 года. Магнитогорск: Общество с ограниченной ответственностью «Омега Сайнс», 2016. С. 82–85.

Путенихина К.В., Путенихин В.П. История интродукции кедра сибирского в Башкирии (вторая половина XIX – первая половина XX века) // История ботаники в России : сборник статей участников международной научной конференции. Тольятти, 2015. Т. 3. С. 140–146.

Рыль Е. А., Третьякова Р. А. Результаты работы по интродукции сосны кедровой сибирской в Западной Сибири // Актуальные проблемы агропромышленного комплекса : сборник трудов научно-практической

конференции преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов Новосибирского ГАУ, Новосибирск, 21–22 октября 2020 года. Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета «Золотой колос», 2020. С. 143–145.

Свалова А.И., Братилова Н.П., Лузганов А.Г. Оценка подпологовых культур сосны кедровой сибирской в урочище «Майдат» пригородной зоны Красноярска // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. 40. № 1. С. 46–53.

Сенькина С.Н. Транспирация и устьичное сопротивление сосны обыкновенной в разных условиях произрастания // Лесной журнал. 2009. № 6. С. 45–52.

Соколова А.В., Болондинский В.К. Моделирование устьичной, мезофильной и биохимической регуляции фотосинтеза сосны обыкновенной на основе экспериментальных даны // Геохимия. 2020. Том 65, № 10. С. 1009–1024.

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

Хамитов Р.С., Хамитова С.М. Влияние диссиметрии шишек на посевные качества семян кедра в условиях интродукции // Вестник КрасГАУ, 2013. № 9 (84). С. 150–154.

Хамитов Р.С., Бабич Н.А., Дроздов И.И. Интродукция сосны кедровой сибирской на селекционной основе в таежную зону Восточно-Европейской равнины; М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. образования «Вологодская гос. молочно-хозяйственная акад. им. Н. В. Верещагина». Вологда–Молочное : ВГМХА, 2016. 235 с.

Coursolle C, Otis Prud'homme G, Lamothe M and Isabel N (2019) Measuring Rapid A–Ci Curves in Boreal Conifers: Black Spruce and Balsam Fir. *Front. Plant Sci.* 10:1276. doi: 10.3389/fpls.2019.01276.

Evans, J. R., & Santiago, L. S. (2014). PrometheusWiki gold leaf protocol: gas exchange using LI-COR 6400. *Функциональная биология растений*, 41(3), 223–226.

Matveeva R.N., Bratilova N.P., Butorova O.F., Kolosovsky E.V., Svalova A.I. Siberian cedar in subordinate crops. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 520.

Riches, M., Lee, D., and Farmer, D. K.: Simultaneous leaf-level measurement of trace gas emissions and photosynthesis with a portable photosynthesis system, *Atmos. Meas. Tech.*, 13, 4123–4139, <https://doi.org/10.5194/amt-13-4123-2020>, 2020.

REFERENCES

Andreyeva E.M., Terekhov G.G., Stetsenko S.K., Solov'yev V.M., Fomin V.V. Lesovodstvennaya i sanitarnaya otsenka kul'tur kedra sibirskogo pervogo klassa vozrasta v Sverdlovskoy oblasti // *Estestvennyye i tekhnicheskkiye nauki*. 2019. № 10(136). S. 172–176.

Babich N.A., Khamitov R.S., Khamitova S.M. Seleksiya i semennaya reproduksiya kedra sibirskogo / Vologda–Molochnoye: VGMKha, 2014. 154 s.

Belinskiy, M. N. Introduksiya sosny kedrovoy sibirskoy i sosny kedrovoy koreyskoy v usloviyakh Moskovskoy oblasti // Lesa Evrazii – bol'shoj Altay : materialy XV Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchënykh, posvyashchenoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.N. Vysotskogo, Barnaul, 13–20 sentyabrya 2015 goda. Barnaul: Moskovskiy gosudarstvennyy universitet lesa, 2015. S. 86–87.

Bender O.G. Fotosintez khvoi kedra sibirskogo na severnoy granitse proizrastaniya // XII Sibirskoye soveshchaniye i shkola molodykh uchënykh po klimatologicheskomu monitoringu. Tomsk, 2017. S. 116–117.

Bender O.G. Strukturnyye i funktsional'nyye osobennosti khvoi kedra sibirskogo i kedrovogo stlanika v usloviyakh yuga Zapadnoy Sibiri // Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii. 2019. 1. 467–471. 10.14258/pbssm.2019097.

Bobrov R.V. Ob uluchshenii vedeniya khozyaystva v kedrovyykh lesakh v Rossiyskoy Federatsii v svete Postanovleniya SM SSSR i RSFSR // Problemy kompleksnogo ispol'zovaniya kedrovyykh lesov. Tomsk : TGU, 1982. S. 38–50.

Bratilova N.P., Matveyeva R.N., Butorova O.F., Shcherba Yu.E., Yakimov S.P. Monitoring urozhaynosti sosny kedrovoy sibirskoy na plantatsii «Izvestkovaya» : Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM 202168 1721, 24.12.2021. Zayavka № 2021681151 ot 17.12.2021.

Levin S.V. Ekologicheskiye osobennosti kedra sibirskogo v usloviyakh introduksii na territorii Voronezhskoy oblasti. Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniye : materialy VI Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Sankt-Peterburg, 2021. S. 253–256.

Matveyeva R.N., Butorova O.F. Izmenchivost' seyantsev kedra sibirskogo // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. 2001. № 2. S. 3.

Matveyeva R.N., Butorova O.F., Bratilova N.P. Rost kedrovyykh sosen na gibridno-semennoy plantatsii v prigorodnoy zone Krasnoyarska // Izvestiya vysshikh uchëbnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 2007. № 5. S. 7–15.

Matveyeva R.N., Bratilova N.P., Butorova O.F. Izmenchivost' pokazateley rosta i generativnogo razvitiya kedrovyykh sosen na plantatsii zelenoy zony goroda Krasnoyarska. Sibirskiy lesnoy zhurnal. 2014. № 2. S. 81–86.

Mashtakov, D. A. Sostoyaniye sosny kedrovoy sibirskoy v Yursovskom lesnichestve Penzenskoy oblasti / D. A. Mashtakov, A. R. Sadykov // Nauchnyye osnovy sovremennogo progressa : sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Magnitogorsk, 08 iyunya 2016 goda. Magnitogorsk: Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu «Omega Sayns», 2016. S. 82–85.

Putenikhina K.V., Putenikhin V.P. Istoriya introduksii kedra sibirskogo v Bashkirii (vtoraya polovina XIX – pervaya polovina XX veka) // Istoriya botaniki v Rossii : sbornik statey uchastnikov mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Tol'yatti, 2015. T. 3. S. 140–146.

Ryl' E. A., Tret'yakova R. A. Rezul'taty raboty po introduksii sosny kedrovoy sibirskoy v Zapadnoy Sibiri // Aktual'nyye problemy agropromyshlennogo kompleksa : sbornik trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii prepodavateley, aspirantov, magistrantov i studentov Novosibirskogo GAU, Novosibirsk, 21–22 oktyabrya 2020 goda. Novosibirsk: Izdatel'skiy tsentr Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta «Zolotoy kolos», 2020. S. 143–145.

Svalova A.I., Bratilova N.P., Luzganov A.G. Otsenka podpologovykh kul'tur sosny kedrovoy sibirskoy v urochishche «Maydat» prigorodnoy zony Krasnoyarska // Khvoynyye boreal'noy zony. 2022. T. 40. № 1. S. 46–53.

Sen'kina S.N. Transpiratsiya i ust'ichnoye soprotivleniye sosny obyknovennoy v raznykh usloviyakh proizrastaniya // Lesnoy zhurnal. 2009. № 6. S. 45–52.

Sokolova A.V., Bolondinskiy V.K. Modelirovaniye ust'ichnoy, mezofil'noy i biokhimicheskoy regulyatsii fotosinteza sosny obyknovennoy na osnove eksperimetal'nykh dany // Geokhimiya. 2020. Tom 65, № 10. S. 1009–1024.

Smolonogov E.P., Zalesov S.V. Ekologo-lesovodstvennyye osnovy organizatsii i vedeniya khozyaystva v kedrovyykh lesakh Urala i Zapadno-Sibirskoy ravniny. Ekaterinburg : UGLTU, 2002. 186 s.

Khamitov R.S., Khamitova S.M. Vliyaniye dissimetrii shishek na posevnyye kachestva semyan kedra v usloviyakh introduksii // Vestnik KrasGAU, 2013. № 9 (84). S. 150–154.

Khamitov R.S., Babich N.A., Drozdov I.I. Introduksiya sosny kedrovoy sibirskoy na selektsionnoy osnove v tayezhnuyu zonu Vostochno-Evropeyskoy ravniny; M-vo sel'skogo khoz-va Rossiyskoy Federatsii, Federal'noye gos. byudzhethnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vyssh. obrazovaniya «Vologodskaya gos. molochnokhozyaystvennaya akad. im. N. V. Vereshchagina». Vologda–Molochnoye : VGMKha, 2016. 235 s.

Coursolle C, Otis Prud'homme G, Lamothe M and Isabel N (2019) Measuring Rapid A–Ci Curves in Boreal Conifers: Black Spruce and Balsam Fir. Front. Plant Sci. 10:1276. doi: 10.3389/fpls.2019.01276.

Evans, J. R., & Santiago, L. S. (2014). Prometheus Wiki gold leaf protocol: gas exchange using LI-COR 6400. Funktsional'naya biologiya rasteniy, 41(3), 223–226.

Matveeva R.N., Bratilova N.P., Butorova O.F., Kolesovskiy E.V., Svalova A.I. Siberian cedar in subordinate crops. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. S. 520.

Riches, M., Lee, D., and Farmer, D. K.: Simultaneous leaf-level measurement of trace gas emissions and photosynthesis with a portable photosynthesis system, Atmos. Meas. Tech., 13, 4123–4139, <https://doi.org/10.5194/amt-13-4123-2020>, 2020.

© Глинушкин А. П., Хамитова С. М., Бабич А. Н., Думачева Е. В., Хамитов Р. С., Федченко А. С., Пестовский Е. И. Сметанников А. П., 2022

МЕЖПОПУЛЯЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАЗМЕРА ШИШЕК И МАССЫ СЕМЯН СОСНЫ СИБИРСКОЙ КЕДРОВОЙ (*PINUS SIBIRICA DU TOUR*)*

Г.В. Кузнецова

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
Российская Федерация, 660036, Красноярск, Академгородок, 50, стр. 28
E-mail: galva@ksc.krasn.ru

*Проведено исследование морфологической изменчивости размера шишек и продукции семян сосны сибирской кедровой (*Pinus sibirica Du Tour*) в разных высотных условиях произрастания. Объектами исследования взяты популяции, которые находятся в области экологического оптимума вида и со слабо затронутым воздействием антропогенных факторов, представляющие интерес для селекции кедра: низкогорные и среднегорные популяции Западного Саяна и Байкала и горные популяции кедра сибирского Западного Саяна и Монголии. В пределах каждой популяции проведен сбор шишек. Для исследования использовали выборку, представленную смесью шишек от 20–30 деревьев каждой популяции. Исследовали основные элементы структуры урожая (в применении к кедру сибирскому) вес семян в одной шишке, число семенных чешуй, число семян в шишке, вес 1000 штук семян. В результаты исследования выявлены различия в структуре урожая кедра сибирского между популяциями высотных поясов. Высокие показатели структуры урожая имеют низкогорные популяции оптимальных условий произрастания Западного Саяна и Бурятии. Показано, что с увеличением высоты над уровнем моря такие показатели как число недоразвитых чешуй значительно возрастают. Выявлена зависимость выхода и массы семян от размеров шишек и от урожайных лет. Установлено, что для отбора продуктивных особей кедра сибирского целесообразно использовать в качестве перспективных, селективируемых признаков количество фертильных чешуй, выход и массу семян. Проведенные исследования в высотных поясах Западного Саяна показали изменчивость размера шишек и выхода семян кедра сибирского в сравнительно узких пределах и совпадали с данными других исследователей о высотных популяциях.*

Ключевые слова: популяция, кедр сибирский, шишки, масса семян, изменчивость, структура.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 5, P. 369–373

INTERPOPULATION VARIABILITY OF THE SIZE OF CONES AND SEED WEIGHT OF SIBERIAN PINE (*PINUS SIBIRICA DU TOUR*)

G. V. Kuznetsova

V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS – a separate subdivision of the FITC KNC SB RAS
50, build. 28, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation
E-mail: galva@ksc.krasn.ru

*A study was made of the morphological variability of cone size and seed production of Siberian pine (*Pinus sibirica Du Tour*) under different growing conditions. The objects of study were populations that are in the region of the ecological optimum of the species and with little impact of anthropogenic factors, which are of interest for Siberian pine breeding: low-mountain and middle-mountain populations of the Western Sayan and Baikal and mountain populations of Siberian pine of the Western Sayan and Mongolia. Cones were collected within each population. For the study, a sample was used, represented by a mixture of cones from 20–30 trees of each population. The main elements of the crop structure (as applied to the Siberian pine) were studied: the weight of seeds in one cone, the number of seed scales, the number of seeds in a cone, and the weight of 1000 seeds. The results of the study revealed differences in the structure of the yield of Siberian pine between populations of high-altitude zones. Low-mountain populations of optimal growing conditions of the Western Sayan and Buryatia have high indicators of the yield structure. It is shown that with increasing altitude, such indicators as the number of underdeveloped scales increase significantly. The dependence of the yield and weight of seeds on the size of the cones and on the harvest years was revealed. It has been established that for the selection of productive individuals of the Siberian pine, it is advisable to use the number of fertile scales, yield and weight of seeds as promising, selectable traits. The studies carried out in the altitudinal belts of the Western Sayan showed the variability in the size of cones and the yield of seeds of the Siberian pine within a relatively narrow range and coincided with the data of other researchers on high-altitude populations.*

Keywords: mountain population, Siberian pine, cones, seed mass, variability, structure.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Правительством Красноярского края и Краевым фондом науки в рамках научного проекта № 19-44-240005 и проекта РФФИ № 20-05-00540.

ВВЕДЕНИЕ

Значение и изучение полиморфизма древесных видов в селекционной практике громадно [8; 9; 19 и др.] Практической же стороной изучаемой изменчивости является отбор наиболее перспективных для лесного хозяйства лесобразующих видов, имеющих первостепенное хозяйственное значение и использование их для лесовосстановления и лесоразведения. Важное место среди них занимает исследование сосны сибирской кедровой (*Pinus sibirica* Du Tour), также называемой кедром сибирским.

Известно, что высокие показатели семян имеют кедровники, произрастающие в оптимальных условиях. По мере отклонения от оптимума качество семян ухудшается, и ближе к северной границе семена имеют низкую всхожесть. Исследования семеношения сосны сибирской кедровой показали изменчивость массы семян как в связи с географическими и эдафическими условиями, так и с высотными поясами [2; 4; 5; 7; 10; 11; 15; 16; 22 и др.]. Для создания высокопродуктивных лесосеменных плантаций необходимо использование потомства лучших популяций кедров сибирского. Как считает А.И. Ирошников [10] основой для селекции особенно клоновой являются такие признаки, как форма, размеры шишек, вес семян и их товарное значение (как пищевого продукта). Е.В. Титов [24] отмечает также, что деревья кедров сибирского с крупными шишками имеют ускоренное развитие всех генеративных и вегетативных органов. Несмотря на проведенные многочисленные работы по изменчивости кедров сибирского в Сибири и на Урале большой интерес для селекции представляют исследования межпопуляционной изменчивости и основных элементов структуры урожая кедров сибирского в разных высотных поясах произрастания.

Целью данного исследования является изучение характеристик структуры урожая кедров сибирского в зависимости от разных высотных условий произрастания.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования взяты две низкогорные популяции Западного Саяна и Байкала, представляющие интерес как высокопродуктивные и уникальные по генетическим качествам насаждения и формирующие наиболее продуктивные по росту и биологическому урожаю семян насаждения. В этих насаждениях сосредоточен наиболее ценный генофонд кедров сибирского с относительно высокой концентрацией редких генотипов: по урожайности (крупносеменные, крупношишечные, ежегодно плодоносящие); скорости роста, декоративности, смолопродуктивности и другим ценным признакам [11; 13; 14]. К ним относятся популяция низкогорного пояса, 500 м над ур. моря кедровники высокотравно-папоротниковые, почвы горные серые лесные, суглинистые, слабоподзоленные и подзолистые (Красноярский край, Ермаковский район, Танзыбейское участковое лесничество), и популяция на высоте 500 м над ур. моря (Республика Бурятия, Байкальский государственный природный биосферный заповедник), кедровники высокотравно-папоротниковые, почвы серые лесные, слабоподзоленные и подзолистые.

Также выбраны популяции, которые находятся в области экологического оптимума вида и со слабо затронутым воздействием антропогенных факторов, представляющие интерес для селекции кедров. Взяты две среднегорные популяции Западного Саяна: на высоте 950 м над ур. моря, кедровники щитовниково-зеленомошные, почвы суглинистые, дерново-слабоподзолистые и подзолистые (Красноярский край, Ермаковский район, Танзыбейское участковое лесничество), и популяция на высоте 800 м над ур. моря кедровники зеленомошные, почвы суглинистые дерново-слабоподзолистые и подзолистые (Красноярский край, Усинское лесничество).

Две следующие горные популяции кедров сибирского Западного Саяна и Монголии обусловлены межпопуляционными контрастными условиями произрастания. Первая популяция горного пояса на высоте 1200–1300 м над ур. моря кедровники щитовниково-зеленомошные и баданово-щитовниковые, почвы суглинистые, дерново-слабоподзолистые, маломощные (Красноярский край, Ермаковский район, Танзыбейское участковое лесничество), и вторая популяция также горного пояса 1700–1800 м над ур. моря (Республика Монголия заповедник Богдо-Ула), склон северо-восточной экспозиции, кустарничковый ярус выражен слабо, травяной покров представлен в основном злаками, встречаются небольшие участки с брусничниками [21].

В пределах каждой популяции проведен сбор шишек. Для исследования использовали выборку, представленную смесью шишек от 20–30 деревьев. Основными элементами структуры урожая (в применении к кедру сибирскому) являются вес семян в одной шишке, число семенных чешуй, число семян в шишке, вес 1000 штук семян [19; 20; 23]. Шишки и семена взвешивали и определяли параметры, наиболее характеризующие структуру урожая: длину и ширину шишек, количество семенных чешуй (в том числе недоразвитых в основании и вершине шишки, фертильных с одним и двумя семенами), выход семян из шишки и массу 1000 шт. семян ГОСТ 1977 [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты исследования (таблица), шишки кедров сибирского, собранные с низкогорных популяций Байкала и Западного Саяна, превышают по средней длине и ширине размеры шишек среднегорных и горных популяций. Значительных различий среди среднегорных популяций по размерам средней длины и ширины не наблюдается. Средние показатели шишек кедров сибирского горных популяций Западного Саяна и Монголии уступают по размерам длины и ширины низкогорным и среднегорным популяциям. По данным А.И. Ирошникова [10] средняя длина шишек в среднегорной популяции в пределах высот 700–1000 м над ур. моря колеблется от 6,5 до 6,9 см. Выше 1000 м над ур. моря – от 5,8 до 5,9 см. В наших исследованиях для высоты 500 м над ур. моря длина шишек колеблется от 7,31 см до 8,10 см, с увеличением высоты до 950 м над уровнем моря длина шишек снижается от 6,21 см до 6,26 см (см. таблицу). Морфологические показатели, шишек изу-

чаемых высотных популяций совпадают с данными других исследователей [1; 4; 16; 17].

С размерами шишек тесно связано количество семенных чешуй в них, а также выход семян из шишек. В верхней и нижней части шишек формируются недоразвитые чешуйки без семяпочек, между ними находится зона наиболее многочисленных фертильных чешуек с семяпочками. Количество недоразвитых нижних чешуй у основания шишки в низкогорных популяциях Западного Саяна – 18,37 шт., недоразвитых чешуй вверху шишки 9 шт. У шишек байкальской популяции нижних семенных чешуй – 11,08 шт. и недоразвитых чешуй вверху – 10шт. Количество недоразвитых чешуй в шишках низкогорных популяций варьирует от низкого до повышенного уровня, снизу CV от 7,8 до 17,6 % и сверху – от 16,1 до 22,4 %. Количество недоразвитых чешуй (внизу и вверху) у шишек среднегорных популяций отличаются незначительно от шишек низкогорных популяций в отличие от размеров шишек. При двухлетнем наблюдении у среднегорных популяций количество недоразвитых чешуй внизу в среднем от 18,8 до 20,4 шт. (CV от 14,5 до 32,7 %) и недоразвитых вверху от 8.0 до 11,5 шт. (CV от 20,4 до 34,4 %). В год пониженного урожая (2021 г.) отмечен высокий уровень вариации недоразвитых чешуй в шишках. Это отразилось на пониженном количестве фертильных чешуй и развитых семян.

У шишек популяций горного пояса недоразвитых чешуй у основания и вверху шишки больше, чем у шишек низкогорной и среднегорной популяций. Так, у шишек в популяции Западного Саяна (1200–1300 м над ур. моря) недоразвитых верхних чешуй – 26,4 шт. (CV-12,4 %), нижних – 15,0 шт. (CV-24,0 %), у шишек популяции Монголии (1700 м над ур. моря) недораз-

витых верхних чешуй – 21 шт. (CV-7,71 %), нижних – 14.6 шт. (CV-23,8 %). Количество недоразвитых чешуй у горных популяций варьирует от среднего уровня до повышенного. В связи с увеличением высоты, уменьшаются условия опыления и в результате снижается репродуктивный потенциал шишек. Недоразвитые чешуи результат недоопыленности шишек [16]. В зависимости от опыления количество развитых (фертильных) чешуй в шишках кедра сибирского разных популяций может варьировать как внутри популяций, так и между ними. Т.П. Некрасова [17] отмечала, что у большей части взрослых деревьев горных, таежных и припоселковых кедровников количество бесплодных чешуй в среднем составляло 25–40 %, а среднее число фертильных чешуй менялось от 40 до 57 %, что составляло 60–70 % от общего числа всех чешуй. В наших исследованиях выявлено, что большее среднее число нормальных развитых чешуй 60–61 шт. у шишек низкогорных популяций Байкала и Западного Саяна. Число семян в шишке обусловлено количеством семенных чешуй, в результате более значительный выход развитых семян в шишках низкогорных популяций 93,7–94,9 шт. (таблица).

Как показали наши наблюдения (таблица), особи кедра сибирского низкогорных популяций Западного Саяна и Байкала отличаются большими размерами шишек, и высоким выходом развитых семян из шишек. Между длиной шишек и весом семян существует тесная связь, близкая прямолинейной [12]. С увеличением высоты над уровнем моря размеры шишек и выход семян уменьшаются (таблица). Такая закономерность была отражена в работах А. И. Ирошникова [12] при исследованиях семеношения кедра сибирского в популяциях Западного Саяна.

Характеристика шишек и семян кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour)

Шишки		Семенные чешуи			Семена	
Длина, см CV %	Ширина, см CV %	Недоразвитые снизу, шт. CV %	Недоразвитые вверху, шт. CV %	Развитые, шт. CV %	Выход семян из шишки шт. CV %	Масса 1000 шт. семян, г
Низкогорная популяция, 500 м над ур. моря, Красноярский край, Ермаковский район, Танзыбейское участковое лесничество						
8,10±0,13 CV % = 4,57	5,4±0,11 C% = 5,25	18,37±0,42 C% = 7,85	9,0±0,67 C% = 22,4	61,0±1,12 C% = 5,18	94,80±3,42 C% = 10,02	329
Популяция низкогорного пояса, 500 м над ур. моря (Республика Бурятия, Байкальский государственный природный биосферный заповедник). сбор 2009 г.						
7,31±0,16 C% = 10,50	5,63±0,42 C% = 6,69	11,08±0,40 C% = 17,60	10,0±0,33 C% = 16,10	60,29±0,44 C% = 12,80	93,70,±6,2 C% = 2,09	252
Среднегорного популяция 800 м над ур. моря (Красноярский край, Усинское лесничество)						
6,85±0,33 C% = 17,9	4,88±0,11 C% = 8,45	18,8±0,73 C% = 14,54	9,36±0,51 C% = 20,4	51,57±3,0 C% = 12,72	79,1±8,51 C% = 40,40	235
Среднегорная популяция 950 м над ур. моря, (Красноярский край, Ермаковский район, Танзыбейское участковое лесничество) в числителе сбор 2020 г, в знаменателе- 2021 г.						
6,26±0,20 6,21±0,21 C% = 4,0/12,8	5,0±0,08 4,52±0,12 C% = 4,9/10,2	20,4±1,10 18,3±1,56 C% = 17,3/32,7	11,5±1,24 8,0±0,62 C% = 34,4/29,9	48,3±2,30 41,5±2,02 C% = 15,2/18,9	83,70±4,0 58,33±5,0 C% = 15,0/33,2	198 174
Популяция горного пояса 1700–1750 м над ур. моря (Народная Республика Монголия, заповедник Богдо-Ула)						
5,77±2,14 C% = 10,2	4,41±0,79 C% = 6,46	21,4±1,01 C% = 7,71	14,6±1,1 C% = 23,80	51,5±1,95 C% = 15,8	84,0,±4,74 C% = 16,8	153
Популяция горного пояса 1200-1300 м над ур. моря (Красноярский край, Ермаковский район, Танзыбейское участковое лесничество)						
5,92±0,83 C% = 7,85	4,65±0,66 C% = 7,9	26,4±2,24 C% = 12,46	15,0±1,61 C% = 24,0	40,8±0,66 C% = 3,63	72,8±2,81 C% = 3,55	198

От числа развитых семян в шишке зависит абсолютный вес 1000 шт. семян. Средний вес (масса) 1000 шт. возд. /сух. семян у популяций кедров сибирского – от 153 до 329 г (таблица.). По результатам наших исследований в шишках низкогорных популяций масса 1000 шт. семян значительно выше, чем в шишках горных популяций. По выходу количества семян горные популяции Монголии и Западного Саяна не значительно отличаются от других популяций (таблица), но по массе семян уступают. В горных популяциях при выходе семян в шишках отмечается большое количество пустых семян без эндосперма и в результате чего абсолютный вес снижается против нормального [10; 17]. Известно, что в низкоурожайные годы, по сравнению с высокоурожайными годами индивидуальная изменчивость массы семян и их число в шишках увеличивается, что четко отражает их преимущественную зависимость от факторов внешней среды. Максимальное количество семян в шишке образуется в высокоурожайные годы, когда наиболее полно реализуются их репродуктивный потенциал [10]. Наши исследования, проведенные по годам в среднегорной популяции Западного Саяна показали, что в год пониженного урожая (2021 год) выход и масса семян были ниже, чем в урожайный 2020 год (таблица). Тем не менее масса семян остается сравнительно стабильным и в меньшей мере зависит от погодных условий. Наряду с учетом данных размеров шишек и качества семян масса семян может служить основой для отбора наиболее урожайных деревьев с хорошим качеством семян.

Результаты исследования шишек и семян кедров сибирского различных популяций показали, что высокие показатели структуры урожая имеют низкогорные популяции оптимальных условий произрастания Западного Саяна и Бурятии. Низкогорные популяции отличаются стабильным высоким содержанием развитых семян. Целесообразно для отбора продуктивных особей кедров сибирского использовать в качестве перспективных, селективируемых признаков количество фертильных чешуй, выход и массу семян. Для всех рассмотренных популяций характерна изменчивость показателей структуры урожая, при этом с увеличением высоты над уровнем моря такие показатели как число недоразвитых чешуй значительно возрастают. Проведенные исследования в высотных поясах Западного Саяна показали изменчивость размера шишек и выхода семян кедров сибирского в сравнительно узких пределах и совпадали с данными других исследователей о высотных популяциях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бех И.А. Кедровники Южного Приобья. Новосибирск : Наука, Сиб. отд.-ние, 1974. 212 с
2. Репродуктивная дифференциация популяций кедров сибирского на южной границе Западно-Сибирской части ареала / О.Г. Велисевич, О.Ю. Бендер, О.И. Читоркина, И.А. Чернова, И.И. Титаринцева, С.В. Груздева // Хвойные бореальной. Т. XXX, № 1-2, 2012. С. 33–38.
3. Воробьев В.Н., Воробьева Н.А., Свириденко В.М. Семена кедров сибирского. Новосибирск : Наука. Сиб. отд.-ние, 1979. 129 с.

4. Воробьев В.Н. Особенности плодоношения кедров сибирского в горных условиях // Биология семенного размножения хвойных западной Сибири. Новосибирск : Наука, 1974. С. 15–70.

5. Горошкевич С.Н., Хуторной О.В. Внутривидовое разнообразие шишек и семян сосны сибирской кедровой // Растительные ресурсы. 1996. № 3. С. 1–21.

6. ГОСТ 13056, 4-17 Семена деревьев и кустарников. Методы определения массы 1000 семян. М. : Госком. стандарта СССР 1977 б. 1939. С. 50–52.

7. Земляной А.И. О характере генетического разнообразия семян кедров сибирского в связи с высотной поясностью на Алтае // Состояние и перспективы развития лесной генетики, селекции, семеноводства и интродукции. Методы селекции древесных пород. Тез. докл. Рига, 1974. С. 239–242

8. Ирошников А.И. Структура популяций и селекция древесных растений // Вопросы лесоведения. Красноярск, 1970. С. 203–303.

9. Ирошников А.И. Полиморфизм хвойных Сибири // Проблемы лесоведения Сибири. Новосибирск : Наука, 1977. С. 98–123.

10. Ирошников А.И. Полиморфизм популяций кедров сибирского // Изменчивость древесных растений Сибири. Красноярск, 1974. С. 73–103.

11. Ирошников А.И. Биоэкологические свойства и изменчивость кедров сибирского // Кедровые леса Сибири. Новосибирск : Наука, 1985. С. 8–40.

12. Ирошников А.И. Плодоношение кедров сибирского в Западном Саяне // Плодоношение кедров сибирского в Восточной Сибири. Труды Ин-та леса и древесины СО АН СССР. М., 1963. Т. 62. С. 104–119.

13. Карбаинов Ю.М. Реликтовая популяция кедров сибирского на юго-восточном побережье оз. Байкал // Проблемы экологии Прибайкалья. Иркутск. 1982. Ч. 4. С. 22.

14. Карбаинов Ю.М., Кузнецова Г.В. Реликтовая популяция хвойных в байкальском заповеднике // Состояние и перспективы изучения охраняемых природных комплексов Прибайкалья. Материалы научной конференции, посвященной 40-летию Байкальского государственного природного биосферного заповедника. Иркутск : Изд-во «Репроцентр А1», 2009. С. 84–89.

15. Кузичкин А.А. Экологическая разнокачественность шишек и семян кедров сибирского в средне- и южнотаежных районах Западной Сибири // Экология семенного размножения хвойных Сибири. Красноярск : ИЛИД СО АН СССР, 1984. С. 39–51.

16. Некрасова Т.П. Биологические основы семенного размножения кедров сибирского. Новосибирск : Наука, 1972. 273 с.

17. Некрасова Т.П. Пыльца и пыльцевой режим хвойных Сибири. Новосибирск : Наука, 1983. 169 с.

18. Правдин Л.Ф. Селекция и семеноводство кедров сибирского // Плодоношение кедров сибирского в Восточной Сибири // Труды Ин-та леса и древесины СО АН СССР. М., 1963. Т. 62. С. 5–21.

19. Правдин Л.Ф. Итоги работ по изучению плодоношения кедров сибирского // Плодоношение кедров сибирского в Восточной Сибири. Труды Ин-та леса и древесины СО АН СССР. М., 1963. Т. 62. С. 174–189.

20. Сабинин Д.А. Влияние минерального питания на качество урожая яровой пшеницы // Труды Московского дома ученых. Изд-во АН СССР. 1937. Вып. 1.

21. Леса Монгольской народной республики / Е.Н. Савин, Л.И. Милютин, Ю.Н. Краснощеков, И.А. Коротков, А.В. Сунцов. М.: Наука, 1988. 176 с.

22. Соловьев Ф.А. Плодоношение кедровых лесов в Зауралье // Труды Ин-та биологии УФ АН СССР. М.-Л.: Изд.-во АН СССР, 1955. Вып. 6. С. 76–96.

23. Станков Н.З. Изменение структуре урожая яровой пшеницы и ячменя в зависимости от условий минерального питания // Докл. ВАСХНИЛ. Агрохимия, вып. 13.

24. Титов Е.В. Клоновое испытание кедровых сосен // Лесное хозяйство. 1995. № 6. С. 25–26.

REFERENCES

1. Bekh I.A. Kedrovniki Yuzhnogo Priob'ya. Novosibirsk : Nauka, Sib. otd.-niye, 1974. 212 s

2. Reproductivnaya differentsiatsiya populyatsiy kedra sibirskogo na yuzhnoy granitse Zapadno Sibirskoy chasti areala / O.G. Velisevich, O.Yu Bender, O.I. Chirtorkina, I.A. Chernova, I.I. Titarintseva, S.V Gruzdeva // Khvoyn-yye boreal'noy. Т. КНХКН, № 1-2, 2012. С. 33–38.

3. Vorob'yev V.N., Vorob'yeva N.A., Sviridenko V.M. Semena kedra sibirskogo. Novosibirsk : Nauka. Sib. otd.-niye, 1979. 129 s.

4. Vorob'yev V.N. Osobennosti plodonosheniya kedra sibirskogo v gornyx usloviyakh // Biologiya semennogo razmnozheniya khvoynykh zapadnoy Sibiri. Novosibirsk : Nauka, 1974. S. 15–70.

5. Goroshkevich S.N., Khutornoy O.V. Vnutripopulyatsionnoye raznoobraziye shishek i semyan sosny sibirskoy kedrovoy // Rastitel'n-yye resursy. 1996. № 3. S. 1–21.

6. GOST 13056, 4-17 Semena derev'yev i kustarnikov. Metody opredeleniya massy 1000 semyan. М.: Gos. kom. standarta SSSR 1977 b. 1939. S. 50–52.

7. Zemlyanoy A.I. O kharaktere geneticheskogo raznoobraziya semyan kedra sibirskogo v svyazi s vysotnoy poynasnost'yu na Altaye // Sostoyaniye i perspektivy razvitiya lesnoy genetiki, selektsii, semenovodstva i introduktsii. Metody selektsii drevesnykh porod. Tez. dokl. Riga, 1974. S. 239–242

8. Iroshnikov A.I. Struktura populyatsiy i selektsiya drevesnykh rasteniy // Voprosy lesovedeniya. Krasnoyarsk, 1970. S. 203–303.

9. Iroshnikov A.I. Polimorfizm khvoynykh Sibiri // Problemy lesovedeniya Sibiri. Novosibirsk : Nauka, 1977. S. 98–123.

10. Iroshnikov A.I. Polimorfizm populyatsiy kedra sibirskogo // Izmenchivost' drevesnykh rasteniy Sibiri. Krasnoyarsk, 1974. S. 73–103.

11. Iroshnikov A.I. Bioekologicheskiye svoystva i izmenchivost' kedra sibirskogo // Kedrov-yye lesa Sibiri. Novosibirsk : Nauka, 1985. S. 8–40.

12. Iroshnikov A.I. Plodonosheniye kedra sibirskogo v Zapadnom Sayane // Plodonosheniye kedra sibirskogo v Vostochnoy Sibiri. Trudy In-ta lesa i drevesiny SO AN SSSR. М., 1963. Т. 62. S. 104–119.

13. Karbainov Yu.M. Reliktovaya populyatsiya kedra sibirskogo na yugo-vostochnom poberezh'ye oz. Baykal // Problemy ekologii Pribaykal'ya. Irkutsk. 1982. Ch. 4. S. 22.

14. Karbainov Yu.M., Kuznetsova G.V Reliktovaya populyatsiya khvoynykh v baykal'skom zapovednike // Sostoyaniye i perspektivy izucheniya okhranyayemykh prirodnykh kompleksov Pribaykal'ya. Materialy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 40-letiyu Baykal'skogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika. Irkutsk : Izd-vo «Reprintsentr A1», 2009. S. 84–89.

15. Kuzichkin A.A. Ekologicheskaya raznokachestvennost' shishek i semyan kedra sibirskogo v sredne- i yuzhnotayezhnykh rayonakh Zapadnoy Sibiri // Ekologiya semennogo razmnozheniya khvoynykh Sibiri. Krasnoyarsk : ILID SO AN SSSR, 1984. S. 39–51.

16. Nekrasova T.P. Biologicheskiye osnovy semenosheniya kedra sibirskogo. Novosibirsk : Nauka, 1972. 273 s.

17. Nekrasova T.P. Pyl'tsa i pyl'tsevoy rezhim khvoynykh Sibiri. Novosibirsk : Nauka, 1983. 169 s.

18. Pravdin L.F. Seleksiya i semenovodstvo kedra sibirskogo // Plodonosheniye kedra sibirskogo v Vostochnoy Sibiri // Trudy In-ta lesa i drevesiny SO AN SSSR. М., 1963. Т. 62. S. 5–21.

19. Pravdin L.F. Itogi rabot po izucheniyyu plodonosheniya kedra sibirskogo // Plodonosheniye kedra sibirskogo v Vostochnoy Sibiri. Trudy In-ta lesa i drevesiny SO AN SSSR. М., 1963. Т. 62. S. 174–189.

20. Sabinin D.A. Vliyaniye mineral'nogo pitaniya na kachestvo urozhaya yarovoy pshenitsy // Trudy Moskovskogo doma uchenykh. Izd-vo AN SSSR. 1937. Vyp. 1.

21. Lesa Mongol'skoy narodnoy respubliki / Ye.N. Cavin, L.I. Milyutin, Yu.N. Krasnoshchekov, I.A. Korotkov, A.V. Suntsov. М.: Nauka, 1988. 176 s.

22. Solov'yev F.A. Plodonosheniye kedrovyykh lesov v Zaural'ye // Trudy In-ta biologii UF AN SSSR. М.-Л.: Изд.-во AN SSSR, 1955. Vyp. 6. S. 76–96.

23. Stankov N.Z. Izmeneniye strukture urozhaya yarovoy pshenitsy i yachmenya v zavisimosti ot usloviy mineral'nogo pitaniya // Dokl. VASKHNIL. Agrokimiya, vyp. 13.

24. Titov Ye.V. Klonovoye ispytaniye kedrovyykh sosen // Lesnoye khozyaystvo. 1995. № 6. S. 25–26.

© Кузнецова Г. В., 2022

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫРАЩИВАНИЮ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Р. Н. Матвеева, О. Ф. Буторова

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

Приведены результаты многолетних исследований по выращиванию сосны кедровой сибирской: хранение, предпосевная обработка семян микроэлементами и стимуляторами роста, их облучение лучами Ренгена, дополнительное освещение сеянцев, черенкование, создание плантаций клонами, полусибями, потомством разного географического происхождения. Полученные результаты использованы при разработке ГОСТов, ОСТов, РТУ, рекомендаций, создании баз данных. Исследования проведены на опытных участках в Учебно-опытном лесхозе СибГУ, Ермаковском лесничестве Красноярского края, а также других лесничествах Сибири на основании общепринятых в лесокультурном производстве методик. Выявлены оптимальные условия для длительного хранения семян, применения стимуляторов, микроэлементов при выращивании посадочного материала. Предложено дополнительное освещение сеянцев, использование светофильтров определенного спектрального состава. Проанализирована агротехника выращивания посадочного материала в питомниках Сибири, влияние размеров посадочного материала на приживаемость и рост растений в лесных культурах. Испытан рост сосны кедровой сибирской на подвое сосны обыкновенной и сосны кедровой сибирской. Изучена изменчивость рамет и полусибей плюсовых деревьев, аттестованных по семенной и стволовой продуктивности. Установлено влияние облепихи крушиновой на рост и семеношение сосны кедровой сибирской разного географического происхождения, отселектировано потомство популяций, отличающихся интенсивным ростом и ранним репродуктивным развитием.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, семена, сеянцы, лесные культуры, плантации.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 5, P. 374–380

RESEARCH ON THE CULTIVATION OF SIBERIAN CEDAR PINE FOR A LONG PERIOD

R. N. Matveeva, O. F. Butorova

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

The results of many years of research on the cultivation of Siberian cedar pine are given: storage, pre-sowing treatment of seeds with trace elements and growth stimulants, their irradiation with Rengen rays, additional lighting of seedlings, cuttings, creation of plantations with clones, half-siblings, offspring of different geographical origin. The obtained results were used in the development of GOST, OSTs, RTS, recommendations, creation of databases. The research was carried out at experimental sites in the Educational and Experimental Forestry of SibSU, the Yermakovsky Forestry of the Krasnoyarsk Territory, as well as other forestries in Siberia on the basis of generally accepted methods in forestry production. Optimal conditions for long-term storage of seeds, the use of stimulants, trace elements when growing planting material were revealed. Additional illumination of seedlings, the use of light filters of specific spectral composition are proposed. The agricultural technique of growing planting material in nurseries of Siberia, the influence of the size of planting material on the survival rate and growth of plants in forest crops are analyzed. The growth of Siberian cedar pine on the root of Scots pine and Siberian cedar pine was tested. The variability of ramets and semi-siblings of plus trees certified by seed and trunk productivity was studied. The influence of buckthorn buckthorn on the growth and seed production of Siberian cedar pine of different geographical origin was established, the offspring of populations characterized by intensive growth and early reproductive development were selected.

Keywords: Siberian pine, seeds, seedlings, forest crops, plantation.

ВВЕДЕНИЕ

Сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour), или кедр сибирский является лесообразующей породой Сибири, гордостью таежной зоны. Богатство кедр-

ровой тайги общеизвестно: орех, древесина, живица, пушнина и т.п. Большое значение имеют его долговечность, водоохранные, водорегулирующие, почвозащитные и другие экологические функции. Граница

ареала данного вида проходит на западе от верховий реки Вычегды (северо-восток европейской части России) до Благовещенска на востоке (127°20' в.д.). Северная граница идет через нижнее течение Оби, Енисея, верховья реки Алдана (68°30' с.ш.). Южная граница ареала, пересекая Урал по 57° с.ш., спускается на Алтай до 48° с.ш. и в Монголию до истоков реки Орхона (46°30' с.ш.), где находится самая южная точка ареала. Данный биологический вид достаточно требователен к плодородию почвы, предпочитая богатые суглинки умеренной влажности, тем не менее может расти на каменистых и сильно заболоченных участках [3; 23; 25]. Многие авторы отмечают повышенные требования сосны кедровой сибирской к влажности воздуха. Однако, по данным В.В. Протопопова [24], сосна кедровая сибирская растет и в условиях, где среднемесячная относительная влажность воздуха в 13 часов в период вегетации может понижаться до 40 %, а в отдельные дни – до 12–15 %. Семена сосны кедровой сибирской являются ценным сбалансированным источником питания, поскольку в их состав входят витамины, микроэлементы, незаменимые жирные кислоты. Они являются источником биологически активных веществ, необходимых для жизнедеятельности человека [2; 10; 11].

Сосна кедровая сибирская размножается семенным и вегетативным способами. Учитывая периодичность семеношения, необходимо иметь резервный фонд семян для проведения посевов в неурожайные годы. При длительном хранении семян в течение нескольких лет необходима разработка методов, позволяющих обеспечить их высокую жизнеспособность, которая зависит от видовой принадлежности, наследственных свойств, сроков сбора, режимов хранения семян [7; 20].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности длительного хранения семян сосны кедровой сибирской были изучены в СибГУ с 1980–2000 гг. В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы: для длительного хранения семян рекомендуется проводить их сбор в годы обильного урожая. Семена должны быть первого класса качества. Показатели не менее: чистота семян – 96 %, жизнеспособность – 85 %, масса 1000 шт. – 230 г. Семена перед закладкой на длительное хранение следует подсушить при температуре 30–35 °С до влажности 5–6 % и поместить в стеклянные продезинфицированные бутылки. Их плотно закрывают пробками, края которых смазывают вазелином, места их соединения заливают парафином. Хранят при температуре воздуха не ниже минус 11 °С и не выше плюс 8 °С. Эффективным явилось хранение семян с добавлением активированного угля (5 % к массе семян) или негашеной извести (10 %), или хлорамина (1 %) [6]. Из семян длительного хранения выращен посадочный материал и высажен на опытный участок СибГУ [15]. Деревья из семян после длительного хранения не имели достоверных различий по показателям роста с контролем.

Для повышения всхожести семян и ускоренного выращивания посадочного материала проводили

предпосевное замачивание семян в водных растворах микроэлементов и стимуляторов роста. Наиболее эффективными явились растворы, содержащих H_3BO_3 в концентрациях 0,01–0,005 % и $CuSO_4$ 0,001–0,005 %, гиббереллина концентрацией 0,0001–0,001 % гетероауксина – 0,0005–0,0007 %, которые способствовали повышению грунтовой всхожести семян и показателей трехлетних сеянцев. Сеянцы в перечисленных вариантах имели большие размеры и массу. Растворы, содержащие гиббереллин, способствовали увеличению длины семядолей и уменьшению их толщины. При замачивании семян в растворе гетероауксина 0,0005 % общая фотосинтезирующая поверхность сеянцев была больше на 12,7 % в сравнении с контролем. У всходов данного варианта хлорофилла на 40,8 % больше, чем в контроле, при увеличенном отношении хлорофилла “а” к “в” [6].

Изучали влияние лучей Рентгена на семена сосны кедровой сибирской в сухом, набухшем, наклонившемся и проросшем состоянии. Облучение семян проводили в лаборатории светотехники Института биофизики СО РАН. Облучали семена в дозах 400 и 5000 р. в течение 12 минут. Было установлено, что при облучении семян дозой 5000 р появились единичные всходы, которые вскоре погибли. Доза 400 р также оказала отрицательное влияние на всхожесть семян, а сеянцы отличались замедленным ростом. В 35-летнем возрасте сосна кедровая сибирская, выросшая из облученных семян, не вступила в репродуктивную стадию развития, в то время как в контрольном варианте некоторые деревья образовали шишки и пыльцу. Однако, возможно единичные экземпляры, которые выросли из облученных семян, будут более экологически устойчивы в районах с повышенной радиоактивностью [6].

Были поставлены опыты по влиянию продолжительности освещения, спектрального состава света на рост сосны кедровой сибирской. Фотопериодическую реакцию сеянцев изучали путем изоляции посевов от естественного освещения при 6–9-часовом периоде и применяя дополнительное освещение при 18-, 22-, 24-часовом выращивании. Над опытными посевами устанавливали фанерные ящики с вентиляционными отверстиями, обеспечивающими одинаковый температурный режим в опыте и в контроле. Освещенность под ящиком без источника освещения, определяемая люксметром ЛМ-3, равнялась нулю. Контролем служили сеянцы, выросшие в условиях естественной продолжительности фотопериода. Для подбора эффективных источников освещения по спектральному составу сеянцы выращивали под пленками разного цвета: красными, желтыми, синими, зелеными и прозрачными (длина волны 380–800 нм). В качестве источников света для дополнительного освещения использовали лампы дневного света (ЛДЦ-40) и лампы накаливания (150 ватт), обеспечивающие освещенность до 300–1100 люкс. Продолжительное освещение явилось одним из определяющих факторов регулирования ростовых процессов сеянцев сосны кедровой сибирской. Сеянцы данного вида были лучшего качества при выращивании под желтым и красным светофильтрами и при дополнительном ночном освещении.

щении лампами накалывания. При дополнительном ночном освещении в период роста центрального побега у сеянцев увеличивался текущий прирост, в период роста центрального побега, заложения и формирования верхушечных почек у сеянцев не только увеличивался текущий прирост побега, но и образовывались вторичные охвоенные приросты.

Наиболее эффективным явилось применение дополнительного освещения в течение 40 дней на сеянцы сосны кедровой сибирской северного происхождения (Салехард). Все однолетние сеянцы за вегетационный период имели по два охвоенных прироста и по размерам не отличались от двухлетних. На следующий год сеянцы образовали прирост большего размера и в трехлетнем возрасте все были отнесены к первому сорту [6].

Оценку закономерностей роста семенного потомства в различных эколого-географических условиях и анализ агротехники их выращивания проводили в соответствии с методикой ВНИИЛМ (1972 г.) в 21 лесхозах Восточной Сибири [5]. Было установлено влияние калибровки посадочного материала, характера роста саженцев в школьном отделении питомника и лесных культурах в зависимости от качественных показателей сеянцев в различных почвенно-климатических условиях. На опытных участках лучшими по биометрическим показателям были саженцы, выращенные из отобраных по диаметру сеянцев. Раннее цветение (в 15–20-летнем возрасте) отмечено у некоторых экземпляров, имеющих в 5-летнем возрасте наибольший диаметр стволика (8–10 мм).

Устойчивые и быстрорастущие лесные культуры создаются на основе гено- и фенотипического разнообразия популяций и выделения продуктивных для конкретных условий произрастания [4]. Было проанализировано состояние лесных культур, созданных калиброванными сеянцами и саженцами в Ачинском, Козульском, Канском, Манском, Мининском, Учебно-опытном лесхозах Красноярского края, а также Анжерском, Крапивинском лесхозах Кемеровской области. Лучшее качество имели опытные лесные культуры, созданные крупномерным посадочным материалом, которые раньше выходят из-под полога травостоя, отличаются повышенной сохранностью и энергией роста. При создании лесных культур целесообразно использовать быстрорастущий, отобраный посадочный материал, имеющий в идентичных условиях произрастания диаметр или высоту (в зависимости от загущенности посевов) больше среднего значения и урожайный – ускоренное развитие, установленное по образованию пучковой хвои в первый год выращивания или способности образовывать по два охвоенных прироста побега за период вегетации [5].

В пределах ареала сосна кедровая сибирская имеет много ценных форм, сохранить которые можно при вегетативном размножении. Наиболее распространенными способами размножения являются прививка и черенкование. При вегетативном размножении полностью сохраняются генетические признаки и свойства маточных растений. Одним из наиболее перспек-

тивных, но мало изученных методов размножения данного вида является черенкование, с помощью которого можно вырастить корнесобственные растения от экземпляров, отобраных по скорости роста и другим ценным признакам. Черенкование не зависит от периодичности урожая, которая сильно выражена у сосны кедровой сибирской, и исключает несоответствие интенсивности роста привоя и подвоя по диаметру, присущее размножению прививкой. Однако сосна кедровая сибирская относится к трудно укореняемому древесному виду, что подтверждается многолетними исследованиями [8]. Установлено, что каллюсо- и корнеобразование черенков хвойных видов зависит от возраста маточных растений, применения стимуляторов роста, условий выращивания и др. Черенкование сосны кедровой сибирской проводили в теплицах холодного типа, покрытых полиэтиленовой пленкой. Теплицы имели высоту 170–210 см, длину – 300–400 см, ширину – 100–120 см. Крыша двускатная, съемная, боковые стенки теплиц обтянуты полиэтиленовой пленкой. Теплицу размещали на высоте 30–40 см, основание решетчатое для обеспечения доступа воздуха. Первоначально укладывали речную гальку слоем 10 см, затем делали смесь (20 см) почвы из-под кедровых насаждений (перегнойно-аккумулятивный горизонт), песка и березовых листьев в равных соотношениях (20 см). Верхний слой (3 см) состоял из крупнозернистого, хорошо промытого и прокаленного речного песка. Предварительно за 1–2 суток до посадки черенков проводили дезинфекцию, поливая субстрат, внутренние стены теплиц 0,5 %-м раствором марганцовокислого калия. Влажность воздуха в пределах 80–100 % поддерживали систематическими поливами, используя мелкокапельные ручные опрыскиватели и емкости, наполненные водой. В дни с высокой температурой воздуха теплицы проветривали, затеняли марлей (тканью), обливали снаружи водой.

Черенки были нарезаны в несколько сроков с маточных растений, произрастающих в дендрарии СибГУ, разных морфологических и фенологических форм, географического происхождения в возрасте 6–30 лет. Нарезку черенков длиной 5–10 см проводили в разные фенологические периоды из верхней, средней и нижней частей кроны с боковых ветвей первого и второго порядков, используя побеги 1–2-летнего возраста. Черенки замачивали в растворах, содержащих физиологически активные вещества, концентраций от 0,0001 до 0,1 % в течение 1, 10, 20, 30 часов. Обработку черенков стимуляторами проводили путем погружения их базальных частей в водные растворы. С целью выяснения влияния возраста маточных растений на укореняемость черенков сосны кедровой сибирской в пригородной зоне Красноярска было поставлено несколько опытов. Так, в первом опыте для нарезки черенков использовали 6-, 15- и 20-летние маточные растения. Черенки нарезали с боковых однолетних ветвей первого порядка. Процесс каллюсообразования протекал более интенсивно у черенков, срезанных с маточных растений 6-летнего возраста. К 13 сентября у единичных черенков образовались зачатки, но корни за период вегетации не сформировались.

У черенков с 20-летних растений такого же способа заготовки процесс каллюсо- и корнеобразования затягивался, к этому времени на них не было сформировано даже зачатков корней. Во втором опыте при черенковании сеянцев 7-летнего возраста были получены подобные результаты. У 63 % черенков в конце первого периода вегетации появились зачатки корней, 16 % – корни. В результате проведенных исследований выявлено, что более успешно укореняются черенки сосны кедровой сибирской с маточных растений в возрасте до 15 лет. В последующем способность к размножению черенкованием резко уменьшается. Среди 17–23-летних были отобраны лишь единичные черенкуемые особи разного географического происхождения. Каллюсо- и корнеобразование у сосны кедровой сибирской лучше происходит при использовании зимних черенков с почкой (закрытых), заготовленных в период их нахождения в фазе набухания почек с боковых побегов первого и второго порядков ветвления. Каллюс большего диаметра и толщины был отмечен у черенков, обработанных раствором гетероауксина концентрации 0,001 %. В этом же варианте черенки в течение трех лет сформировали хорошо развитую корневую систему.

Проведено сравнение приживаемости и роста 8-летних (3+5) растений черенкового и семенного происхождения. После пяти лет выращивания саженцев черенкового происхождения в школьном отделении их высота составила 19,3 см, семенного – 33,0 см. Черенковые растения были высажены в дендрарии СибГУ и на плантации «Известковая». К 30–33-летнему биологическому возрасту высота сосны кедровой сибирской, размноженной черенкованием, в среднем составила 5,6 м. Все черенковые растения имеют вертикальное положение, прямой ствол. Гибели деревьев и аномалий в их развитии не наблюдалось. В 27-летнем возрасте в репродуктивную стадию вступили 14 % экземпляров, образовав по 2–8 шт. шишек на центральных и боковых побегах [8; 9].

При создании лесных культур большое внимание уделяется географическому происхождению семян, которое отражается на росте культур вплоть до возраста спелости и часто является решающим фактором при создании устойчивых высокопродуктивных насаждений [1].

Оценка роста и устойчивости популяций позволяет для каждого конкретного региона выделить экотипы, использование которых даст наибольший лесоводственный эффект [21; 22; 26]. Плантацию «Метеостанция» в Караульном участковом лесничестве Учебно-опытного лесхоза СибГУ (зеленая зона г. Красноярска) создавали посадкой растений, выращенных из семян разного географического происхождения (популяции Красноярского края, Республики Алтай, Кемеровской области, Казахстана), отличающихся условиями произрастания материнских насаждений по высоте над уровнем моря (от 700 до 1700 м), географической широте (от 50 до 63 °с ш.), долготе (от 83°56' – ленингорский экотип до 90° в.д.). В качестве местного экотипа (контроля) взято потомство из Бирюсинского лесничества Учебно-опытного лесхоза СибГУ Красноярского края [14; 18]. В 40-летнем био-

логическом возрасте высота растений различных экотипов достигла 5,6–7,7 м. Лидерство приходилось на атушкенский экотип горно-алтайского происхождения. На данной плантации был поставлен опыт с посадкой между рядами сосны кедровой сибирской облепихи крушиновой как виду, снабжающему почву азотом. Установлено, что начиная с 31-летнего возраста, растения на участке с облепихой обгоняли в росте контрольные, посаженные в соседней секции, но без облепихи. Различия по высоте составляли в отдельные годы до 11,1–13,4 %, но по диаметру существенных различий не выявлено. Однако процент урожайных деревьев в первые годы их репродуктивного развития был выше на участке без облепихи.

Плантация кедровых сосен «Известковая» была заложена посадкой растений сосны кедровой сибирской, выращенных из семян разного географического происхождения. На плантации представлено семенное потомство сосны кедровой сибирской из насаждений Красноярского края, Иркутской, Читинской областей, Алтай, Хакасии [14]. Деревья в 47–48-летнем биологическом возрасте разного географического происхождения имели высоту 10,8–11,3 м. Первые шишки образовались на единичных деревьях алтайского (урочище Курли), черемховского и читинского происхождения в 21–24-летнем биологическом возрасте. В первые годы репродуктивного развития на деревьях формировалось по 1–3 шт. шишек. Более урожайным (20–24 % деревьев) на данный период было потомство бирюсинской, алтайской, черемховской популяций.

При создании прививочной гибридно-семенной плантации «ГСП» черенки были заготовлены с растений сосны кедровой сибирской, выращенных из семян посева 1960–1964 гг. разного географического происхождения: Кемеровской, Свердловской, Томской, Тюменской, Читинской областей; Красноярского края (Бирюсинский, Ярцевский лесхозы); республик Алтай, Бурятия, Коми, Тыва, Саха-Якутия, Хакасия). Прививки были проведены в 1976–1982 годах. Способ прививки – «сердцевиной на камбий» на подрост сосны обыкновенной [12; 13; 17]. Через пять лет был проанализирован рост привитых растений. Наибольшие показатели привоя были при использовании 9–10-летнего подвоя. К 24-летнему возрасту привитые растения достигли средней высоты 7,5 м. Интенсивным ростом (высота привоя на 10,8–64,0 % больше) отличались привои алтайского (ур. Курли) варианта. Наплывы в местах срастания сосны кедровой сибирской с сосной обыкновенной в этом возрасте имели 89 % деревьев. Происходит в основном отпад деревьев, имеющих большие наплывы в местах срастания. Более долговечные экземпляры отличаются лучшим срастанием привоя с подвоем, но менее интенсивным ростом. Через восемь лет после прививки отмечено массовое мужское «цветение» на привитых деревьях алтайского (12-18-3), бирюсинского (9-25-1), коми (3-7-2), хантымансийского (15-34-2) и якутского (1-2-5) происхождений. Шишки в количестве 3–127 шт. были на деревьях девяти клонов в 24-летнем возрасте.

Плантация сосны кедровой сибирской с использованием полусибов и рамет от плюсовых деревьев, произрастающих на территории Новосибирской (Ко-

лыванский лесхоз) и Иркутской (Слюдянский лесхоз) областей, была создана в Западно-Саянском опытном лесном хозяйстве (Танзыбейское лесничество Ермаковского лесхоза) Красноярского края посадочным материалом, выращенным в условиях Учебно-опытного лесхоза СибГУ. В качестве привоя использованы черенки с плюсовых деревьев, отобранных по семенной и стволовой продуктивности, подвоя – сеянцы сосны кедровой сибирской бирюсинского происхождения (Бирюсинское лесничество Учебно-опытного лесхоза СибГУ). Биологический возраст деревьев новосибирского происхождения с учетом возраста подвоя и привоя в 2008 г. составил 24 года (6+18 лет) [16; 17]. У клонов по семенной продуктивности средняя высота равна 2,8 м, варьируя от 2,5 до 3,2 м по вариантам опыта. Лучшим ростом в группе по семенной продуктивности отличались клоны 89/53, 97/61, 100/64, 112/76. Максимальная высота (4,7 м) была у раметы № 34-26 клона 100/64. Средняя высота 24-летних привитых клонов по стволовой продуктивности на плантации составила 3,0 м. Наибольшая высота отмечена у клонов 17/17, 13/13, 141/105, 147/111, отобранных по стволовой продуктивности. Некоторые экземпляры (№ 14-24, 22-14) клонов 17/17 и 141/105 достигли максимальной высоты в этой группе, равной 4,2 м. В 35-летнем возрасте деревья имели среднюю высоту 6,2 м. В 1995 г. на некоторых раметах клонов 18/18, 91/55, 92/56, 100/64 сформировались шишки. В 2008 г. в группе по стволовой продуктивности образовались шишки и макростробилы до 10,0–34,4 % у рамет разных клонов и макростробилы – 10 % рамет клона 13/13.

Деревья семенного происхождения в 25-летнем возрасте имели наибольшую высоту (4,2 м) в семьях 89/53 и 90/54. Единичное вступление в стадию семеношения отмечено с 21-летнего возраста. Шишки в количестве 1–12 шт. сформировались у пяти полусибов 24–25-летнего возраста. В 35-летнем возрасте деревья достигли средней высоты 6,9 м [11].

ВЫВОДЫ

Результаты многолетних исследований были внедрены в практику и вошли в ГОСТы на сеянцы: 3317–77, 33-17–90, саженцы: 24835–81; способ по длительному хранению семян: РТУ 56-84; «Культуры лесные. Оценка качества»: ОСТ 56-92–87, в базы данных по показателям роста и урожайности сосны кедровой сибирской на ЛСП [17; 19], созданы плантации с использованием семенного и вегетативного посадочного потомства плюсовых деревьев в Ермаковском лесничестве на площади 25 га и опытных участков в Учебно-опытном лесхозе СибГУ – 20 га.

Применение результатов научных исследований будет способствовать повышению качества посадочного материала сосны кедровой сибирской и решению многих вопросов лесокультурного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Братилова Н.П., Свалова А.И., Гришлова М.В. Рост сосны кедровой сибирской разного географического происхождения под пологом леса // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. 37, № 6. С. 381–384.

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

3. Ирошников А. И., Твеленев М. В. Изучение генфонда, интродукции и селекции кедровых сосен // Лесоведение. 2001. № 4. С. 62–68.

4. Котов М.М. Изменчивость сосны обыкновенной по адаптивным признакам в связи с условиями произрастания // Лесоведение. 1997. № 3. С. 51–60.

5. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. Особенности выращивания посадочного материала и лесных культур хвойных пород в Восточной Сибири. Красноярск : КГТА, 1997. 200 с.

6. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. Ускоренное выращивание сеянцев и культур кедрового сибирского в Восточной Сибири. Красноярск : СибГТУ, 2001. 254 с.

7. Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф. Особенности длительного хранения семян кедрового сибирского. Красноярск : СибГТУ, 2001. 154 с.

8. Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф. Черенкование хвойных видов в условиях Сибири. Красноярск : СибГТУ, 2004. 368 с.

9. Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Коротков А.А. Рост и семеношение кедрового сибирского черенкового происхождения в плантационных культурах зеленой зоны г. Красноярска. Красноярск : СибГТУ, 2008. 168 с.

10. Матвеева Р.Н., Братилова Н.П., Кубрина С.М. Изменчивость сосны кедровой сибирской по аккумуляции микроэлементов в хвое и семенах. Красноярск : СибГТУ, 2009. 96 с.

11. Матвеева Р.Н., Пастухова А.М., Карпущина И.В. Изменчивость сосны кедровой сибирской по семеношению, содержанию в семенах свободных аминокислот и жиров в географических плантационных культурах (зеленая зона г. Красноярска). Красноярск : СибГТУ, 2009а. 162 с.

12. Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Кичильдеев А.Г. Рост и семеношение кедрового сибирского, привитого на сосну обыкновенную в зеленой зоне г. Красноярска. Красноярск : СибГТУ, 2009б. 186 с.

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

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

15. Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Шенмайер Н.А. Хранение семян кедрового сибирского с применением химических веществ при разном температурном режиме. Красноярск : СибГТУ, 2011. 150 с.

16. Матвеева Р.Н., Филимохин В.С. Характеристика семенного потомства плюсовых деревьев кедрового сибирского на плантации Западно-Саянского опытного лесного хозяйства // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. XXX, № 1-2. С. 120–126.

17. Матвеева Р.Н., Кичильдеев А.Г., Нарзаяев В.В. Изменчивость клонового потомства плюсовых деревьев сосны кедровой сибирской на плантации юга

Средней Сибири // Лесной журнал. 2013. № 2. С. 93–97.

18. Матвеева Р.Н., Братилова Н.П., Буторова О.Ф. Изменчивость показателей роста и репродуктивного развития кедровых сосен на плантации зеленой зоны города Красноярска // Сибирский лесной журнал. 2014. № 2. С. 81–85.

19. Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Щерба Ю.Е. Семенное и вегетативное размножение отобраных деревьев сосны кедровой сибирской. Красноярск : СибГТУ, 2016. 204 с.

20. Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Дырдин С.Н., Тарасенко И.Г. Изменчивость показателей семян сосны кедровой сибирской, произрастающей в разных лесорастительных районах Сибири // Наукові праці Лісівничої академії наук України, 2019, вип. 19. С. 100–107. doi.org/10.15421/411931.

21. Мерзленко М.Д., Глазунов Ю.Б., Мельник П.Г. Результаты выращивания провениенций сосны обыкновенной в географических посадках Серебряноборского опытного лесничества // Лесоведение. 2017. № 3. С. 176–182.

22. Наквасина Е. Н., Прожерина Н. А., Чупров А. В., Беляев В. В. Реакция роста сосны обыкновенной на климатические изменения в широтном градиенте // Лесной журнал. 2018. № 5. С. 82–93.

23. Поварницын В.А. Кедровые леса СССР. Красноярск : СибЛТИ, 1944.-220 с.

24. Протопопов, В.В. Средообразующая роль темнохвойного леса. Новосибирск : Наука, СО РАН, 1975. 328 с.

25. Титов Е.В. Возрастная хронографическая изменчивость показателей плодоношения клонов кедра сибирского // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39, № 1. С. 39–44.

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

27. Zaleski A., Gozdalik M. Standardowe wymiary zarodka i bielma nasion sosny zwyczajnej w polsce i ich znaczenie dla oceny zywnosci nasion // Pr. Inst. bad. les. A. 1994. № 778. P. 47–60.

REFERENCES

1. Bratilova N.P., Svalova A.I., Grishlova M.V. Rost sosny kedrovoy sibirskoy raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya pod pologom lesa // Khvoynyye boreal'noy zony. 2019. T. 37, № 6. S. 381–384.

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

3. Iroshnikov A. I., Tvelenev M. V. Izucheniye genofonda, introduktsii i selektsii kedrovyykh sosen // Lesovedeniye. 2001. № 4. S. 62–68.

4. Kotov M.M. Izmenchivost' sosny obyknovennoy po adaptivnym priznakam v svyazi s usloviyami prizrastaniya // Lesovedeniye. 1997. № 3. S. 51–60.

5. Matveyeva R. N., Butorova O. F. Osobennosti vyrashchivaniya posadochnogo materiala i lesnykh kul'tur khvoynyykh porod v Vostochnoy Sibiri. Krasnoyarsk : KGTA, 1997. 200 s.

6. Matveyeva R. N., Butorova O. F. Uskorennoye vyrashchivaniye seyantsev i kul'tur kedra sibirskogo

v Vos-tochnoy Sibiri. Krasnoyarsk : SibGTU, 2001. 254 s.

7. Matveyeva R.N., Butorova O.F. Osobennosti dlitel'nogo khraneniya semyan kedra sibirskogo. Krasnoyarsk : SibGTU, 2001. 154 s.

8. Matveyeva R.N., Butorova O.F. Cherenkovaniye khvoynyykh vidov v usloviyakh Sibiri. Krasnoyarsk : SibGTU, 2004. 368 s.

9. Matveyeva R.N., Butorova O.F., Korotkov A.A. Rost i semenosheniye kedra sibirskogo cherenkovogo proiskhozhdeniya v plantatsionnykh kul'turakh zelenoy zony g. Krasnoyarska. Krasnoyarsk : SibGTU, 2008. 168 s.

10. Matveyeva R.N., Bratilova N.P., Kubrina S.M. Izmenchivost' sosny kedrovoy sibirskoy po akkumulyatsii mikroelementov v khvoye i semenakh. Krasnoyarsk : SibGTU, 2009. 96 s.

11. Matveyeva R.N., Pastukhova A.M., Karpukhina I.V. Izmenchivost' sosny kedrovoy sibirskoy po semenosheniyu, soderzhaniyu v semenakh svobodnykh aminokislot i zhиров v geograficheskikh plantatsionnykh kul'turakh (zelenaya zona g. Krasnoyarska). Krasnoyarsk : SibGTU, 2009a. 162 s.

12. Matveyeva R.N., Butorova O.F., Kichkil'deyev A.G. Rost i semenosheniye kedra sibirskogo, privitogo na sosnu obyknovennuyu v zelenoy zone g. Krasnoyarska. Krasnoyarsk : SibGTU, 2009b. 186 s.

13. Matveyeva R.N., Revin A.V., Kichkil'deyev A.G. Osobennosti rosta i semenosheniya klonov plyusovykh derev'yev kedra sibirskogo, otselektirovannykh po semennoy i stvolovoy produktivnosti // Vestnik KrasGAU. 2010. № 11. S. 110–112.

14. Matveyeva R.N., Shcherba Yu.E. Vliyaniye geograficheskogo proiskhozhdeniya na reproduktivnoye razvitiye kedra sibirskogo na lesosemennoy plantatsii za 24-letniy period // Lesnoy zhurnal. 2011. № 4. S. 7–10.

15. Matveyeva R.N., Butorova O.F., ShenmayYer N.A. Khraneniye semyan kedra sibirskogo s primeneniye khimicheskikh veshchestv pri raznom temperaturnom rezhime. Krasnoyarsk : SibGTU, 2011. 150 s.

16. Matveyeva R.N., Filimokhin V.S. Kharakteristika semennogo potomstva plyusovykh derev'yev kedra sibirskogo na plantatsii Zapadno-Sayanskogo opytnogo lesnogo khozyaystva // Khvoynyye boreal'noy zony. 2012. T. XXX, № 1-2. S. 120–126.

17. Matveyeva R.N., Kichkil'deyev A.G., Narzyayev V.V. Izmenchivost' klonovogo potomstva plyusovykh derev'yev sosny kedrovoy sibirskoy na plantatsii yuga Sredney Sibiri // Lesnoy zhurnal. 2013. № 2. S. 93–97.

18. Matveyeva R.N., Bratilova N.P., Butorova O.F. Izmenchivost' pokazateley rosta i reproduktivnogo razvitiya kedrovyykh sosen na plantatsii zelenoy zony goroda Krasnoyarska // Sibirskiy lesnoy zhurnal. 2014. № 2. S. 81–85.

19. Matveyeva R.N., Butorova O.F., Shcherba Yu.E. Semennoye i vegetativnoye razmnzheniye otselektirovannykh derev'yev sosny kedrovoy sibirskoy. Krasnoyarsk : SibGTU, 2016. 204 s.

20. Matveyeva R.N., Butorova O.F., Dyrdin S.N., Tarasenko I.G. Izmenchivost' pokazateley semyan sosny kedrovoy sibirskoy, prizrastayushchey v raznykh

lesorastitel'nykh rayonakh Sibiri // Naukovi pratsi Lisivnichoi akademii nauk Ukraini, 2019, vip. 19. S. 100–107. doi.org/10.15421/411931.

21. Merzlenko M.D., Glazunov Yu.B., Mel'nik P.G. Rezul'taty vyrashchivaniya proveniyentsiy sosny obyknovennoy v geograficheskikh posadkakh Serebryanoborskogo opytnogo lesnichestva // Lesovedeniye. 2017. № 3. S. 176–182.

22. Nakvasina E. N., Prozherina N. A., Chuprov A. V., Belyayev V. V. Reaktsiya rosta sosny obyknovennoy na klimaticheskiye izmeneniya v shirotnom gradiyente // Lesnoy zhurnal. 2018. № 5. S. 82–93.

23. Povarnitsyn V.A. Kedrovyye lesa SSSR. Krasnoyarsk : SibLTI, 1944.-220 s.

24. Protopopov, V.V. Sredoobrazuyushchaya rol' temnokhvoynogo lesa. Novosibirsk : Nauka, SO RAN, 1975. 328 s.

25. Titov E.V. Vozrastnaya khronograficheskaya izmenchivost' pokazateley plodonosheniya klonov kedra sibirskogo // Khvoynyye boreal'noy zony. 2021. T. 39, № 1. S. 39–44.

26. Chatupka W. Current trends in forest tree genetics studies // Lesa Evrazii v XXI veke: Vostok–Zanad. M., 2002. Pr. 88–89.

27. Zaleski A., Gozdzalik M. Standardowe wymiary zarodka i bielma nasion sosny zwyczajnej w polsce i ich znaczenie dla oceny zywnosci nasion // Pr. Inst. bad. les. A. 1994. № 778. P. 47–60.

© Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф., 2022

Поступила в редакцию 03.07.2022
Принята к печати 01.09.2022

ОЦЕНКА СОХРАННОСТИ И СОСТОЯНИЯ *PINUS SIBIRICA* DU TOUR В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

М. А. Николаева¹, Е. Ю. Варенцова¹, К. М. Межина²

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова
Российская Федерация, 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5

²Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова
Российская Федерация, 190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
E-mail: marin.nikol_1060@mail.ru, varentsova.elena@mail.ru

*Представлены результаты оценки динамики сохранности и роста потомств *Pinus sibirica* Du Tour и анализ их фитопатологического состояния в географических культурах, заложенных в Ленинградской области в 1984 году. К 35-летнему возрасту культур сохранилось всего 180 кедровых сосен, что в значительной степени зависит от запущенности объекта и отсутствия ухода. Однако корреляционный анализ показал, что на протяжении всего периода развития культур, потомства происхождением из наиболее удаленных на север и восток регионов, малообеспеченные влагой и теплом, характеризуются более низкой сохранностью и ростом. Самое отстающее по сохранности и росту - якутско-ленское потомство. Лучшей сохранностью (6,4 %) отличается бурятско-бичурское потомство, но оно имеет самое ослабленное состояние. По росту лидирует иркутско-нижнеудинское потомство. Однако по комплексу параметров лучшими признаны красноярско-манское и кемерово-таштагольское, в которых есть здоровые кедры диаметром до 19 см и высотой до 15 м. В культурах выявлен очаг раковых заболеваний (побеговый рак, вызванный *Scleroderris lagerbergii* Gremm., и пузырчатый рак, вызванный *Cronartium ribicola* Dietr.). Состояние культур в целом по объекту оценивается как сильно ослабленное (балл – 3,55). На долю усыхающих кедров в среднем по объекту приходится 43 %; в бурятском потомстве эта доля составила 66 %. Причём выпадают особи разных размеров. Отмечена тенденция худшего состояния потомств, материнские климатипы которых наиболее удалены на восток. Учитывая Лесосеменное районирования 1982 г. и результаты многолетних исследований, успешное выращивание *Pinus sibirica* Du Tour возможно при использовании семян, заготовленных не севернее 59° с.ш. и не восточнее 99° в.д., происхождением из Кемеровской, Томской, Иркутской областей, Красноярского края.*

*Работа направлена на уточнение лесосеменного районирования *Pinus sibirica* Du Tour с целью выращивания в Ленинградской области.*

Ключевые слова: географические культуры, сосна кедровая сибирская, географическое происхождение, потомство климатипа, сохранность, категория состояния.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 5, P. 381–387

ASSESSMENT OF THE PRESERVATION AND CONDITION OF *PINUS SIBIRICA* DU TOUR IN PROVENANCE TRIALS OF LENINGRAD REGION

M. A. Nikolaeva¹, E. Yu. Varentsova¹, K. M. Mezhdina²

¹Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S. M. Kirov
5, Institutsky per., Saint-Petersburg, 194021, Russian Federation

²N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR),
42, 44, Bolshaya Morskaya Street, Saint-Petersburg 190000, Russian Federation
E-mail: marin.nikol_1060@mail.ru, varentsova.elena@mail.ru

*Presents the results of the dynamics assessment of preservation and growth, and results of the analysis of phytopathological state of provenance trials of *Pinus sibirica* Du Tour created in the Leningrad region. By the age of 35, only 180 cedar pine trees remained, which largely depends on the care lack. However, it has been established that the progenies originated from the most remote regions to the north and east, and those poorly supplied by heat and moisture had lower preservation and growth rate. The progeny of the Buryat-Bichur origin had the highest preservation (6.4 %). The Yakut-Lena progeny is the most lagging in terms of preservation and growth. According to the complex of parameters, the Krasnoyarsk-Mansi and Kemerovo-Tashtagolsky progenies were among the best, in which there are healthy cedars with a height up to 15 m. The diseases locus (shoot cancer caused by *Scleroderris lagerbergii* Gremm., and blister cancer caused by *Cronartium ribicola* Dietr.) were detected. The state of provenance trials as a whole was estimated as strongly weakened. On average, the share of shrinking cedar accounts for 43%. The progenies originating from the eastern most areas were in the worst condition. Taking into account the results of long-term research, the*

successful cultivation of Siberian cedar pine is possible using seeds harvested south of 59°N and west of 99°E, that is originating from the Kemerovo, Tomsk, Irkutsk regions, and the Krasnoyarsk territory.

The work is aimed at clarifying the forest-seeding zoning of Pinus sibirica Du Tour in the Leningrad region.

Keywords: provenance trials, Siberian cedar pine, geographical origin, climatype progeny, preservation, condition category.

ВВЕДЕНИЕ

На основании изучения географических культур основных лесообразующих пород к настоящему времени накоплен огромный опыт, позволяющий обсуждать географическую изменчивость и адаптационные способности растений к «перемещению» в несвойственные для них физико-климатические условия произрастания. Долгосрочные и разносторонние исследования свидетельствуют о большом разнообразии форм и разновидностей, что даёт возможность проводить селекцию по множеству признаков с целью обеспечения лесосеменной базы регионов районированными семенами, прошедшими испытания в ряде поколений. С другой стороны, географические культуры могут рассматриваться как модель по предсказанию последствий изменения климата [18; 22; 23]. В 70-х годах XX века программа по созданию географических культур (сосны, ели, лиственницы, сосны кедровой, пихты, дуба) охватила все лесорастительные районы страны [15]. Однако закладка объектов сосны кедровой с использованием однородного семенного материала состоялась только в трёх регионах: в пределах ареала вида - в Красноярском крае и Хабаровском крае, и вне ареала - в Ленинградской области [17].

Сосна кедровая, обладая значительной адаптационной способностью, успешно интродуцирована во многие регионы европейской части России [2; 4; 9; 19; 20]. Как отмечает М. М. Игнатенко, искусственные посадки кедровых сосен можно встретить далеко за пределами ареала, «...от Мурманского Заполярья до лесостепной зоны Орловской области, где не только растут 100-летние кедр, но и успешно «цветут» и семеносят» [6].

Устойчивость кедровых сосен к грибным болезням является важным показателем, определяющим не только актуальность выращивания в регионе, но и

указывающим на требовательность вида к агротехнике выращивания. В географических культурах Красноярского края было выявлено заражение кемеровского потомства, ослабленного ещё в период раннего онтогенеза, плодосумчатым грибом *Lophodermella sulcigena*. Развитию болезни способствовало сочетание факторов: высокий снежный покров, период таяния снега и начало вегетации [5].

Изучение роста и состояния сосны кедровой различных происхождений в разных пунктах испытания позволяет проследить внутривидовую дифференциацию и общие биологические и экологические свойства вида, учёт которых очень важен при интродукции и разработке мероприятий по повышению эффективности производства культур кедровых сосен [8; 11].

Цель работы - сравнительная оценка состояния и динамики сохранности и роста сосны кедровой сибирской в 35-летних географических культурах Ленинградской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект географических культур сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) расположен в Гатчинском лесничестве, имеет географические координаты 59°09' с.ш. и 30°02' в.д. и относится к Балтийско-Белозерскому таежному лесному району. Высота над уровнем моря – 80 м. Культуры заложены осенью 1984 г. под руководством сотрудников ЛенНИИЛХ Н.И. Уваровой, Л.Н. Филипповой и Г.К. Марисой. Площадь объекта - 2,5 га.

Испытываются семенные потомства/варианты 6 климатипов. Материнские климатипы, в которых были заготовлены шишки, представлены чистыми кедровниками (№ пунктов – 12, 19, 22, 30) и смешанными по составу насаждениями с преобладанием сосны кедровой (№ пунктов – 7, 11) (табл. 1).

Таблица 1

Географическая и климатическая характеристики мест заготовки семян, использованных для закладки географических культур *Pinus sibirica* в 1984 г. в Ленинградской обл.

Лесной район	№ пункта по гос. реестру. Район заготовки семян (регион, лесхоз)	Географические координаты		Высота над у. м., м	Период с $t > +5^{\circ}\text{C}$, дней	Σ осадков при $t > +5^{\circ}\text{C}$, мм
		с.ш.	в.д.			
Западно-Сибирский южно-таежный равнин.	12. Томская область, Томский л-з	56°30'	85°01'	100	155	210
Алтае-Саянский горно-таежный	6. Кемеровская обл., Таштагольский л-з	52°10'	86°50'	700	151	230
	11. Красноярский край, Манский л-з	52°54'	92°06'	800	145	220
Средне-Сибирский под-таежно-лесостепной	22. Иркутская обл., Нижнеудинский л-з	55°00'	99°02'	450	146	220
Байкальский горный лесной	19. Респ. Бурятия, Бичурский л-з	50°35'	107°30'	700	140	250
Восточно-Сибирский таежный мерзлотный	30. Республика Саха (Якутия), Ленский л-з	60°47'	115°24'	300	110	165

Почвы на участке – грубогумусные, среднеподзолистые, суглинистые, свежие. Посадка проводилась на месте вырубки из-под елово-березового насаждения I класса бонитета, по частично раскорчеванной площади, в пласт с обеих сторон плужной борозды, вручную, 5-летними (2+3) саженцами. Расстояние между центрами борозд – 5,5–6,5 м, шаг посадки – 2 м, густота посадки – 1,6 тыс. шт./га. Уходы в культурах не проводились (только частично, в первые годы после посадки – силами авторов опыта и в 2000–2001 гг. – их последователями). В результате пожара вдоль дороги, произошедшего весной 1992 г., пострадало потомство иркутского климата № 22; потомство климата № 7 происхождением из Ермаковского лесхоза Красноярского края (53°18' с.ш., 92°24' в.д.) выгорело почти полностью и не учитывается при проведении сравнительного анализа развития культур. Фактор пожара и отсутствие уходов затрудняют оценку развития потомств с точки зрения их географического происхождения.

Текущий этап исследований выполнен в культурах 35-летнего возраста (биологический возраст – 40 лет), в соответствии с методикой ВНИИЛМ [7]. Сохранность по потомству определена как отношение числа живых особей к числу изначально высаженных по варианту. У всех живых деревьев сосны кедровой замерены диаметры стволов на высоте груди ($D_{1.3}$) с точностью до 0,1 см. Высоты (H) замерены с точностью до 0,1 м, с помощью шеста или высотомера; в бурятском потомстве – в количестве 50 шт.; в остальных потомствах учтены высоты всех деревьев. На основании полученных данных рассчитаны средние значения параметров роста и суммарный оценочный показатель D^2H . Фитопатологическое обследование выполнено согласно методике А. И. Воронцова и др. [3]. Определена категория состояния деревьев и рассчитаны средние ее значения по потомствам.

Для математической обработки данных использована программа MS Office Excel 97-2003. Достоверность коэффициента корреляции оценивали по t -критерию Стьюдента. При уровне значимости $P = 0,10$ ($t_{st} = 2,0150$) корреляция достоверна при $r \geq 0,710$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что в раннем возрасте сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour) характеризуется как теневыносливая порода, но с возрастом потребность её в освещении возрастает и достигает максимума в период наибольшего прироста в высоту и по диаметру. На степень светолюбивости влияют климатические и почвенные условия; на северной границе ареала сосна кедровая становится более требовательной к свету [1]. На объекте географических культур в Гатчинском лесничестве на протяжении многолетнего периода развития сосны кедровой наблюдается негативное воздействие такого фактора как заглушение травяно-кустарничковой растительностью, затенение и охлещивание аборигенными видами – самосевом хвойных (сосной обыкновенной, елью), порослью и самосевом лиственных пород (осиной, берёзой, ивой, рябиной). В результате значительно ухудшается

состояние и рост кедров. Замедленный темп роста сосны кедровой обусловлен и таким немаловажным фактором как переувлажнением почв, особенно в дождливые и холодные вегетационные периоды, когда поднимается уровень грунтовых вод [12]. На нашем объекте в отдельные годы в бороздах между рядами наблюдалась застойная вода. Антропогенный фактор (расположение недалеко от посёлка, рядом с дорогой и со строительством ЛЭП) тоже негативно влияет на развитие культур.

Оценка развития потомств на объекте в течение 35 лет показала, что этот вид имеет огромный потенциал к выживанию в самых неблагоприятных для него условиях; в 16-летних культурах встречались сильно заглушенные травой живые особи высотой 30–50 см, без признаков болезней.

Оценка сохранности. Первые 5–6 лет развития потомств в культурах показало хорошую приживаемость саженцев, которая, в зависимости от варианта, варьировала в пределах 80–95 % (табл. 2).

В связи с пожаром, произошедшим в 7-летних культурах, сильно пострадал иркутский вариант. К 8-летнему возрасту почти вдвое сократилась сохранность в потомстве якутского климата, самого удаленного от места испытания на восток. Усиление с возрастом требовательности сосны кедровой к освещенности, в тоже время, в связи с отсутствием уходов в течение длительного периода времени наблюдалось постепенное, затем резкое, снижение сохранности. За последние 8 лет наиболее значительный отпад – 43–48 %, наблюдался в потомствах западных происхождений – томском и кемеровском, которые ранее отличались лучшей сохранностью; в красноярском потомстве и крайне южном – бурятском отпад составил 30–31 %. Оставшиеся потомства – иркутское и якутское давно отличаются низкой сохранностью и отпад за 8 лет в них составил 18–18,5 %. В 35-летних культурах лучшими по сохранности (5,8–6,4 %) выделены кемеровское, красноярское и бурятское потомства. Доля влияния фактора происхождения с изменением северной широты составила до 78 %.

Оценка роста. Сосна кедровая – медленнорастущая порода, что обусловлено биологическими особенностями вида, которые формировались в условиях сурового климата. В Ленинградской области период роста продолжается, начиная с 5–15 мая, около 40 дней, что обеспечивает раннее окончание роста побегов и их зимостойкость [6]. На самых ранних этапах развития сосны кедровой в школьном отделении Л.Н. Филиппова и др. [21] отмечали, что продолжительность роста побегов варьировала от 27 до 38 дней, показатели роста – низкие; по окончании роста осевого побега хвоя во всех вариантах продолжала расти ещё в течение месяца. Единичные саженцы имели вторичный рост, однако связь этого с географическим происхождением семян не установлена. Саженцы иркутского происхождения по росту опережали все другие потомства на 15–47 %. Как показали дальнейшие исследования, это потомство является самым преуспевающим или одним среди лучших по росту на протяжении всего срока испытаний (табл. 3).

Таблица 2
Динамика сохранности потомств

№ пункта по гос. реестру	Район заготовки семян (регион, лесхоз)	Сохранность в возрасте, %				
		6 лет	8 лет	16 лет	27 лет	35 лет
12	Томская область, Томский л-з	82	67	62	51	3,0
6	Кемеровская обл., Таштагольский л-з	95	87	75	49	5,8
11	Красноярский край, Манский л-з	90	66	63	37	6,0
22	Иркутская обл., Нижнеудинский л-з	83	25	21	20	2,0
19	Респ. Бурятия, Бичурский л-з	91	88	66	36	6,4
30	Респ. Саха (Якутия), Ленский л-з	80	43	40	20	1,5
<i>В среднем по объекту</i>		<i>86,8</i>	<i>62,7</i>	<i>54,5</i>	<i>35,5</i>	<i>4,1</i>

Таблица 3
Динамика роста потомств по диаметру и высоте и суммарный оценочный показатель D^2H

№ пункта по гос. реестру	Район заготовки семян (регион, лесхоз)	Показатели роста культур в возрасте								
		16 лет			27 лет*			35 лет*		
		$D_{1,3}$, см	H , м	D^2H , dm^3	$D_{1,3}$, см	H , м	D^2H , dm^3	$D_{1,3}$, см	H , м	D^2H , dm^3
12	Томская обл., Томский л-з	2,98	2,7	2,40	<u>5,86</u> 1,5-12,2	<u>5,0</u> 1,6-9,7	17,17	<u>5,78</u> 2,5-10,0	<u>5,9</u> 2,9-11,0	19,71
6	Кемеровская о., Таштагольский	2,78	2,5	1,90	<u>6,12</u> 1,5-13,5	<u>5,3</u> 2,0-9,2	19,85	<u>6,89</u> 3,5-19,0	<u>6,3</u> 4,5-15,0	29,91
11	Красноярский край, Манский	2,27	2,2	1,13	<u>5,02</u> 1,0-9,6	<u>3,9</u> 1,3-8,5	9,83	<u>7,55</u> 1,4-14,0	<u>7,0</u> 1,5-14,5	39,90
22	Иркутская обл., Нижнеудинский	3,39	2,5	2,91	<u>7,61</u> 1,0-12,1	<u>5,5</u> 3,2-8,1	31,85	<u>9,00</u> 5,0-13,0	<u>7,5</u> 3,5-11,0	60,75
19	Р. Бурятия, Бичурский л-з	2,83	2,5	2,03	<u>5,56</u> 1,5-11,9	<u>4,6</u> 1,5-6,8	14,22	<u>5,55</u> 1,6-12,5	<u>4,8</u> 2,0-8,5	14,52
30	Р. Саха (Якутия), Ленский л-з	2,00	2,0	0,82	<u>4,61</u> 0,5-8,5	<u>4,1</u> 1,3-6,2	8,71	<u>4,16</u> 0,5-9,0	<u>3,8</u> 1,3-8,0	6,58
<i>Среднее по объекту</i>		<i>2,71</i>	<i>2,71</i>	<i>2,40</i>	<i>1,87</i>	<i>5,80</i>	<i>4,73</i>	<i>16,94</i>	<i>6,49</i>	<i>5,88</i>

Примечание: * в знаменателе – лимиты по росту.

В первые годы после закладки объекта на рост культур большее влияние оказывали микроусловия посадочного места и повреждаемость лосями, чем факторы географического происхождения семян. В 8-летних культурах красноярское потомство оценивалось как лучшее и занимало I ранг [16]. Учеты в культурах 16- и 27-летнего возраста показали, что II–III ранги по росту имели кемеровское и томское потомства; в 35 лет – красноярское и также кемеровское потомства. Крупные особи, диаметром 14–19 см и высотой 14,5–15,0 м, встречены в кемеровском потомстве. При этом в каждом из потомств наблюдается очень высокая вариабельность показателей роста. Потомства с высокими рангами соответственно имеют и высокий суммарный оценочный показатель объема ствола D^2H (29,9–60,7 m^3). Статус самого ослабленного остается за крайне восточным якутским потомством (6,6 m^3). Последние 10 лет очень интенсивно выпадают не только тонкомерные и низкорослые, но и крупные по росту деревья, в связи, прежде всего, с запущенностью объекта, что приводит к снижению оценки результатов исследований.

Несмотря на ряд факторов, снижающих степень фактического влияния географической изменчивости вида, на всех возрастных этапах установлена зависимость сохранности и роста потомств от местонахож-

дения материнских климатипов. С удалением мест заготовок шишек на север и восток сохранность и рост потомств хуже. Достоверность корреляционных зависимостей в возрасте культур 8 и 16 лет не прослежена в связи с утратой большей части иркутского варианта в 7-летних культурах. Если исключить этот вариант из расчёта, то в большинстве случаев существует достоверная высокая и очень высокая связь сохранности с географическим происхождением потомств (с северной широтой: $r = -0,868 \div -0,925$; с восточной долготой: $r = -0,720 \div -0,935$). Связь диаметров и высот с географическим происхождением потомств выражена слабее (с северной широтой: $r = -0,214 \div -0,444$; с восточной долготой: $r = -0,332 \div -0,679$). Факторы климата – тепло- и влагообеспеченность на родине климатипов, имеют большое значение при интродуцировании кедровых сосен. Чем больше осадков при температуре более +10°C и выше сумма эффективных температур, тем сохранность выше ($r = +0,771$ и $r = +0,435$ соответственно) и рост потомств лучше ($r = +0,439 \pm +0,461$ и $r = +0,614 \pm +0,742$ соотв.). Влияние высоты над уровнем моря на родине на рост дочерних потомств не выявлено.

Фитопатологическое состояние культур. Одной из основных причин снижения устойчивости потомств является угнетенное состояние [14]. Как след-

ствии угнетения, в культурах выявлены очаги некротических заболеваний – пузырчатого и побегового рака. Распространенность болезни составила от 16–20 % (кемеровское, красноярское, бурятское потомства) до 30–35 % (томское и якутское потомства) (рис. 1).

Ржавчинный гриб *Cronartium ribicola* Dietr., является возбудителем «пузырчатого ржавчинного рака пятихвойных сосен» или «пузырчатого рака кедра», вторым хозяином которого является успешно произрастающая в подлеске смородина (*Rubus nigrum*). Заражение происходит чаще весной, посредством базидиоспор, созревших на листьях смородины. С зараженной хвои, а затем молодых побегов мицелий проникает в древесину ветвей и стволов, на которых возникают утолщения, превращающиеся в многолетние, ступенчатые, смолоточащие раны. Постепенно поражение вызывает усыхание кроны, ослабление и гибель деревьев [10].

Возбудителем побегового рака сосны (склеродерриоза), является сумчатый гриб *Scleroderris lagerbergii* Gremm. Заражение происходит с помощью конидий и аскоспор, разносимых ветром. Развитие побегового рака способствует ослаблению деревьев

вследствие нарушения гидрологического режима почв и таких особенностей климата области как поздние весенние заморозки и возможные холодные, дождливые вегетационные периоды.

Поражение опенком летним (*Kuehneromyces mutabilis* (Schaeff.: Fr.) Sing et Smith)) встречено в якутском потомстве, в котором на стволе усыхающего кедра были зафиксированы плодовые тела гриба.

Многовершинность, наблюдавшаяся на высоте 3–4 м во всех потомствах, является результатом снеголома, заморозков, или возможно, грибных заболеваний; доля встречаемости многовершинных кедров составила 10–17 %.

Оценка результатов детального обследования культур указывает на сильно ослабленное состояние потомств, утрачивающих устойчивость. На долю сильно ослабленных и усыхающих приходится 68÷100 %. Доля сухостоя прошлых лет составляет 64 % от общего числа учтенных деревьев. Балл состояния сосны кедровой во всех вариантах примерно одинаков и колеблется в пределах 3,35÷3,70. Средневзвешенный балл состояния по объекту – 3,55 (табл. 4).



Рис. 1. Пузырчатый рак, вызванный *Cronartium ribicola* Dietr. (слева); побеговый рак сосны, вызванный *Scleroderris lagerbergii* Gremm., побуревшая повисшая хвоя (справа)

Таблица 4
Детальное обследование потомств климатипов *Pinus sibirica* Du Tour

№ пункта по гос. реестру	Район заготовки семян (регион, лесхоз)	Учено живых деревьев, шт.	Количество учтенных деревьев по категории состояния, шт.						Балл состояния, R
			1	2	3	4	5	6	
12	Томская обл., Томский л-з	21	1	4	8	8	7	24	3,57
6	Кемеровская обл., Таштагольский л-з	41	3	10	16	12	11	105	3,35
11	Красноярский край, Манский л-з	42	1	3	22	16	7	45	3,37
22*	Иркутская обл., Нижнеудинский л-з	10	0	2	4	4	3	26	3,62
19	Респ. Бурятия, Бичурский л-з	58	1	4	18	35	9	113	3,70
30	Респ. Саха (Якутия), Ленский л-з	8	0	0	5	3	1	9	3,56
<i>Итого по объекту</i>		<i>180</i>	<i>6</i>	<i>23</i>	<i>73</i>	<i>78</i>	<i>38</i>	<i>322</i>	<i>3,546</i>

Примечание: *Потомство, пострадавшее от пожара в 1992 г.

Отмечена тенденция лучшего состояния у потомств западных происхождений ($r = 0,556$).

В Ленинградской области есть объект географических культур сосны кедровой сибирской, заложенный М. В. Твеленёвым в 1966 г.; в координаты объекта: 59°30' с.ш. и 30°52' в.д. В опыте участвуют потомства климатипов происхождением из Горного Алтая, Восточных и Западных Саян, Томской обл., Урала, Забайкалья, Республики Коми, а также потомство, интродуцированное в Тверской обл. Объект, которому скоро будет 60 лет, не обследовался несколько десятилетий, тем не менее он является ценной информацией о способности кедровой сосны к интродукции на северо-запад России. Несмотря на запущенность культур, на момент осмотра в 2021 г. кедровые сосны разных категорий состояния имели диаметр 15–20 см и достигали высот ориентировочно 12–18 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В географических культурах сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour), расположенных в Гатчинском лесничестве, за последние 8 лет исследований отмечено наиболее резкое снижение сохранности; к 35-летнему возрасту культур (биологический возраст – 40 лет) она составила в среднем 4,1 %. Всего на объекте сохранилось около 180 кедровых сосен.

В 2019 г. лучшим ростом характеризовались потомства происхождением из Нижнеудинского лесхоза Иркутской обл. и Манского лесхоза Красноярского края. Тем не менее, самые рослые деревья – в потомстве климатипа из Таштагольского лесхоза Кемеровской обл. Потомство происхождением из Томского лесхоза Томской обл., несмотря на наименее удаленное географическое расположение по отношению к Ленинградской обл., уступает вышеперечисленным.

Культуры находятся в сильно ослабленном состоянии, утрачивая свою устойчивость. На объекте наблюдается очаг раковых заболеваний: пузырчатый рак, вызванный грибом *Cronartium ribicola* Dietr. и побеговый рак, вызванный грибом *Scleroderris lagerbergii* Gremm.

Прослежена зависимость: крайне северные и восточные потомства (из числа учтённых на объекте) менее приспособлены к физико-климатическим условиям района испытания. Причин, не связанных с географическим происхождением потомств, но вызвавших негативную реакцию сосны кедровой на условия произрастания, несколько. Это, в первую очередь, заглушение аборигенными древесными породами, временное переувлажнение почв, наличие антропогенного воздействия.

Учитывая Лесосеменное районирование 1982 г. [13] и результаты мониторинга исследований, в Ленинградском лесосеменном районе рекомендуется использование семян сосны кедровой сибирской из таёжных районов, расположенных южнее 59° с.ш. и западнее 99° в.д.; в качестве поставщиков семян могут быть признаны Кемеровская, Томская, Иркутская (3) обл., Красноярский край (ю, ю-з).

При лесовыращивании сосны кедровой вне ареала распространения необходимо учитывать биологические особенности и географическую изменчивость

вида. Сосна кедровая как ценный и перспективный интродуцент на северо-западе России, нуждается в проведении регулярных мер ухода.

Объект географических культур сосны кедровой сибирской, заложенный Михаилом Васильевичем Твеленёвым, заслуживает проведения полноценного изучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бех И. А., Таран И. В. Сибирское чудо-дерево. Новосибирск : Наука, Сиб. отд., 1979. 126 с.
2. Брынцев В. А., Коженкова А. А. Географическая изменчивость сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) при интродукции // Лесной журнал (Изв. высш. учеб. завед.). 2016. № 6. С. 89–97.
3. Воронцов А.И., Мозолевская Е. Г., Соколова Э. С. Технология защиты леса. М. : Экология, 1991. 304 с.
4. Гиргидов Д. Я. Опыт разведения кедра сибирского в Ленинградской области // Кедр сибирский на европейском севере СССР: его распространение, возобновление и культура. Л. : Наука, 1972. С. 31–40.
5. Гродницкая И. Д., Кузнецова Г. В. Устойчивость к грибным болезням кедровых сосен (*Pinus sibirica* Du Tour и *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) в географических культурах на юге Красноярского края // Сибирский лесной журнал. 2014. № 3. С. 164–171.
6. Игнатенко М. М. Кедр сибирский (биология, интродукция, культура). М. : Наука. 1988. 159 с.
7. Изучение имеющихся и создание новых географических культур: Программа и методика работ / под ред. Е. П. Проказина / Пушкино: ВНИИЛМ, 1972. 52 с.
8. Ирошников А. И. Кедр сибирский. Географические культуры. М.: ВДНХ СССР, 1983. 3 с.
9. Ирошников А. И., Твеленёв М. В. Изучение генофонда, интродукции и селекции кедровых сосен // Лесоведение, 2001. № 4. С. 62–68.
10. Крутов В. И., Минкевич И. И. Грибные болезни древесных пород: учебное пособие. Петрозаводск, 2002. 196 с.
11. Кузнецова Г. В. Изучение изменчивости у климатипов кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) на юге Красноярского края // Хвойные бореальной зоны. Т. XXIV. № 4-5. 2007. С. 423–426.
12. Кузнецова Г. В., Грек В. С. Адаптация кедровых сосен *Pinus sibirica* Du Tour и *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc. к различным экологическим факторам в местах их тестирования // Сибирский лесной журнал. 2016. № 5. С. 63–71.
13. Лесосеменное районирование основных лесобразующих пород в СССР. М.: Лесная пром-сть, 1982. 368 с.
14. Межина К. М., Варенцова Е. Ю., Николаева М. А. Фитопатологическое состояние и характер роста *Pinus sibirica* Du Tour в географических культурах Гатчинского лесничества // Мат-лы молодёжной междунауч.-практич. конф., 29–30 ноября 2017 г. Санкт-Петербург. СПб: Изд. Политехн. ун-та, 2017. С. 136–141.
15. Мерзленко М. Д. История лесосеменного дела в России // Научные труды МГУЛ. М.: МГУЛ, 1999. Вып. 297. С. 135–140.

16. Николаева М. А. Перспективы интродукции сосны кедровой сибирской на северо-запад России // Современные проблемы интродукции и сохранения биоразнообразия растений : Мат-лы 2-й междунауч. конф., посвященной 75-летию Ботанического сада и 100-летию со дня рождения проф. С. И. Машкина (3–5 окт. 2012 г.). Воронеж: Роза ветров, 2012. С. 134–138.

17. Приказ Федеральной службы лесного хозяйства № 88 от 16.04.99 г. «Об инвентаризации географических лесных культур» (не действ. с 01.01.2021).

18. Прожерина Н.А., Наквасина Е.Н. Изменение климата и его влияние на адаптацию и внутривидовую изменчивость хвойных пород Европейского Севера России // Изв. вузов. Лесной журнал. 2022. № 2. С. 9–25.

19. Таланцев Н. К. Кедр. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 96 с.

20. Твеленёв М. В., Ушаков Я. Д., Елинецкий Л. М. и др. Наставление по выращиванию кедра сибирского в европейской части РСФСР. М. : Минлесхоз РСФСР, 1971. 44 с.

21. Филиппова Л. Н., Уварова Н. И., Марисая Г. К. Использование географической изменчивости хвойных на Северо-Западе РСФСР. Рукопись. 1983.

22. Chabounine D. A., Pelevina N. N., Nikolaeva M. A. The stability of the forests of north-west regions of Russia under conditions of global climate warming // Assessment, Conservation and Sustainable Use of Forest Biodiversity. CBD Technical Series no. 3. Montreal, SCBD, 2001. P. 60–61.

23. Persson T., Andersson B. Genetic variance and covariance patterns of growth and survival in northern *Pinus sylvestris* // Scand. J. For. Res. 2003. V. 18. P. 332–343.

REFERENCES

1. Beh I. A., Taran I. V. Siberian miracle tree. Novosibirsk: Science, Sib. Branch, 1979. 126 p.

2. Bryntsev V. A., Kozhenkova A. A. Geographical variation of Siberian stone pine (*Pinus sibirica* du Tour) at the introduction // Russian Forestry Journal, 2016, no. 6. Pp. 89–97.

3. Vorontsov A. I., Mozolevskaya E. G., Sokolova E. S. Forest protection technology. M.: Ecology, 1991. 304 p.

4. Girgidov D. Ya. Experience in forest cultures Siberian stone pine in the Leningrad region // Siberian stone pine in the European North of the USSR: its distribution, regeneration and culture. Leningrad: Science, 1972. Pp. 31–40.

5. Grodnitskaya I. D., Kuznetsova G. V. Sustainability to fungal diseases of cedar pines (*Pinus sibirica* Du Tour and *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) in provenance trials in the south Krasnoyarsk Krai // Siberian Journal of Forest Science. 2014. № 3. Pp. 164–171.

6. Ignatenko M. M. Siberian stone pine (biology, introduction, plantation). M.: Science. 1988. 159 p.

7. The study of available and creation of new provenance trials: Program and methods of work / Edited by Ye. P. Prokazin / Moscow: VNIILM, Pushkino, Russia, 1972. 52 p.

8. Iroshnikov A. I. Siberian stone pine. Provenance trials. M.: VDNH USSR, 1983. 3 p.

9. Iroshnikov A. I., Tvelenev M. V. Study of the gene pool, introduction and selection of cedar pines // Russian

Journal of Forest Science (Lesovedenie), 2001. № 4. Pp. 62–68.

10. Krutov V. I., Minkevich I. I. Fungal diseases of tree species: Training manual. Petrozavodsk, 2002. 196 p.

11. Kuznetsova G. V. Study of variability in climatypes of the Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) in the south of the Krasnoyarsk Krai // Coniferous boreal zone. 2007. Vol. XXIV. № 4-5. Pp. 423–426.

12. Kuznetsova G. V., Grek V. S. Adaptation of cedar pines *Pinus sibirica* Du Tour and *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc. to various environmental factors in the places of their testing // Siberian Journal of Forest Science. 2016. No 5. Pp. 63–71.

13. Forest-seeded zoning of the main forest-forming species in the USSR. M.: Timber industry, 1982. 368 p.

14. Mezhdina K. M., Varentsova E. Yu., Nikolaeva M. A. Phytotopological status and growth character of *Pinus sibirica* Du Tour in provenance trials of the Gatchiny Forest District // Materials of the Youth Intern. scientific-practical Conf. (Nov. 29-30, 2017). Saint-Petersburg. SPb.: Polytechnic University, 2017. Pp. 136–141.

15. Merzlenko M. D. // History of forest seeding in Russia // Scientific works of MGUL. M.: MGUL, 1999. Vol. 297. Pp. 135–140.

16. Nikolaeva M. A. Prospects for the introduction of Siberian stone pine to the north-west of Russia // Modern problems of introduction and conservation of plant biodiversity: Materials 2nd Inter. Sc. Conf., dedicated to the 75th anniversary of the Botan. Garden and the 100th anniversary of the birth of Prof. S. I. Mashkin (Oct. 3–5, 2012). Voronezh: Wind Rose, 2012. Pp. 134–138.

17. Order of the Federal Forestry Service № 88 от 16.04.99 г. «On the inventory of provenance trials» (not active with 01.01.2021).

18. Prozherina N. A., Nakvasina E. N. Climate change and its impact on adaptation and intraspecific variability of conifer species of the European North of Russia // Russian Forestry Journal, 2022, no. 2, Pp. 9–25.

19. Talantsev N. Cedar. Moscow: Timber industry, 1981. 96 p.

20. Tvelenev M. V., Ushakov Ya. D., Elinetskiy L. M. et al. Instruction on cultivation of Siberian stone pine in the European part of the RSFSR. Moscow: Minleskhos RSFSR, 1971. 44 p.

21. Filippova L. N., Uvarova N. I., Marisaya G. K. Use of the geographical variability of conifers in the North-West of the RSFSR. Manuscript. 1983.

22. Chabounine D. A., Pelevina N. N., Nikolaeva M. A. The stability of the forests of north-west regions of Russia under conditions of global climate warming // Assessment, Conservation and Sustainable Use of Forest Biodiversity. CBD Technical Series no. 3. Montreal, SCBD, 2001. Pp. 60–61.

23. Persson T., Andersson B. Genetic variance and covariance patterns of growth and survival in northern *Pinus sylvestris* // Scand. Journal Forest Res. 2003. V. 18. Pp. 332–343.

© Николаева М. А., Варенцова Е. Ю.,
Межина К. М., 2022

Поступила в редакцию 22.05.2022
Принята к печати 01.09.2022

**РОСТ НАСАЖДЕНИЙ КЕДРОВОЙ СОСНЫ *PINUS SIBIRICA* DU TOUR
РАЗНЫХ БОНИТЕТОВ: ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕГУЛИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ**

В. Г. Суховольский^{1,3}, Ю. Д. Иванова², А. В. Ковалев³

¹Институт леса им. В. Н. Сукачева, обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
Российская Федерация, 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

²Институт биофизики, обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
Российская Федерация, 660036, Красноярск, Академгородок, 50/50

³ФИЦ КНЦ СО РАН, Российская Федерация, 660036, Красноярск, Академгородок, 50
E-mail: soukhovolsky@yandex.ru

В работе показано, что влияние регулирующих факторов на рост кедровых насаждений не зависит от бонитета насаждения и может рассматриваться как фактор, характерный для породы. Различия в расчетных характеристиках насаждений разных бонитетов наблюдаются уже в возрасте 20 лет и для регуляции ростовых процессов можно оказывать влияние на рост молодняков, например, через внесение в этих возрастах удобрений. Повышенный прирост фитомассы в этих возрастах может вести в дальнейшем к росту насаждений уже без влияния этого внешнего фактора.

Ключевые слова: кедр сибирский, насаждения, возраст, бонитет, таксационные характеристики, фракции, распределение, регулирующие факторы.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 5, P. 388–394

**GROWTH OF STANDS OF CEDAR PINE *PINUS SIBIRICA* DU TOUR
OF DIFFERENT GROWTH TYPES: ASSESSMENT OF THE INFLUENCE
OF REGULATORY FACTORS**

V. G. Soukhovolsky^{1,3}, Yu. D. Ivanova², A. V. Kovalev³

¹V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS
Russian Federation, 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28

²Institute of Biophysics SB RAS
Russian Federation, 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/50

³Federal Research Center SB RAS
Russian Federation, 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50
E-mail: soukhovolsky@yandex.ru

The paper shows that the influence of regulatory factors on the growth of Siberian pine does not depend on the growth rate of the plantation and can be considered as a factor characteristic of the tree species. Differences in the calculated characteristics of forests of different bonites are observed already at the age of 20 years, and in order to regulate growth, it is possible to influence the growth of young stands, for example, through the application of fertilizers at these ages. An increased growth of phytomass at these ages can lead to further growth of stands without the influence of this external factor.

Keywords: Siberian pine, stands, age, quality class, taxation characteristics, fractions, distribution, regulatory factors.

ВВЕДЕНИЕ

В российской лесной науке и практике лесопользования под бонитетом понимается таксационная характеристика лесного насаждения, характеризующая потенциальную продуктивность насаждения и скорость роста деревьев (Анучин, 1960; Моисеев и др., 1974). Бонитет определяется по характеристикам фитомассы древесных растений и насаждений. Оценки биологической продуктивности насаждений крайне важны для решения задач оптимального выращивания леса, анализа динамики круговорота углерода в био-

сфере и скорости его утилизации деревьями из атмосферы. При этом, для понимания процессов роста древесных растений и депонирования в них углерода, важно иметь информацию о фитомассе фракций деревьев (стволов, корней, ветвей и листьев (хвои)) и изменении соотношения фитомасс различных фракций с возрастом (Алексеев, Бердси, 1994; Арутюнян, Уткин, 1986; Аткин, Аткина, 1989; Бузыкин и др., 2002; Габеев, 1976; Данилин, Цогт, 2015; Казимиров и др., 1978; Кузьмичев, 1977; Родин, Базилевич, 1965; Семечкина, 1978; Смирнов, 1971; Соколов и др., 1993;

Усольцев, 2002, 2007, 2010, Уткин, 1975, Швиденко и др., 2008; Clark et al.; 2001 Chen et al., 2004).

Определение бонитета позволяет перейти от непрерывной шкалы запасов фитомассы к порядковой шкале бонитетов. Для кедровых насаждений введено 6 классов бонитета, начиная с насаждений бонитета I (наиболее продуктивных) и заканчивая насаждениями бонитета Va (наименее продуктивных). На рис. 1 приведено соотношение между запасами фитомассы спелых кедровых насаждений в возрасте 300 лет и их бонитетами (Семечкин и др., 2005).

Как видно из рис. 1, запас фитомассы в насаждениях смежных бонитетов в возрасте 300 лет различается примерно на 90 т га^{-1} . При этом возникает вопрос – с чем связаны такие различия и воздействия каких групп факторов (регулирующих, связанных со значениями текущих характеристик фитомассы или модифицирующих, таких как погода, ландшафтные или почвенные характеристики) и в каком возрасте насаждения происходит «отрыв» насаждений разных бонитетов друг от друга, хотя на самых начальных этапах роста, вблизи возраста $T \approx 0$ различия между запасами насаждений разных бонитетов незначимы.

У дерева любой породы, включая сосну сибирскую *Pinus sibirica* Du Tour, существуют четыре основных функциональных структуры (фракции дерева), обеспечивающих его существование как целого. Это корни, ствол, ветви и хвоя (шишки как пятая фракция дерева формируются в массе не каждый год и их необходимо рассматривать отдельно). Исчезновение или уменьшение массы хотя бы одной из фракций может привести к ухудшению состояния дерева и даже к его гибели. Губительна для дерева и чрезмерная гипертрофия любой из фракций – высокое дерево с чрезмерно разросшейся кроной при малом диаметре ствола и малой фитомассе корней с неизбежностью станет легкой «добычей» ветра. Чрезмерно разросшиеся корни, защищая, с одной стороны, дерево от ветровых воздействий, отбирают ресурс, необходимый на синтез хвои, и фактически гибнут сами от недостатка поступающих из кроны продуктов фотосинтеза, необходимых для поддержания жизнедеятельности корня. Таким образом, дерево способно выжить только в случае, когда одни его фракции не получают одностороннего развития в ущерб другим и необходимо иметь фракции всех типов и в определенной пропорции.

Воздействие регулирующих факторов на кедровые насаждения оцениваются по изменению характери-

стик роста фракций с возрастом насаждения. Если различий между характеристиками скорости роста различных фракций насаждения нет, а абсолютные значения запаса различаются, эти различия можно отнести за счет влияния модифицирующих факторов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для расчета влияния регулирующих факторов на рост кедровых насаждений разных бонитетов использованы данные по фитомассе фракций насаждений разных бонитетов, приведенные в работе И.В. Семечкина и др., 2005. Эти данные используются для модельного расчёта соотношений между фитомассами фракций дерева (Суховольский, 1996, 2004; Исаев и др., 2007; Суховольский, Иванова, 2013) и на основе этой модели рассматривается влияние возраста насаждений разных бонитетов на изменение запаса.

Для уменьшения числа анализируемых переменных в описании процессов регуляции запаса фитомассы использована модель свободной конкуренции при распределении ресурсов, достигающихся дереву в процессе его роста. Для этого рассмотрим насаждение, состоящее из n фракций, характеризующихся фитомассами $x(i)$, конкурирующих между собой за поступающий в распоряжение системы ресурс E . Ранее нами для описания распределения фитомассы по фракциям использовалось ранговое распределение Ципфа-Парето (Суховольский, 1996):

$$M(i) = M(1) / i^b \quad (1)$$

где i – ранг компоненты (то есть ее номер в ряде $\{p\}$, начинающемся с максимального значения фитомассы фракции $M(1)$ (обычно это ствол), которому присваивается ранг 1).

После логарифмирования (1) можно перейти к логарифмически линейному уравнению:

$$\ln M(i) = a - b \ln i, \quad (2)$$

где $a = \ln M(1)$.

Величина b (коэффициент конкуренции фракций за фитомассу) – тангенс угла наклона прямой (2) характеризует степень неравенства распределения фитомассы по фракциям. Случай, когда $b \rightarrow \infty$, означает, что практически вся фитомасса находится в первой по рангу фракции. Случай, когда $b \rightarrow 0$, соответствует ситуации, когда вся фитомасса примерно поровну распределена между всеми фракциями.

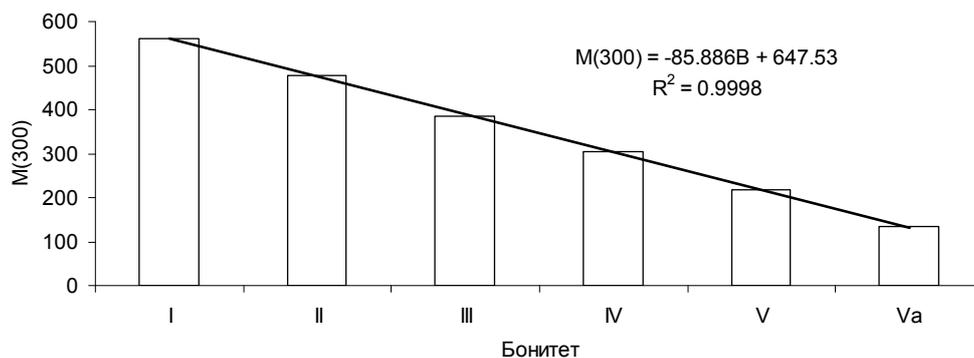


Рис. 1. Запас (т га^{-1}) в кедровых насаждениях разных бонитетов к возрасту 300 лет $M(300)$

Термин «свободная конкуренция» для описываемой системы используется в связи с тем, что параметры рангового распределения – одни и те же для всех компонент системы и стартовые условия в борьбе за ресурсы у всех компонент равны.

Из (1) можно получить уравнение для всей фитомассы дерева в возрасте T :

$$M(T) = \sum_{i=1}^4 M(i, T) = M(1, T) \cdot \sum_{i=1}^4 i^{-b(T)} = M(1, T) \cdot G(b, T), \tag{3}$$

где $G(b) = \sum_{i=1}^4 i^{-b} = \frac{1}{1^b} + \frac{1}{2^b} + \frac{1}{3^b} + \frac{1}{4^b}$.

Типичный вид рангового распределения фитомассы насаждения по фракциям представлен на рис.2.

Насколько точна модель (2)? Если она точна, соотношения фитомасс деревьев в базе данных должны соответствовать модели (2). В этом случае такой показатель, как коэффициент детерминации R^2 для отдельного насаждения должен быть очень близок к 1. В случае, если наблюдаются массовые отклонения данных от модели (2), это может указывать на некорректность модели. На рис. 3 приведено распределение значений R^2 для регрессионных уравнений (2) фитомасс насаждений всех бонитетов в разных возрастах.

Соответствие данных модели рангового распределения характеризовалось по величинам коэффициента

детерминации R^2 . Как следует из рис. 3, у 96.6 % всех регрессионных уравнений типа (2) коэффициент детерминации превосходит 0.96. Для уравнения (2) коэффициент детерминации значим на уровне $p = 0.95$ в случае, когда $R^2 > 0.9025$ (Кобзарь, 2006).

Однако при регрессионном анализе данных в двойных логарифмических координатах происходит их смещение, связанное с тем, что минимизируется не сумма невязок между значениями фитомасс из базы и значениями из регрессионных уравнений, а сумма невязок логарифмов этих величин (что не одно и то же). Возможно корректировать расчеты (Baskerville, 1972), однако при оценке ошибок ранее было найдено, что расхождение между расчетами с учетом того, что минимизируются невязки логарифмов и расчетами без учета этого обстоятельства соответствует расхождению в параметрах регрессии по второму знаку после запятой (Исаев и др., 2007). Такие различия можно не корректировать.

Как видно из рис. 3, для сосны кедровой уравнение (1) очень хорошо описывает распределение фитомасс насаждения по фракциям для описания динамики запаса фитомассы можно вместо четырех переменных значений фитомасс фракций использовать ряды изменений с возрастом T двух переменных – $a(T)$ – логарифма фитомассы $M(1, T)$ фракции ранга 1 (ствола) и коэффициента конкуренции за ресурс $b(T)$, характеризующий соотношения фитомасс разных фракций.

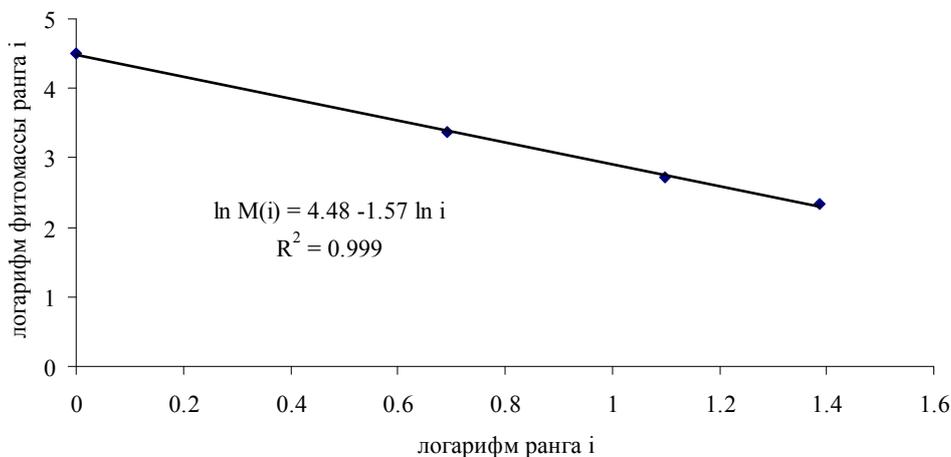


Рис. 2. Ранговое распределение фитомассы насаждения кедровой сосны по фракциям (возраст 40 лет, бонитет I)

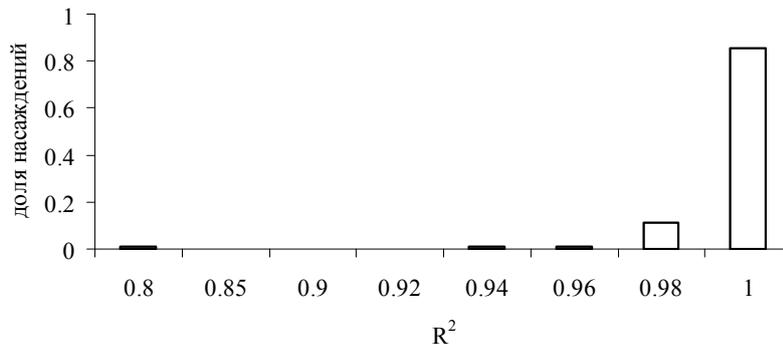


Рис. 3. Распределение значений R^2 для регрессионных уравнений (2) фитомасс насаждений всех бонитетов в разных возрастах

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Возрастная динамика параметра $a(T)$, характеризующего фитомассу фракции ранга 1 (стволов в насаждении) для кедровых насаждений разных бонитетов, представлена на рис. 4. Можно заметить, что различия в значениях параметра $a(T)$ наблюдаются уже в 20-летнем насаждении и во всех возрастах кривые значений параметра $a(T)$ для кедровых насаждений разных бонитетов не пересекаются и для всех возрастов выполняется условие $a(T, j) > a(T, j+1)$ (где j = номер бонитета).

Для переменной $a(T)$ введем величину скорости $W(T)$ изменения этого параметра с возрастом:

$$W(T) = \frac{a(T + \Delta T) - a(T)}{\Delta T}, \quad (4)$$

где $\Delta T = 20$ лет.

Динамика переменной $W(T)$ для насаждений разных бонитетов отражена на рис. 5.

Из рис. 5 следует, что в возрастах 20 – 80 лет величина скорости роста параметра $a(T)$ зависит от возраста. С увеличением возраста насаждений влияние возрастного регуляторного фактора на скорость роста $W(T)$ уменьшается. Можно сказать, что насаждения

бонитетов II – Va пытаются «приблизиться» к насаждениям бонитета I по параметру $a(T)$, однако это не удается.

Насколько изменяется с возрастом насаждения значения коэффициента конкуренции b на ресурс между фракциями насаждений разных бонитетов? На рис. 6 отражена динамика $b(T)$ для насаждений разных бонитетов.

Для параметра b , точно так же, как и для параметра a , с возрастом сохраняется порядок связи b с бонитетом. В качестве показателя возрастной динамики изменения коэффициента конкуренции b для кедровых насаждений разных бонитетов будем рассматривать величину $V(T)$:

$$V(T) = \frac{b(T + \Delta T) - b(T)}{\Delta T}. \quad (5)$$

Динамика переменной $V(T)$ для насаждений разных бонитетов представлена на рис. 7.

Как указано выше, влияние регулирующих факторов выражается через зависимость изменения оцениваемого параметра от значения переменной, характеризующей регуляцию.

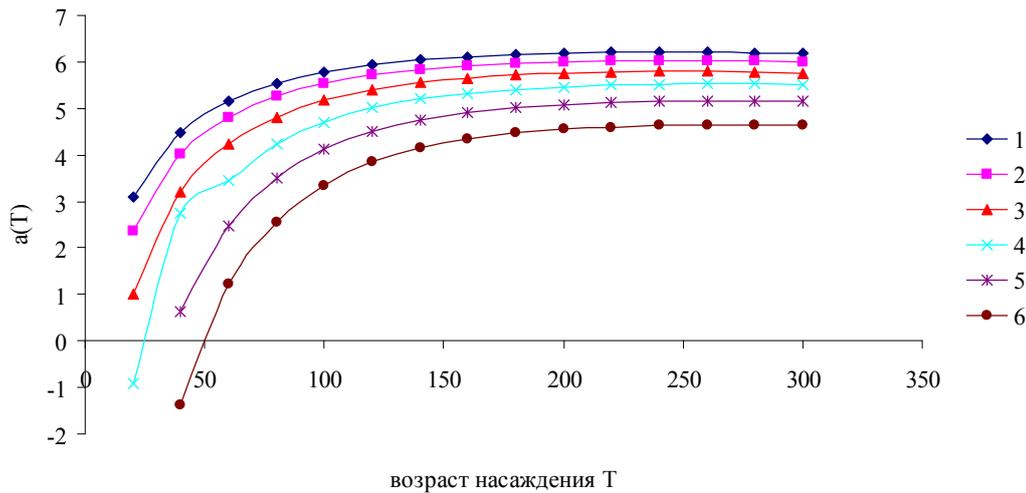


Рис. 4. Возрастная динамика параметра $a(T)$ для кедровых насаждений разных бонитетов: 1 – бонитет I; 2 – бонитет II; 3 – бонитет III; 4 – бонитет IV; 5 – бонитет V; 6 – бонитет Va

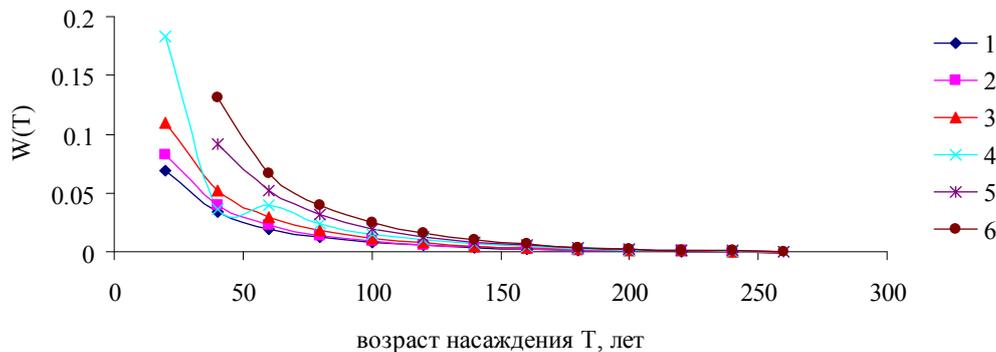


Рис. 5. Динамика переменной $W(T)$ для насаждений разных бонитетов: 1 – бонитет I; 2 – бонитет II; 3 – бонитет III; 4 – бонитет IV; 5 – бонитет V; 6 – бонитет Va

Если рассматривать параметры $a(T)$ и $b(T)$ как показатели процесса регуляции деревьев в насаждениях, то их влияние должно выражаться через связи этих параметров с изменениями их значений. Так, возможное влияние регулирующего параметра a можно охарактеризовать связью между значением a и величиной $WR(a(T))$:

$$WR(a(T)) = \frac{b(T + \Delta T) - b(T)}{b(T)}. \quad (6)$$

Возможное влияние параметра b можно охарактеризовать связью между значением b и величиной $VR(b(T))$:

$$VR(b(T)) = \frac{b(T + \Delta T) - b(T)}{b(T)}. \quad (7)$$

На рис. 8 отражена связь между величинами $a(T)$ и $WR(a(T))$, а на рис. 9 – связь между величинами $b(T)$ и $VR(b(T))$ для насаждений всех бонитетов.

Как видно из рис.8 и 9, влияние параметров $a(T)$ и $b(T)$ как индикаторов регулирующих факторов уменьшается по экспоненте при увеличении их значений. При этом влияние этих параметров на скорость их изменения не зависит от бонитета насаждения. Показатель экспоненты для зависимости $VR(b(T))$ больше по абсолютному значению, чем показатель экспоненты для зависимости $WR(a(T))$. По достижению некоторых критических значений $a \approx 3$ и $b \approx 2$ зависимость переменных $WR(a)$ и $VR(b)$ практически исчезает.

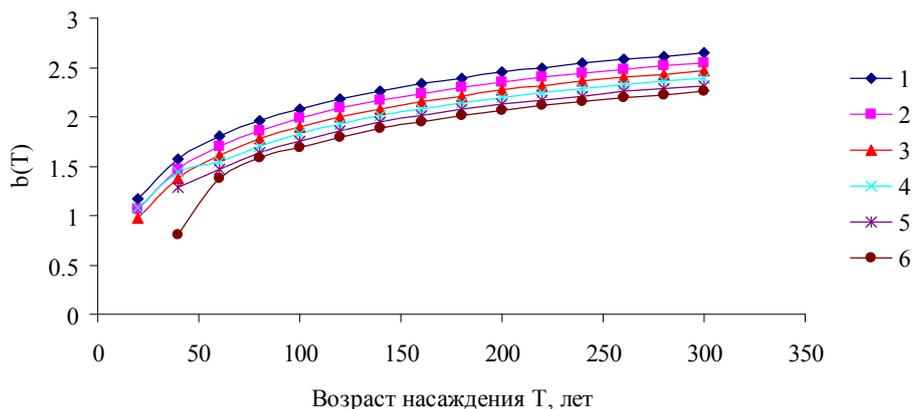


Рис. 6. Временная динамика коэффициента $b(T)$ для кедровых насаждений разных бонитетов.

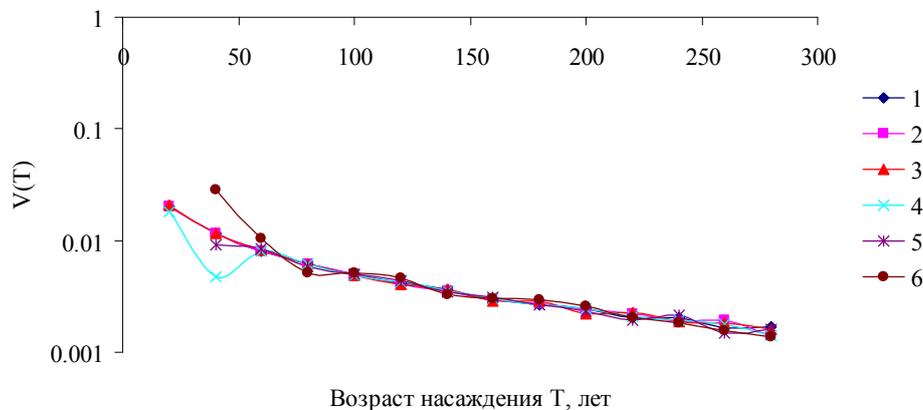


Рис. 7. Динамика переменной $V(T)$ для насаждений разных бонитетов: 1 – бонитет I; 2 – бонитет II; 3 – бонитет III; 4 – бонитет IV; 5 – бонитет V; 6 – бонитет Va

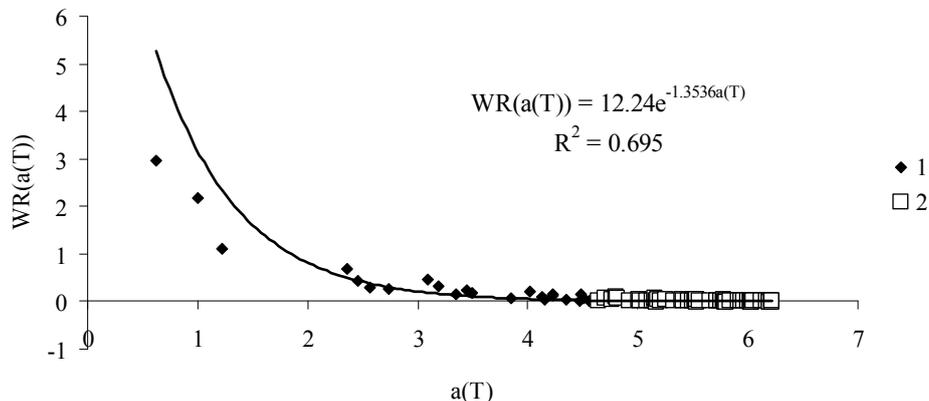


Рис. 8. Связь между величинами $a(T)$ и $WR(a(T))$.

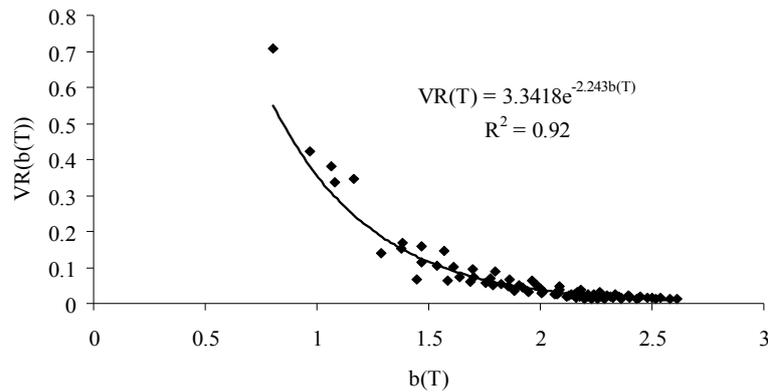


Рис. 9. Связь между величинами $b(T)$ и $VR(b(T))$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из представленных данных можно заключить, что различия в характеристиках фитомассы у насаждений разных бонитетов формируются в возрасте до 20 лет, затем регуляторные характеристики в насаждениях бонитетов II – Va направлены на увеличение скорости процессов роста фитомассы по сравнению с насаждениями бонитета I, однако эти процессы не компенсируют начальные различия в характеристиках насаждений разных бонитетов.

Таким образом, влияние регулирующих факторов на рост кедровых насаждений не зависит от бонитета насаждения и может рассматриваться как фактор, характерный для породы. Общность связей между скоростью изменения параметров a и b и значениями этих параметров будет объяснять отсутствие «перепутывания» кривых роста для насаждений разных бонитетов. Возможно, имеет смысл сравнить параметры уравнений $WR(a)$ и $VR(b)$ для сосны кедровой с соответствующими уравнениями для деревьев других пород с учетом различий экологических и погодных условий. Так как различия в характеристиках a и b насаждений разных бонитетов наблюдаются уже в возрасте 20 лет, можно заключить, что для регуляции ростовых процессов можно оказывать влияние на рост молодняков, например, через внесение в этих возрастах удобрений. Повышенный прирост фитомассы в этих возрастах может вести в дальнейшем к росту деревьев в насаждениях уже без влияния этого внешнего фактора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

Алексеев В.А., Бердси Р.А. Углерод в экосистемах лесов и болот. Красноярск, 1994. 204 с.
 Анучин Н.Г., Лесная таксация. М.-Л. 1960. 552 с.
 Арутюнян С.Г., Уткин А.И. Вертикально-фракционное распределение фитомассы в лесах. М. : Наука, 1986. 264 с.
 Аткин А.С. Аткина Л.И. Продуктивность лесных фитоценозов // Факторы продуктивности леса. Новосибирск: Наука, 1989. С. 4–32.
 Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С., Суховольский В.Г. Густота и продуктивность древесных ценозов. Новосибирск: Наука, 2002. 150 с.
 Габеев В.Н. Биологическая продуктивность лесов Приобья. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1976. 171 с.
 Данилин И.М., Цогт З. Морфометрические параметры и фитомасса деревьев лиственницы сибирской

Larix sibirica Ledeb. в Восточном Хэнтэе (Северная Монголия) // Сиб. лесн. журн. 2015. № 5. С. 96–104.

Исаев А.С., Овчинникова Т.М., Суховольский В.Г. Распределение фитомассы деревьев и насаждений по фракциям: модель конкуренции // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб: Гидрометеоиздат, 2007, т. 21, С. 232–250.

Казимиров Н.И., Морозова Р.М., Куликова В.Н. Органическая масса и потоки веществ в березняках средней тайги. Л.: Наука. 1978. 216 с.

Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. М. : Физматлит, 2006. 816 с.

Кузьмичев В.В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск : Наука, 1977. 160 с.

Моисеев В.С. Нахабцев И.Л. Л. : Лесная таксация, 1974. 142 с.

Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности земного шара. М. : Наука, 1965. С. 40–147.

Семечкин И.В., Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. Общие таблицы хода роста и биологической продуктивности полных («нормальных») насаждений сосны кедровой сибирской // Лесная таксация и лесостроительство. 2005. № 1(34). С. 7–27.

Семечкина М.Г. Структура фитомассы сосняков. Новосибирск : Наука, Сибирское отделение. 1978. 165 с.

Смирнов В.В. Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах Европейской части СССР. М. : Наука. 1971. 359 с.

Соколов В.А., Аткин А.С., Зиганшин Р.А. Структура и рост древостоев Сибири. Красноярск: Российская академия наук Сибирское отделение Институт леса им. В.Н. Сукачева. 1993. 176 с.

Суховольский В.Г. Распределение фитомассы деревьев по фракциям и оценка биопроductивности деревьев и насаждений // Лесоведение. 1996. № 1. С. 30–40.

Суховольский В.Г. Экономика живого. Новосибирск : Наука, 2004. 140 с.

Суховольский В.Г., Иванова Ю.Д. Оценка чистой первичной продукции лесных насаждений с использованием модели распределения фитомассы по фракциям // Лесоведение. 2013. № 5. С. 20–28.

Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург : УрО РАН. 2007. 636 с.

Усольцев В. А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН. 2010. 573 с.

Усольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. Екатеринбург : УрО РАН. 2002. 762 с.

Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов // Лесоведение и лесоводство. М.: Наука. 1975. Т. 1. С. 9–190.

Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Нильсон С., Булуй Ю.И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). М. : Московская типография № 6. 2008. 887с.

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

Chen J., Bo Song, Rudnicki M., Moer M., Bible K., North M., Shaw D.C., Franklin J.F. and Brown D.M. Spatial Relationship of Biomass and Species Distribution in an Old-Growth Pseudotsuga – Tsuga Forest // Forest Science, 2004, v. 50, № 3, P. 364–375.

Clark D.A., Brown S., Kicklighter D.W., Chambers J.Q., Thomlinson J.R., and Ni J. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods // Ecol. Appl., 2001, v.11, P. 356–370.

REFERENCES

Alekseyev V.A., Berdsi R.A. Uglerod v ekosistemakh lesov i bolot. Krasnoyarsk, 1994. 204 s.

Anuchin N.G., Lesnaya taksatsiya. M.-L. 1960. 552 s.

Arutyunyan S.G., Utkin A.I. Vertikal'no-fraktsionnoye raspredeleniye fitomassy v lesakh. M. : Nauka, 1986. 264 s.

Atkin A.S. Atkina L.I. Produktivnost' lesnykh fitosenozov // Faktory produktivnosti lesa. Novosibirsk : Nauka, 1989. S. 4–32.

Buzykin A.I., Pshenichnikova L.S., Sukhovol'skiy V.G. Gustota i produktivnost' drevesnykh tsenozov. Novosibirsk: Nauka, 2002. 150 s.

Gabeyev V.N. Biologicheskaya produktivnost' lesov Priob'ya. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-niye. 1976. 171 s.

Danilin I.M., Tsogt Z. Morfometricheskiye parametry i fitomassa derev'yev listvennitsy sibirskoy LarixibiricaLedeb. v Vostochnom Khent-eye (Severnaya Mongoliya) // Sib. lesn. zhurn. 2015. № 5. S. 96–104.

Isayev A.S., Ovchinnikova T.M., Sukhovol'skiy V.G. Raspredeleniye fitomassy derev'yev i nasazhdeniy po fraktsiyam: model' konkurentsii // Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem. SPb: Gidrometeoizdat, 2007, t. 21, S. 232–250.

Kazimirov N.I., Morozova R.M., Kulikova V.N. Organicheskaya massa i potoki veshchestv v bereznyakakh sredney taygi. L.: Nauka. 1978. 216 s.

Kobzar' A.I. Prikladnaya matematicheskaya statistika. M. : Fizmatlit, 2006. 816 s.

Kuz'michev V.V. Zakonomernosti rosta drevostoyev. Novosibirsk : Nauka, 1977. 160 s.

Moiseyev V.S. Nakhabtshev I.L. L. : Lesnaya taksatsiya, 1974. 142 s.

Rodin L.E., Bazilevich N.I. Dinamika organicheskogo veshchestva i biologicheskoy krugovorot v osnovnykh tipakh rastitel'nosti zemnogo shara. M. : Nauka, 1965. S. 40–147.

Semechkin I.V., Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. Obshchiye tablitsy khoda rosta i biologicheskoy produktivnosti polnykh («normal'nykh») nasazhdeniy sosny kedrovoy sibirskoy // Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo. 2005. № 1(34). S. 7–27.

Semechkina M.G. Struktura fitomassy sosnyakov. Novosibirsk : Nauka, Sibirskoye otdeleniye. 1978. 165 s.

Smirnov V.V. Organicheskaya massa v nekotorykh lesnykh fitosenozakh Evropeyskoy chasti SSSR. M. : Nauka. 1971. 359 s.

Sokolov V.A., Atkin A.S., Ziganshin R.A. Struktura i rost drevostoyev Sibiri. Krasnoyarsk: Rossiyskaya akademiya nauk Sibirskoye otdeleniye Institut lesa im. V.N. Sukacheva. 1993. 176 c.

Sukhovol'skiy V.G. Raspredeleniye fitomassy derev'yev po fraktsiyam i otsenka bioproduktivnosti derev'yev i nasazhdeniy // Lesovedeniye. 1996. № 1. S. 30–40.

Sukhovol'skiy V.G. Ekonomika zhivogo. Novosibirsk : Nauka, 2004. 140 s.

Sukhovol'skiy V.G., Ivanova Yu.D. Otsenka chistoy pervichnoy produktsii lesnykh nasazhdeniy s ispol'zovaniyem modeli raspredeleniya fitomassy po fraktsiyam // Lesovedeniye. 2013. № 5. S. 20–28.

Uso'l'tsev V.A. Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoy Evrazii: metody, baza dannykh i eye prilozheniya. Ekaterinburg : UrO RAN. 2007. 636 s.

Uso'l'tsev V. A. Fitomassa i pervichnaya produktsiya lesov Evrazii. Ekaterinburg: UrO RAN. 2010. 573 s.

Uso'l'tsev V. A. Fitomassa lesov Severnoy Evrazii: normativy i elementy geografii. Ekaterinburg : UrO RAN. 2002. 762 s.

Utkin A.I. Biologicheskaya produktivnost' lesov // Lesovedeniye i lesovodstvo. M.: Nauka. 1975. T. 1. S. 9–190.

Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Nil'son S., Buluy Yu.I. Tablitsy i modeli khoda rosta i produktivnosti nasazhdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Severnoy Evrazii (normativno-spravochnyye materialy). M. : Moskovskaya tipografiya № 6. 2008. 887s.

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

Chen J., Bo Song, Rudnicki M., Moer M., Bible K., North M., Shaw D.C., Franklin J.F. and Brown D.M. Spatial Relationship of Biomass and Species Distribution in an Old-Growth Pseudotsuga – Tsuga Forest // Forest Science, 2004, v. 50, № 3, P. 364–375.

Clark D.A., Brown S., Kicklighter D.W., Chambers J.Q., Thomlinson J.R., and Ni J. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods // Ecol. Appl., 2001, v.11, P. 356–370.

© Суховольский В. Г., Иванова Ю. Д., Ковалев А. В., 2022

НАЧАЛЬНАЯ ФАЗА ФОРМИРОВАНИЯ ПОСЛЕПОЖАРНЫХ ГОРНЫХ КЕДРОВНИКОВ НА СЕВЕРНОМ УРАЛЕ*

Н. В. Танцырев

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

*Динамика численности ценопопуляций древесных растений на этапе их возобновления в связи с внешними экологическими факторами определяет всю последующую структуру и динамику дендроценоза. В статье проведен сравнительный анализ интенсивности и динамики естественного возобновления сосны (кедра) сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) в связи с динамикой растительности на гарях в трех типах леса на Северном Урале. Возобновление кедра сибирского на исследуемых гарях начинается на второй год после пожара по формирующемуся моховому покрову (*Polytrichum* sp.). Основным фактором, лимитирующим процесс возобновления, является разрастание высокостебельной травянистой и мелколиственной древесной растительности. По мере зарастания упавших после пожара древесных стволов (валежа) зелеными мхами происходит «переключение» интенсивного возобновления кедра на этот субстрат. Результаты исследования на гари в производном сосняке ягодниково-зеленомошном подтверждают данные о скоротечном лесовосстановлении в этом типе леса и дальнейшем длительном развитии потенциального кедровника под пологом березняка. На гарях в коренном кедровнике миисто-напоротниковом процесс лесовозобновления и формирование древостоя с доминированием в составе кедра сибирского крайне растянут во времени и протекает через длительную высокотравную стадию. На гарях в коренном ельнике-кедровнике нагорном формирование чистого кедровника возможно при значительной удаленности источников семян других древесных растений и протекает через краткосрочную крупнокустарниковую стадию. Высказано предположение о разной степени адаптации различных типов лесорастительных условий к лесным пожарам, которая выражается в разной продолжительности и интенсивности лесовосстановления в соответствии со степенью и относительной частотой их горимости.*

Ключевые слова: *Pinus sibirica*, кедровка, динамика всходов, подрост, напочвенный субстрат, проективное покрытие, динамика растительности.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 5, P. 395–403

THE INITIAL PHASE OF THE FORMATION OF POST-FIRE SIBERIAN STONE PINE MOUNTAIN FORESTS IN THE NORTHERN URALS

N. V. Tantsyrev

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

*The dynamics of woody plants number cenopopulations at the stage of their renewal in connection with external environmental factors determines the entire subsequent structure and dynamics of dendrocenosis. The article provides a comparative analysis of the intensity and dynamics of the natural renewal of Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) in connection with the dynamics of vegetation on burnt areas in three types of forests in the Northern Urals. The renewal of the Siberian stone pine in the burnt areas under study begins in the second year after the wildfire along the emerging moss cover (*Polytrichum* sp). The main factor limiting the process of renewal is the growth of high-stemmed herbaceous and small-leaved woody vegetation. As the tree stems that have fallen after the fire are overgrown with green mosses, the intensive renewal of the cedar is “switched” to this substrate. The results of the study on the burned area in the derived berry-green-moss pine forest confirm the data on the rapid reforestation in this type of forest and the further long-term development of the potential Siberian stone pine forest under the canopy of the birch forest. On burnt areas in the indigenous mossy-fern Siberian stone pine forest, the process of reforestation and the formation of a forest stand dominated by Siberian stand pine is extremely extended in time and proceeds through a long tall grass stage. On burnt areas in the primary upland type of forest, the formation of pure Siberian stone pine forest is possible with a significant remoteness of the sources of seeds of other woody plants and proceeds through a short-term large-shrub stage. An assumption is made about the different degree of adaptation of various types of forest conditions to wild*

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

fires, which is expressed in different duration and intensity of reforestation in accordance with the degree and relative frequency of their burning.

Keywords: *Pinus sibirica, nutcracker, dynamics of seedlings, undergrowth, soil substrate, projective cover, vegetation dynamics.*

ВВЕДЕНИЕ

В основе решения задачи устойчивого воспроизводства лесов лежит комплексное исследование сложных закономерностей динамики численности природных ценопопуляций древесных растений на этапе их возобновления и структурно-функциональных связей с внешними экологическими факторами и другими компонентами лесных экосистем. В этой связи, значительное количество работ посвящено возобновлению ценнейшего лесообразующего вида России – сосны (кедра) сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour). Существует мнение, что сосна кедровая сибирская или кедр сибирский – по происхождению горный вид, успешно адаптировавшийся к равнинным условиям Западной Сибири [3; 4; 31]. Предполагается, что обширные суходольные кедровники Западной Сибири и предгорно-низкогорного Зауралья в большинстве случаев относительно одновозрастны и имеют пирогенное происхождение [10; 25], а горные кедровники Урала не затронутые пожаром – разновозрастны [7].

Согласно исследованиям, проведённым в зеленомошной группе типов леса Зауралья и Западной Сибири, восстановительно-возрастная динамика [10; 16; 25; 26] развития послепожарных кедровников протекает в несколько фаз и периодов через производную мелколиственную формацию. Причем начальная или первая фаза [10; 16; 25] его возобновления на гарях в зеленомошной группе типов леса протекает в кратчайшие сроки (20–40 лет) одновременно с другими лесообразующими древесными видами при эдификаторной роли мелколиственных [15; 23; 25]. Основное внимание при изучении этого процесса уделялось количественной характеристике и, отчасти, динамике лесовозобновления и, в значительно меньшей степени, среднестатистическим параметрам и динамике биотических и абиотических факторов среды, динамике и видовому составу другой конкурентной и комменсальной растительности. Поэтому в исследованиях именно начальной фазы, которая определяет всю последующую структуру и динамику дендроценоза остается много белых пятен. При этом, в других группах типов леса, широко распространенных в горной тайге Среднего и Северного Урала [8; 11], особенности естественного возобновления кедра и сопутствующих лесообразующих видов на гарях, в зависимости от изменений факторов среды, почти не рассматривались.

Одним из коренных экологических отличий кедра сибирского и других близкородственных видов пятихвойных сосен с бескрылыми семенами от других лесообразующих видов является зоохория ее семян (точнее – орнитохория). Если семена анемохорных видов случайно попадают на пригодный для прорастания субстрат, то семена кедра, как кормовые запасы, целенаправленно заносятся тонкоклювой кедровкой (*Nucifraga caryocatactes macrorhynchos* Brehm)

в конкретный тип почвенного субстрата с определенными условиями экотопа [29]. С этой особенностью связано отмечаемое обилие подроста и всходов кедра на значительном расстоянии от семеносящих древостоев [2; 6; 15; 22; 32; 35; 34] на участках с моховым покровом и на полуразложившемся древесном валеже [2; 15; 18; 27; 31].

Цель данной работы – сравнительный анализ динамики естественного возобновления кедра сибирского на гарях в трех, распространенных на Урале, горных типах леса в связи с динамикой напочвенного субстрата и фитоценотической среды.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение динамики растительности, типов напочвенного субстрата и возобновления кедра сибирского и сопутствующих древесных растений на гарях проведено в темнохвойных горных лесах южной части Североуральской среднегорной провинции Уральской горно-лесной области [11] на границе Среднего и Северного Урала (Свердловская область Новолялинское лесничество).

Исследования проведены на гарях в низкогорном (300 м над уровнем моря (н.у.м.)) производном сосняке ягодниково-зеленомошном и среднегорных (на высоте 500–600 м н.у.м.) коренных кедровнике мшисто-папоротниковом и ельнике-кедровнике нагорном. На гари в сосняке ягодниково-зеленомошном пробные площади закладывались через 8, 13, 16 и 32 года после пожара. Пробные площади в ельнике-кедровнике мшисто-папоротниковом заложены на гарях 2-, 5-, 13-, 19- и 31-летней давности, а в ельнике-кедровнике нагорном – на гарях 8-, 13- и 19-летней давности, представляющих собой элементы единых генетических рядов развития соответствующих древостоев [30]. Гари в ягодниково-зеленомошном и мшисто-папоротниковом типах леса непосредственно примыкают к древостоям с участием или доминированием в их составе кедра сибирского. Гари в нагорном типе леса, расположенные на вершинах увалов и верхних частях склонов представляют собой часть обширных гарей, занимающих все элементы макро-рельефа. Поэтому их обсеменение лесообразующими древесными видами происходит от источников семян находящихся ниже по склонам и не ближе 300 м.

Количественный учёт параметров напочвенной среды, конкурентной растительности (степень проективного покрытия поверхности в процентном отношении), всходов и подроста древесных растений проведён на сериях учётных площадок (по 36–50) размером 5х5 м. Учетные площадки располагались на гарях в пределах типа леса, через 20 м параллельными рядами с расстоянием между ними 50 м. Численность подроста кедра определялась по двум параметрам: по количеству характерных плотных групп («гнезд») подроста, проросших из неиспользованных кедровкой

кладовок, и количеству особей в них. Возраст подростка определен с точностью до одного года по числу годичных вертикальных приростов терминального побега. Первоначальная численность ежегодных генераций всходов кедр реконструирована по возрастной структуре подростка и эмпирическим коэффициентам кривых его выживания [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исторически сложилось, что степень подверженности пожарам лесов в регионе исследований различна. Леса зеленомошной группы типов леса, к которым относится рассматриваемый ягодниково-зеленомошный тип, занимающие обширные территории Западно-Сибирской равнины, широко распространенные в холмисто-предгорной и низкогорной части восточного макросклона Урала, представлены послепожарными сосняками и березняками со вторым ярусом из ели, кедр и пихты [9; 25]. В лесах этого типа наблюдается относительно частая повторяемость стихийных пожаров. Производные (на месте темнохвойных лесов) сосняки в ряде случаев неоднократно пройдены низовыми пожарами, о чём свидетельствуют пожарные раны на стволах деревьев. В древостоях сохраняются обгоревшие сухостойные стволы крупных сосен, лиственниц и кедров.

Коренные разновозрастные кедровники и ельники травяно-папоротниковой группы типов леса, в том числе мшисто-папоротникового типа, характерны для верхних и средних частей горных склонов основного водораздела и западного макросклона Урала, а кедровники и ельники нагорные – для вершин гор, хребтов и увалов [11]. По своим условиям и характеристике данная группа близка черным кедровникам [14; 18] горных систем Южной Сибири. В составе древостоев обычны деревья кедр старше 400 лет и сравнительно часто встречаются деревья, носящие следы ударов молний. Тем не менее, в относительно сомкнутых и влажных темнохвойных лесах широкого возникновения и распространения лесных пожаров не наблюдалось. Изменение пожарной обстановки в горных лесах, по видимому, связано с началом интенсивного промышленного освоения лесов и появлением обширных вырубок, на которых загорания от молний стали происходить почти ежегодно в первой половине лета. В результате сплошной рубки древостоя произошло изменение светового и водного режимов. При сочетании большого количества сухих порубочных остатков, сохраненного темнохвойного подростка, ежегодного сухого опада иван-чая и малины, образовавшиеся кипрейные и кипрейно-вейниковые вырубки [17] представляют собой в это время высокопожароопасные участки. Оставленные на вырубках семенные куртины и отдельные деревья являются своего рода «молниеприемниками», усугубляя эту опасность. Таким образом, здесь наблюдается сочетание природного и антропогенного факторов возникновения лесных пожаров. С территории вырубок и сформировавшихся из подростка хвойных молодняков, пожары распространялись и в граничащие с ними участки спелых и перестойных древостоев.

Согласно возрастной структуре подростка и реконструированной первоначальной ежегодной численно-

сти всходов кедр, появление его на всех гарях начинается на второй год после пожара (рис. 1–3). Но дальнейшая динамика и период эффективного возобновления кедр в рассматриваемых типах леса различны. Общим является то, что кедровки, избегая устраивать запасы в мертвом обгоревшем субстрате, начинают заносить семена лишь на следующий год после пожара на участки с формирующимся моховым покровом [27]. В первые годы после пожара он представлен политриховыми мхами (*Polytrichum commune*, *P. strictum*, *P. juniperinum*). Через два года после пожара в начале лета мертвый обгоревший субстрат продолжает преобладать (около 60 %) в поверхности гарей. В это же время, общее проективное покрытие разрозненных пятен мхов, на которых появляются первые всходы кедр (рис. 1–3), составляет 10–15 %. Проективное покрытие трав (в основном *Chamaenerion angustifolium*) к этому времени – в среднем 12 %. На 4–5-й год доля обгоревшего субстрата снижается в среднем до 11%, а проективное покрытие мхов увеличивается до 36–50 %. Своего максимального значения в ягодниково-зеленомошном (рис. 1) и мшисто-папоротниковом (рис. 2) типах леса оно достигает на 5–8-й год, после чего происходит их вытеснение высокостебельной травянистой растительностью [1; 9]. На гарях в нагорном типе леса (рис. 3) проективное покрытие мхов продолжает расти и происходит лишь смена их видового состава. На 13-й год после пожара наряду с политриховыми мхами фрагментарно начинает встречаться *Pleurozium Schreberi* (около 10%). На 19-й год доля участия в составе мхов *Pl. Schreberi* возрастает до 25 %. Через 30 лет после пожара политриховые мхи в рассматриваемых типах леса не встречаются.

На гари в сосняке ягодниково-зеленомошном возобновление кедр носит скачкообразный характер (рис. 1, а). Здесь значительно преобладают всходы, появившиеся на 3–5-й год после пожара, на моховом покрове. В дальнейшем отмечается резкий спад и приостановка возобновления к 10–12-му году. На гарях в кедровнике мшисто-папоротниковом в течение 16-ти лет ежегодно происходит относительно равномерное незначительное появление единичных «гнезд» всходов кедр по разрозненным пятнам мхов (рис. 2, а). На гарях в нагорном типе леса (рис. 3) наблюдается более интенсивное ежегодное появление всходов кедр с чередующимися относительно плавными подъемами и спадами в течение 20-ти лет без приостановки.

Спад и приостановка возобновления кедр обусловлены, в первую очередь, тем, что кедровка перестает заносить семена на гари по мере развития высокостебельной травянистой (первоначально *Chamaenerion angustifolium*, который постепенно сменяет *Calamagrostis arundinaceae*), кустарниковой (*Rubus idaeus*, *Rosa cinnamomea*, *R. acicularis*), а в ягодниково-зеленомошном типе также и мелколиственной древесной растительности, которая препятствует доступу птиц к поверхности почвы [5]. В целом обилие подростка кедр положительно связано со степенью проективного покрытия мхов и отрицательно – с проективным покрытием травянистой и мелколиственной древесной растительности [27].

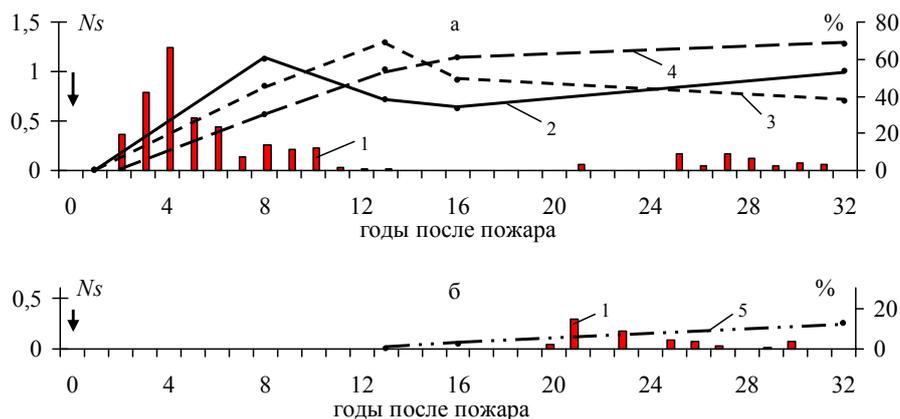


Рис. 1. Динамика проективного покрытия растительности (%) и численности всходов кедр (N_s) на моховом покрове (а) и древесном валеже (б) на гари в ягодниково-зеленомошном типе леса: 1 – численность всходов, тыс. экз./га; 2 – моховой покров; 3 – высокостебельная травянистая растительность; 4 – древесная растительность; 5 – микроповышения из полуразложившегося древесного валежа с моховым покровом. Стрелкой указан год пожара

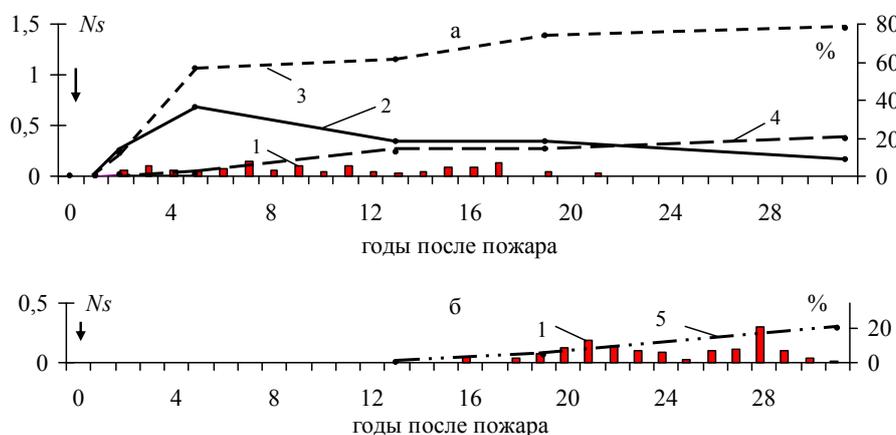


Рис. 2. Динамика проективного покрытия растительности (%) и численности всходов кедр (N_s) на моховом покрове (а) и древесном валеже (б) на гари в мшисто-папоротниковом типе леса: 1 – численность всходов, тыс. экз./га; 2 – моховой покров; 3 – высокостебельная травянистая растительность; 4 – древесная растительность; 5 – микроповышения из полуразложившегося древесного валежа с моховым покровом. Стрелкой указан год пожара

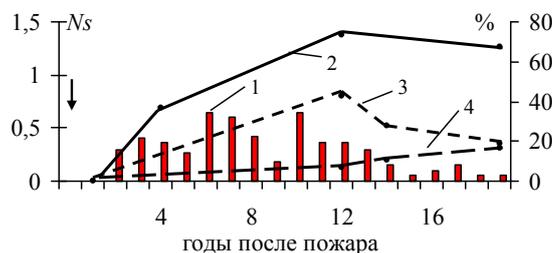


Рис. 3. Динамика проективного покрытия растительности (%) и численности всходов кедр (N_s) на моховом покрове на гари в нагорном типе леса: 1 – численность всходов, тыс. экз./га; 2 – моховой покров; 3 – высокостебельная травянистая растительность; 4 – древесная растительность. Стрелкой указан год пожара

Другим фактором, явно ограничивающим доступ кедровки к субстрату и влияющим на успешность возобновления кедр на гари в первые послепожарные годы, является захламленность неразложившимся древесным валежом [27]. Сам неразложившийся древесный валёж, как субстрат не пригоден для поселе-

ния кедр. Вывал погибшего древостоя может продолжаться в течение нескольких лет. На 13–19-й год после пожара степень захламленности древесным валежом составляет 28–55 % проективного покрытия поверхности гарей. Через 10–20 лет после пожара его поверхность начинает постепенно зарастать зелёными

мами и становится пригодной для поселения древесных растений [24]. К 19-му году после пожара доля участия этого нового субстрата составляет 2–4 %. Через 30 лет после пожара она возрастает до 12–20 % (рис. 1, б–2, б), а не разложившегося древесного валежа – не превышает $8,0 \pm 1,1\%$.

По мере развития мелколиственного полога на гари в ягодниково-зеленомошном типе леса происходит вытеснение травянистой растительности и, начиная с 15–16-го года после пожара, реализуется «вторая волна» [15] возобновления кедр по восстанавливающемуся зеленомошному покрову (рис. 1, а). Одновременно всходы кедр начинают появляться на полуразложившемся пожарном древесном валеже (рис. 1, б) с зеленомошным покровом. В отличие от гарей в зеленомошной группе типов леса, где апогей *Chamaenerion angustifolium* приходится на 4–5-й годы после пожара [13; 19], на гарях в мшисто-папоротниковом типе леса он продолжает доминировать (рис. 2, а) вместе с *Calamagrostis arundinaceae*, *Aconitum excelsum*, *Cacalia hastata*, *Umbelliferae sp.*, *Peonia anomalica*, *Driopteris filix mas*, *Stellaria holostea* и др., достигая к 13-ти годам проективного покрытия 61 %, к 19-ти – 74 % и к 31-му году – 78 %. Проективное покрытие кустарников напротив сокращается с 6-го года (49,1 %) за счёт отмирания *Rubus idaeus* до 7 % к 31-му году. Плотный покров высокотравья препятствует доступу кедровки к пятнам *Pleurozium Schreberi* и *Hylocomium splendens* под куртинами и отдельными деревьями и кустами (общее проективное покрытие не превышает 20 %). Поэтому интенсивное появление всходов кедр с 14–16-го года происходит только на полуразложившемся послепожарном древесном валеже с покровом из зеленых мхов (рис. 2, б). В нагорном типе леса диаметр древесных стволов ели и пихты не превышает 24-х см. Такие упавшие стволы быстро разлагаются за исключением старых единичных деревьев кедр диаметром около 40 см. Общая степень участия в напочвенном покрове таких микроповышений здесь не значительна ($0,4 \pm 0,1\%$). Редкая слабо развитая травянистая растительность (проективное покрытие не превышает $42,4 \pm 4,7\%$) высотой не более 30–50 см не препятствует доступу кедровки к открытому моховому субстрату, на котором возобновление кедр может продолжаться в течение длительного времени (рис. 3).

Анализ видовой структуры подроста на гари в производном сосняке ягодниково-зеленомошном подтверждает литературные данные о возобновлении кедр совместно с другими лесообразующими видами и об эдификаторной роли мелколиственных в формировании фитоценозов в этом типе леса [9; 10; 15; 23; 25]. С 13-го по 32-й годы после пожара, в результате естественного изреживания, общая численность древесных растений сократилась (рис. 4): березы (*Betula pendula* Roth) – с $20,8 \pm 1,6$ до $10,8 \pm 0,6$ тыс. экз./га, сосны (*Pinus silvestris* L.) – с $2,5 \pm 0,3$ до $1,8 \pm 0,3$ тыс. экз./га, лиственницы (*Larix Sukaczewii* N. Dyl.) – с $1,0 \pm 0,1$ до $0,2 \pm 0,1$ тыс. экз./га, ели (*Picea obovata* Ledeb.) – с $2,9 \pm 0,35$ до $2,4 \pm 0,4$ тыс. экз./га. Численность кедр осталась почти на прежнем уровне ($1,3 \pm 0,1$ тыс. экз./га в $1,2 \pm 0,1$ тыс. «гнезд»/га), видимо

за счет продолжающегося заноса семян кедровкой на восстанавливающийся покров из зеленых мхов (проективное покрытие $53,0 \pm 7,5\%$) и древесный валеж. Преобладающая в составе береза диаметром на высоте 1,3 м до 12 см образует древостой высотой 8–12 м с небольшим участием сосны и единичным – лиственницы. Высота кедр первого послепожарного поколения 23–29-летнего возраста колеблется от 1,5 до 4 м. В течение этого периода оптимизация обильного возобновления кедр сибирского возможна за счет проведения интенсивных рубок ухода. Снижение проективного покрытия полога мелколиственных до 40 % путем их вырубki способствует доступу кедровки к предпочитаемым участкам и, как следствие, приводит к увеличению численности всходов кедр [28]. В дальнейшем здесь возможно развитие потенциального кедровника [3; 12] под пологом березняка.

Гарь в кедровнике мшисто-папоротниковом через 30 лет после пожара остается почти не возобновившейся и представляет собой редину (рис. 5, а) с проективным покрытием древесного яруса 19,5%, средней высотой 7 м, включая кусты (до 0,6 тыс. экз./га) ивы козьей (*Salix caprea* L.) и рябины (*Sorbus sibirica* Hedl.). Общая численность деревьев, подроста разного возраста и всходов всех видов, появившихся здесь после пожара составляет всего 2,2 тыс. экз./га. В составе подроста преобладают кедр ($0,9 \pm 0,1$ тыс. экз./га), в меньшей степени – ель ($0,8 \pm 0,1$ тыс. экз./га). Количество пихты (*Abies sibirica* Ledeb.) ($0,1$ тыс. экз./га) и берёзы ($0,3$ тыс. экз./га) незначительно. Причем 70 % подроста кедр, 54 % ели и 83 % пихты произрастает на полуразложившемся древесном валеже с зеленомошным покровом. По всей вероятности в составе погибшего древостоя береза отсутствовала или ее участие было единичным, что исключает ее обильное вегетативное возобновление.

По сравнению с количеством других лесообразующих видов, на гарях 19-летней давности в ельнике-кедровнике нагорном в видовом составе наблюдается явное доминирование кедр при его относительно невысокой общей численности ($2,4 \pm 0,4$ тыс. экз./га в $1,5 \pm 0,1$ тыс. «гнезд»/га). Количество ели незначительно ($0,3$ тыс. экз./га). Берёза встречается единично ($0,2$ тыс. экз./га) и не оказывает существенного влияния на развитие всходов и подроста темнохвойных растений. Роль полога мелколиственных видов здесь в какой-то мере выполняют рябина и ива козья, численность кустов, которых составляет 2,3 тыс. экз./га, средней высотой 2,5–3,5 м и общим проективным покрытием 16,7 %. Некоторое снижение интенсивности возобновления кедр возможно обусловлено развитием их полога и развитием подрост кедр первых послепожарных поколений. Доминирование кедр в составе подрост и крайне слабое возобновление березы и ели может быть вызвано значительной удалённостью источников обсеменения, расположенных ниже по горным склонам, откуда их семена возможно не долетают. В то же время кедровка способна разносить семена кедр на расстояния до 30 километров [3; 6; 33; 35]. С этим, возможно, связано увеличение и доминирование в составе древостоев кедр на месте обширных гарей по мере удаления от периферийной к центральной части.

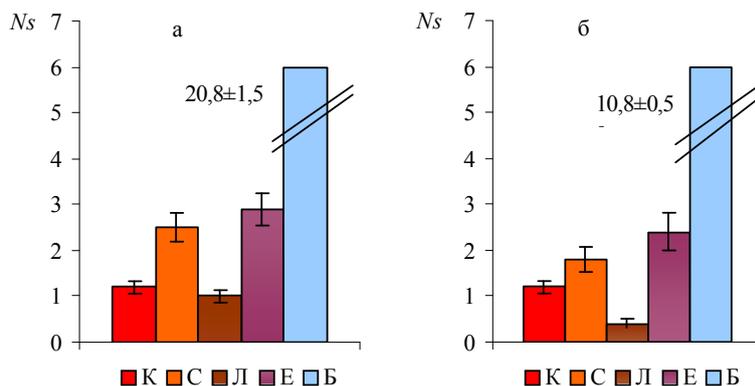


Рис. 4. Численность (N_s , тыс. экз./га) и видовой состав древесной растительности на гари в ягодуново-зеленомошном типе леса через 13 лет после пожара (а) и через 32 года после пожара (б): К – кедр; С – сосна; Л – лиственница; Е – ель; Б – береза. Вертикальные линии – ошибки средних величин ($\pm m$)

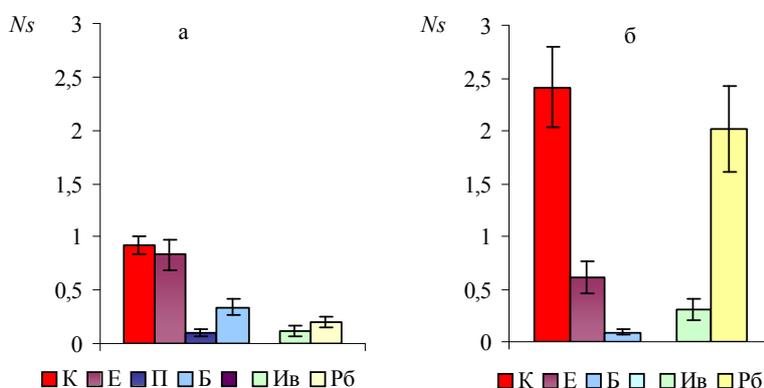


Рис. 5. Численность (N_s , тыс. экз./га) и видовой состав древесной растительности на гари 31-летней давности в мшисто-папоротниковом (а) типе леса и на гари 19-летней давности в нагорном (б) типе леса: К – кедр; Е – ель; П – пихта; Б – береза; Ив – ива козья; Рб – рябина. Вертикальные линии – ошибки средних величин ($\pm m$)

При близком расположении обсеменителей к гарям в нагорном типе леса с его открытыми условиями, возможно быстрое возобновление древесных растений, в том числе пиропитных [20]. Это подтверждают, часто встречающиеся в части восточного макросклона Урала сосняки нагорные.

Сравнивая интенсивность и сроки протекания процесса лесовозобновления на гарях в рассматриваемых типах леса, гипотетически напрашивается вывод о некоторой прямой связи со степенью и относительной частотой подверженности их пожарам (горимостью). В часто горимых лесах ягодуново-зеленомошного и нагорного типов процесс лесовозобновления и формирование молодого древостоя проходит в короткие сроки. В, практически ранее не горимых без воздействия предварительных факторов, горных лесах мшисто-папоротникового и близких к нему типов лесовозобновительный процесс на гарях крайне растянут во времени. Возможно, в этом выражается разная определенная степень адаптации к лесным пожарам не только отдельных растительных видов и их сообществ, но и самих типов лесорастительных условий. Если предположить, что ягодуново-зеленомошный и нагорный типы леса исторически оказались адаптированы к пожарам, то по сравнению

с ними, кедровник мшисто-папоротниковый и близкие к нему типы леса выглядит абсолютно не адаптированным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Первоначальное возобновление кедра на гарях в рассматриваемых типах леса начинается на второй год после пожара и обусловлено восстановлением мохового покрова. Лимитирующим фактором возобновления является в мшисто-папоротниковом типе леса высокостебельной травянистой растительности, а в ягодуново-зеленомошном – дополнительно и мелколиственной древесной. В нагорном типе разрастание крупных кустарников лишь частично может снижать интенсивность возобновления. По мере зарастания поверхности древесного валежа зелеными мхами, в ягодуново-зеленомошном типе леса происходит частичное, а в мшисто-папоротниковом – полное «переключение» процесса занесения семян кедровкой с напочвенного мохового покрова на этот тип субстрата.

Результаты исследований на гари в сосняке ягодуново-зеленомошном полностью подтверждают имеющиеся многочисленные литературные данные о протекающем здесь лесовозобновлении в кратчай-

шие сроки и дальнейшем развитии темнохвойных лесов с участием кедр сибирского, как потенциальных кедровников через длительную мелколиственную стадию. На гарях в кедровнике мшисто-папоротниковом лесовосстановительный процесс крайне растянут во времени, проходит через относительно длительную высокотравную стадию. Относительно интенсивное возобновление кедр и других древесных растений здесь возможно лишь на микропрвышениях из послепожарного полуразложившегося древесного валежа с моховым покровом. Лесовосстановление на гари в ельнике-кедровнике нагорном, где слаборазвитая конкурентная растительность не препятствует попаданию и прорастанию семян древесных растений на открытом моховом покрове, проходит через относительно краткосрочную крупнокустарниковую стадию. Появление всходов кедр здесь происходит ежегодно в течение двадцати лет без приостановки. При этом, формирование древостоев с преобладанием в составе кедр сибирского (кедровников) на гарях в мшисто-папоротниковом и нагорном типах леса, при некоторой удаленности источников семян других древесных растений, происходит уже на стадии молодняка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Ахминова М.П. Экспериментальные данные о видовом составе и структуре синузид зеленых мхов в еловых лесах таежной зоны // Фитоценология и биоценология темнохвойной тайги. Л. : Наука, 1970. С. 32–41.
2. Бех И.А., Воробьев В.Н. Потенциальные кедровники. Проблемы кедр. Томск, СО РАН, Ин-т экологии природных комплексов – филиал ин-та леса им. В. Н. Сукачёва. 1998. Вып. 6. 123 с.
3. Бех И.А., Кривец С.А., Бисирова Э.М. Кедр – жемчужина Сибири. Ин-т мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 2011. 54 с.
4. Бобров Е.Г. Лесообразующие хвойные СССР. Л. : Наука, 1978. 188 с.
5. Владышевский Д.В. Экология лесных птиц и зверей (Кормодобывание и его биоценологическое значение). Новосибирск : Наука, 1980. 261 с.
6. Воробьев В.Н. Кедровка и ее взаимосвязи с кедром сибирским (Опыт количественного анализа.) Новосибирск : Наука, 1982. 113 с.
7. Горчаковский П.Л. Растительный мир высокогорий Урала. М. : Наука, 1975. 284 с.
8. Залесов С.В., Секерин Е.М., Платонов Е.П. Анализ распространения сосны кедровой сибирской по территории Свердловской области // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 41–48.
9. Кирсанов В.А. Возрастная структура и естественное возобновление кедр сибирского на Северном Урале и в смежном Зауралье // Лесообразовательный процесс на Урале и в Зауралье. Свердловск : АН СССР УНЦ, 1975. С. 129–145.
10. Кирсанов В.А. Формирование и развитие кедровника зеленомошно-ягодникового на Северном Урале // Восстановительная и возрастная динамика лесов на Урале и в Зауралье. Свердловск : АН СССР УНЦ, 1976. С. 104–112.
11. Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск : АН СССР УНЦ, 1973. 176 с.
12. Колесников Б.П., Смолоногов Е.П. Некоторые закономерности возрастной и восстановительной динамики кедровых лесов Зауральского Приобья // Проблемы кедр. Новосибирск : СО АН СССР, 1960. С. 21–31.
13. Комарова Т.А. Послепожарные сукцессии в лесах Сихотэ-Алиня. Владивосток : ДВО АН СССР, Биолого-почвенный ин-т. 1992. 224 с.
14. Коновалова М.Е. Восстановительная динамика леса на сплошных вырубках горных кедровников Южной Сибири // Лесоведение. 2015. № 4. С. 267–274.
15. Крылов Г.В., Таланцев Н.К., Козакова Н.Ф. Кедр. М. : Лесная пром-сть, 1983. 216 с.
16. Николаева С.А., Бех И.А., Савчук Д.А. Оценка этапов восстановительно-возрастной динамики темнохвойно-кедровых лесов по дендрохронологическим данным (на примере Кеть-Чулымского Междуречья) // Вестник Томского гос. ун-та. Биология. 2008. № 3(4). С. 180–185.
17. Обыденников В.И., Кожухов Н.И. Типы выруб и возобновление леса. М. : Лесная пром-сть, 1977. 173 с.
18. Поляков В.И., Семечкин И.В. Динамика и устойчивость черневых кедровников Западного Саяна // Лесоведение. 2004. № 2. С. 12–19.
19. Санников С.Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. М. : Наука, 1992. 257 с.
20. Санников С.Н., Санникова Н.С., Петрова И.В. Очерки по теории лесной популяционной биологии. Екатеринбург, Ботанический сад УрО РАН. 2012. 272 с.
21. Санников С.Н., Танцырев Н.В. Кривые выживания подроста сосны сибирской как основа реконструкции динамики его численности // Лесоведение. 2015. № 4. С. 275–281.
22. 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. URL: <https://doi.org/10.15372/SEJ20180406>.
23. Седых В.Н. Формирование кедровых лесов Приобья. Новосибирск : Наука, СО АН СССР, 1979. 108 с.
24. Скворцова Е.Б., Уланова Н.Г., Басевич В.Ф. Экологическая роль ветровалов. М. : Лесная пром-сть, 1983. 192 с.
25. Смолоногов Е.П. Эколого-географическая дифференциация и динамика кедровых лесов Урала и Западно-Сибирской равнины (эколого-лесоводственные основы оптимизации хозяйства). Свердловск : РИСО УрО АН СССР, 1990. 288 с.
26. Смолоногов Е.П., Кирсанов В.А., Трусов П.Ф. Особенности возрастной динамики темнохвойно-кедровых лесов Северного Урала // Использование и воспроизводство кедровых лесов. Новосибирск : Наука, 1971. с. 72–81.

27. Танцырев Н.В. Лесоводственно-экологический анализ естественного возобновления кедров сибирского на сплошных гарях и вырубках в горных лесах Северного Урала : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2012. 23 с.

28. Танцырев Н.В. Влияние рубок ухода в производных сосняках на последующее возобновление кедров сибирского // Леса России и хозяйство в них. Екатеринбург, 2016. № 1 (вып. 56). С. 25–32.

29. Танцырев Н.В. Анализ размещения кедровкой кладовок семян кедров сибирского по следам их зимнего использования // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.П. Филиппова. Улан-Удэ, 2020. № 3(60). С. 117–125. DOI: 10.34655/bgsha.2020.60.3.018.

30. Третьяков Н.В. Метод исследования динамики древостоев данного типа леса // Труды Лесотехнической академии. 1956. Вып. 73. С. 101–116.

31. Усольцев В.А. Этюды о наших лесных деревьях. Екатеринбург : Банк культурной информации. Серия «Природа Урала», 2008. 188 с.

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

33. Lanner R.M. Nikkanen T. Establishment of *Nucifraga-Pinus mutualism* in Finland // *Ornis Fenn* 1990. 67. p. 24–27.

34. Maher C.T., Nelson C.R., Larson A.J., Sala A. Ecological effects effectiveness of silvicultural restoration treatments in whitebark pine forests. // *Forest Ecology and Management*. 2018. 429. Pp. 534–548.

35. McLane A.J., Semeniuk C., McDermid G.J., Tomback D.F., Lorenz T., Marceau D. Energetic behavioral-strategy prioritization of Clark's nutcrackers in whitebark pine communities: An agent-based modeling approach // *Ecological Modeling*, 2017. 354. P. 123–139.

36. Schaming T.D., Sutherland C.S. Landscape- and local-scale habitat influences on occurrence and detection probability of Clark's nutcrackers: Implications for conservation. *PLoS ONE* 2020 15(5): e0233726.

REFERENCES

1. Akhminova M.P. Eksperimental'nyye dannyye o vidovom sostave i strukture sinuziy zelenykh mkhov v elovykh lesakh tayezhnoy zony // *Fitotsenologiya i biotsenologiya temnokhvoynoy taygi*. L. : Nauka, 1970. С. 32–41.

2. Bekh I.A., Vorob'yev V.N. Potentsial'nyye kedrovniki. Problemy kedra. Tomsk, SO RAN, In-t ekologii prirodnykh kompleksov – filial in-ta lesa im. V. N. Sukachëva. 1998. Vyp. 6. 123 s.

3. Bekh I.A., Krivets S.A., Bisirova E.M. Kedr – zhemchuzhina Sibiri. In-t monitoringa klimaticheskikh i ekologicheskikh sistem SO RAN, 2011. 54 s.

4. Bobrov E.G. Lesobrazuyushchiye khvoynyye SSSR. L. : Nauka, 1978. 188 s.

5. Vladyshevskiy D.V. Ekologiya lesnykh ptits i zverey (Kormodobyvaniye i ego biotsenoticheskoye znacheniyе). Novosibirsk : Nauka, 1980. 261 s.

6. Vorob'yev V.N. Kedrovka i eye vzaimosvyazi s kedrom sibirskim (Opyt kolichestvennogo analiza.) Novosibirsk : Nauka, 1982. 113 s.

7. Gorchakovskiy P.L. Rastitel'nyy mir vysokogoriy Urala. M. : Nauka, 1975. 284 s.

8. Zalesov S.V., Sekerin E.M., Platonov E.P. Analiz rasprostraneniya sosny kedrovoy sibirskoy po territorii Sverdlovskoy oblasti // *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. № 5. S. 41–48.

9. Kirsanov V.A. Vozrastnaya struktura i estestvennoye vozobnovleniye kedra sibirskogo na Severnom Urale i v smezhnom Zaural'ye // *Lesobrazovatel'nyy protsess na Urale i v Zaural'ye*. Sverdlovsk : AN SSSR UNTs, 1975. S. 129–145.

10. Kirsanov V.A. Formirovaniye i razvitiye kedrovnika zelenomoshno-yagodnikovogo na Severnom Urale // *Vosstanovitel'naya i vozrastnaya dinamika lesov na Urale i v Zaural'ye*. Sverdlovsk : AN SSSR UNTs, 1976. S. 104–112.

11. Kolesnikov B.P., Zubareva R.S., Smolonogov E.P. Lesorastitel'nyye usloviya i tipy lesov Sverdlovskoy oblasti. Sverdlovsk : AN SSSR UNTs, 1973. 176 s.

12. Kolesnikov B.P., Smolonogov E.P. Nekotoryye zakonomernosti vozrastnoy i vosstanovitel'noy dinamiki kedrovnykh lesov Zaural'skogo Priob'ya // *Problemy kedra*. Novosibirsk : SO AN SSSR, 1960. S. 21–31.

13. Komarova T.A. Poslepozharnyye suksessii v lesakh Sikhote-Alinya. Vladivostok : DVO AN SSSR, Biologo-pochvennyy in-t. 1992. 224 s.

14. Konovalova M.E. Vosstanovitel'naya dinamika lesa na sploshnykh vyrubkakh gornykh kedrovnikov Yuzhnoy Sibiri // *Lesovedeniye*. 2015. № 4. S. 267–274.

15. Krylov G.V., Talantsev N.K., Kozakova N.F. *Kedr. M. : Lesnaya prom-st'*, 1983. 216 s.

16. Nikolayeva S.A., Bekh I.A., Savchuk D.A. Otsenka etapov vosstanovitel'no-vozrastnoy dinamiki temnokhvoyno-kedrovnykh lesov po dendrokronologicheskim dannym (na primere Ket'-Chulym'skogo Mezhdurech'ya) // *Vestnik Tom'skogo gos. un-ta. Biologiya*. 2008. № 3(4). S. 180–185.

17. Obydennikov V.I., Kozhukhov N.I. *Tipy vyrubok i vozobnovleniye lesa. M. : Lesnaya prom-st'*, 1977. 173 s.

18. Polyakov V.I., Semechkin I.V. Dinamika i ustoychivost' chernykh kedrovnikov Zapadnogo Sayana // *Lesovedeniye*. 2004. № 2. S. 12–19.

19. Sannikov S.N. Ekologiya i geografiya estestvennogo vozobnovleniya sosny obyknovnoy. M. : Nauka, 1992. 257 s.

20. Sannikov S.N., Sannikova N.S., Petrova I.V. Ocherki po teorii lesnoy populyatsionnoy biologii. Ekaterinburg, Botanicheskiy sad UrO RAN. 2012. 272 s.

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

22. Sannikov S.N., Tantsyrev N.V., Petrova I.V. Invaziya populyatsiy sosny sibirskoy v gomuyu tundru Severnogo Urala // *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2018. № 4. С. 449–461. URL: <https://doi.org/10.15372/SEJ20180406>.

23. Sedykh V.N. Formirovaniye kedrovnykh lesov Priob'ya. Novosibirsk : Nauka, SO AN SSSR, 1979. 108 s.

24. Skvortsova E.B., Ulanova N.G., Basevich V.F. *Ekologicheskaya rol' vetrovalov. M. : Lesnaya prom-st'*, 1983. 192 s.

25. Smolonogov E.P. Ekologo-geograficheskaya differentsiatsiya i dinamika kedrovyykh lesov Urala i Zapadno-Sibirskoy ravniny (ekologo-lesovodstvennyye osnovy optimizatsii khozyaystva). Sverdlovsk : RISO UrO AN SSSR, 1990. 288 s.
26. Smolonogov E.P., Kirsanov V.A., Trusov P.F. Osobennosti vozrastnoy dinamiki temnokhvoynokedrovyykh lesov Severnogo Urala // Ispol'zovaniye i vosproizvodstvo kedrovyykh lesov. Novosibirsk : Nauka, 1971. s. 72–81.
27. Tantsyrev N.V. Lesovodstvenno-ekologicheskii analiz estestvennogo vozobnovleniya kedra sibirskogo na sploshnykh garyakh i vyrubkakh v gornyykh lesakh Severnogo Urala : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Ekaterinburg, 2012. 23 s.
28. Tantsyrev N.V. Vliyaniye rubok ukhoda v proizvodnykh sosnyakakh na posleduyushcheye vozobnovleniye kedra sibirskogo // Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh. Ekaterinburg, 2016. № 1 (vyp. 56). S. 25–32.
29. Tantsyrev N.V. Analiz razmeshcheniya kedrovkoy kladovok semyan kedra sibirskogo po sledam ikh zimnego ispol'zovaniya // Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova. Ulan-Ud'e, 2020. № 3(60). S. 117–125. DOI: 10.34655/bgsha.2020.60.3.018.
30. Tret'yakov N.V. Metod issledovaniya dinamiki drevostoyev dan
31. Usol'tsev V.A. Etyudy o nashikh lesnykh derev'yakh. Ekaterinburg : Bank kul'turnoy informatsii. Seriya «Priroda Urala», 2008. 188 s.
32. Lanner R.M. Made for each other. A symbiosis of birds and pines. New York, Oxford, Oxford University Press, 1996. 160 p.
33. Lanner R.M. Nikkanen T. Establishment of Nucifraga–Pinus mutualism in Finland // Ornis Fenn 1990. 67. p. 24–27.
34. Maher C.T., Nelson C.R., Larson A.J., Sala A. Ecological effects effectiveness of silvicultural restoration treatments in whitebark pine forests. // Forest Ecology and Management. 2018. 429. Pp. 534–548.
35. McLane A.J., Semeniuk C., McDermid G.J., Tomback D.F., Lorenz T., Marceau D. Energetic behavioral-strategy prioritization of Clark's nut-crackers in whitebark pine communities: An agent-based modeling approach // Ecological Modeling, 2017. 354. P. 123–139.
36. Schaming T.D., Sutherland C.S. Landscape- and local-scale habitat influences on occurrence and detection probability of Clark's nut-crackers: Implications for conservation. PLoS ONE 2020 15(5): e0233726.

© Танцырев Н. В., 2022

Поступила в редакцию 20.06.2022
Принята к печати 01.09.2022

ИСТОРИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПЛАНТАЦИОННОГО ОРЕХОВОДСТВА КЕДРОВЫХ СОСЕН В ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЕ

Е. В. Титов

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова
Российская Федерация, 394087, Воронежская область, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8

Излагается история появления кедра европейского, изменение ареалов кедра сибирского и кедра европейского на европейском континенте от плиоцена до современного голоцена. Описаны биологические и экологические свойства этих пород. По широкому спектру питательных и целебных свойств кедровых орехов, хозяйственно-ценным, декоративным и оздоровительным свойством, эти виды – выдающиеся творения природы. Естественные насаждения кедра сибирского на западной границе ареала, в Республике Коми, кедра европейского в изолятах высокогорья Украинских Карпат отличаются невысокой семенной и стволовой продуктивностью, низким полиморфизмом. В Восточной Европе искусственные посадки кедра сибирского, единичные – кедра европейского, имеются в разных лесорастительных зонах России – от Мурманского Заполярья и Архангельской области до Центральных районов лесосеи. Концентрация растений из различных районов и популяций естественного ареала способствовала созданию полиморфных насаждений. Отмечается высокая индивидуальная, внутризональная, географическая изменчивость деревьев по семенной продуктивности, энергии роста, структурным признакам урожая, развитию кроны и другим. Наилучшие условия для реализации урожайности при свободном размещении деревьев, а также других свойств имеется в зоне хвойно-широколиственных лесов. Здесь в среднеурожайные годы с одного дерева заготавливали 1–1,5 кг орехов, в хорошие – 3–5, в высокоурожайные – 9–12 кг. Полиморфизм позволяет выявлять генотипы с высоким значением хозяйственно-ценных признаков и использовать их вегетативное потомство (черенки) для создания целевых плантаций и других посадок – орехопродуктивных, быстрорастущих, экологических, декоративных с целью ускоренного получения в большом объеме весомой и невесомой кедровой продукции.

Ключевые слова: кедр сибирский, кедр европейский, ареал, продукция, урожайность, разведение, плодonoшение, отбор.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 5, P. 404–409

HISTORY OF CULTIVATION AND PROSPECTS OF PLANTING PINE PINE NUTS IN EASTERN EUROPE

E. V. Titov

Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov
8, Timiryazeva str., Voronezh, Voronezh region, 394087, Russian Federation

The history of the appearance of the European cedar, the change in the areas of the Siberian cedar and the European cedar on the European continent from the Pliocene to the modern Holocene is presented. The biological and ecological properties of these rocks are described. According to a wide range of nutritious and healing properties of pine nuts, economically valuable, decorative and health-improving properties, these species are outstanding creations of nature. Natural plantations of Siberian cedar on the western border of the range, in the Komi Republic, European cedar in isolates of the highlands of the Ukrainian Carpathians are distinguished by low seed and stem productivity, low polymorphism. In Eastern Europe, artificial plantings of Siberian cedar, isolated – European cedar, are available in different forest zones of Russia – from the Murmansk Arctic and the Arkhangelsk region to the Central regions of the forest. The concentration of plants from different regions and populations of the natural range contributed to the creation of polymorphic plantations. There is a high individual, intrazonal, geographical variability of trees in seed productivity, growth energy, structural characteristics of the yield, crown development, and others. The best conditions for the realization of productivity with free placement of trees, as well as other properties, are in the zone of coniferous-deciduous forests. Here, in medium-yielding years, 1–1.5 kg of nuts were harvested from one tree, in good years – 3–5, in high-yielding – 9–12 kg. Polymorphism makes it possible to identify genotypes with a high value of economically valuable traits and use their vegetative offspring (cuttings) to create target plantations and other plantations – nut-producing, fast-growing, ecological, ornamental in order to rapidly obtain a large volume of weighty and weightless cedar products.

Keywords: Siberian cedar, European cedar, area, production, yield, breeding, fruiting, selection.

ВВЕДЕНИЕ

В огромном мире сосен имеется не более 15 видов, продуцирующих съедобные семена-орехи. Это – орехоплодовые сосны. Как бы оберегая эту уникальность, Природа поселяла их, как правило, в труднодоступных местах: в горах Южной и Северной Америки, на Урале и в Алтае-Саянской горной области Сибири России, в высокогорьях Афганистана, Гималаев, Китая. Все они горного происхождения. Со временем некоторые виды заселили и равнины.

Европейскому континенту природа подарила две хвойные плодовые породы – сосну кедровую сибирскую (кедр сибирский *Pinus sibirica* Du Tour.) и сосну кедровую европейскую (кедр европейский *Pinus cembra* L.). Это – северные кедры.

Свое символическое название «кедр» они получили за внешнее, а не биологическое сходство с могучими южными, по систематике настоящими кедром (из рода Кедр – *Cembra*), – ливанским, атласским, гималайским. В течение многих поколений в России, в Средней и Южной Европе этот специфический термин прочно утвердился в быту, в научной и популярной литературе, хотя ботанически неточен.

Более древний вид – кедр сибирский. В плиocene он произрастал на Русской равнине, в конце плиоцена – начале плейстоценового похолодания достиг и широко распространился в Западной Европе. Об этом свидетельствует наличие его пыльцы в отложениях соответствующих геологических эпох, в бассейнах рек Хопра, Оки, Волги, в Западных Альпах, Карпатах и в прилежащих предгорных областях, на Польской равнине.

Позднее, в среднем голоцене, в связи с потеплением и иссушением климата, распространением широколиственных лесов, ареал кедров значительно сократился [4]. Порода исчезла с Русской равнины. В нижних поясах гор она была вытеснена дубом, буком и другими широколиственными породами и нашла убежище в высокогорье Альп и Карпат. Единый огромный ареал этого вида на азиатско-европейском континенте был разорван и началось расхождение сибирского и западно-европейского кедров под влиянием внешних условий [1].

Длительная пространственная изоляция и природно-климатические условия в горах Средней Европы затронули физиологические свойства и способствовали дифференциации кедров сибирского до нового видового ранга – появлению молодого западно-европейского кедров – *Pinus cembra*. Поскольку он географически обособился совсем недавно, то морфологически незначительно отличается от своего сибирского прародителя.

В настоящее время кедр сибирский и кедр европейский рассматриваются как близкородственные и географически замещающиеся виды. Они – продукт географического видообразования, затронувшего прежде всего их физиологические свойства [3]. По современной систематической классификации, оба вида относятся к одному видовому ряду *Sibiricae*, секции *Cembra* [1].

Современный ареал кедров европейского географически обособлен. Он находится в горах Средней и

Западной Европы: в среднегорье и высокогорье Карпат, в Татрах, в Альпийских горах Франции, Италии, Германии, Швейцарии. Северо-восточнее и восточнее, на полторы-две тысячи километров, до Республики Коми и Урала в России, отстоит западная граница ареала кедров сибирского. Его распространение простирается в Сибири на 4,5 тыс. км до Якутии. То есть ареалы этих кедровых сосен находятся в резко различающихся природно-климатических условиях, обуславливающих их внутривидовую изменчивость, генетическую структуру и продуктивность популяций.

Природа щедро оделила эти виды уникальными пищевыми, целебными, средоулучшающими, декоративными и другими полезными для человека свойствами. Кедр сибирский – основная орехоплодовая порода России. Его кедровые орехи в течение нескольких столетий являлись важным экономическим ресурсом страны. В последние годы они стали дефицитным и дорогостоящим продуктом из-за массового уничтожения высокоурожайных кедровников, низкой семенной продуктивности и старения сохранившихся, трудоемкости орехозаготовок в тяжелых таежных условиях. Возрождение массового орехопромысла связывается с созданием высокоурожайных кедровых лесосадов и кедровых плантаций в районах естественного ареала и в условиях интродукции. Целью исследований являлось изучение особенности роста и семеношения кедров сибирского и европейского в Восточной Европе и установление районов для создания высокоурожайных орехопродуктивных и других целевых плантаций на селекционной основе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Планетарные изменения климата приводят к вековым сменам пород. Господствующие в теплый геологический период на северо-западе европейской части России и на центральной части Русской равнины широколиственные леса, местами – дубравы, с началом похолодания и большего увлажнения климата постепенно были вытеснены елью. Она уже примерно 800 лет снова преобладает на когда-то принадлежащей ей территории и постоянно продвигается к югу [13]. Ель, как и кедр сибирский, влаголюбива и зимостойка. Высокопродуктивные ельники на европейской части России – свидетельство наличия в современную эпоху благоприятных природно-климатических условий для успешного произрастания здесь ее экологического родственника – кедров сибирского и его «младшего брата» – кедров европейского. Многовековая история их успешной интродукции в этом огромном регионе свидетельствует о том, что древний вид вернулся на родину предков.

К большинству экологических факторов эти кедры не предъявляют высоких требований. Единственный экологический прихоть кедров сибирского является потребность в повышенной влажности почвы и, особенно, воздуха. Он – мезофит. Не встречается в районах со среднемесячной относительной влажностью воздуха в 13 часов ниже 45 % и среднегодовым ее значением менее 50–60 % [5]. Кедр европейский более засухоустойчив. Он – ксеромезофит и поэтому

лучше адаптируется в районах с засушливым климатом.

Оба вида теневыносливы, но лучше растут, раньше, обильнее и регулярнее плодоносят на свету. В молодом возрасте долго мирятся с затенением, при этом у них резко снижается прирост и позже наступает возмужание. Выросшие в густых насаждениях, деревья начинают плодоносить с 50–80 лет, произрастающие на просторе при полной освещенности – с 15–25 лет. Поэтому для нормального физиологического развития и своевременного формирования урожая их надо выращивать с малых лет при полном световом довольствии.

Кедр сибирский и кедр европейский отличается большим разнообразием полезных для человека свойств и видов лесной продукции. Наиболее ценным являются кедровые орехи – высококалорийный, экологически чистый, сбалансированный источник питания высокой биологической активности, обладающий разнообразными целебными свойствами. В их ядре содержится от 50 до 60 % жира, 15–18 % белков, комплекс витаминов группы В, 19 аминокислот, 70 % из них – незаменимые и условно незаменимые, что свидетельствует о их высокой биологической ценности. В липидах кедровых орешков содержится большое количество полиненасыщенных жирных кислот [15; 17]. Это выгодно отличает их от других источников жиров.

Терапевтическая ценность кедровых семян обусловлена также высоким содержанием в них витаминов группы В, особенно рибофлавина и тиамин, а также – макро- и микроэлементов – меди, кобальта, ванадия, калия, цинка. Они регулируют обменные процессы, рост, образование жирных кислот, кроветворение, нормализуют работу сердечно-сосудистой, пищеварительной и эндокринной систем, тормозят образование холестерина в кровеносных сосудах, способствуют нормальному функционированию предстательной железы, укрепляют иммунную систему и др. Семена содержат большое количество витамина Е (токоферол, в переводе с греческого – «несу потомство»), необходимого для продления рода. В них его больше, чем в грецких орехах в 1,5 раза [14].

Всеми питательными и лечебными свойствами семян кедровых орехов обладает и получаемое из них кедровое масло. У кедра европейского и кедра сибирского состав его примерно одинаков [16]. Особенно много в нем (86–87 %) незаменимых полиненасыщенных жирных кислот – линолевой и линоленовой. Они не синтезируются в организме человека, но выполняют очень важную роль – снижают способность холестерина образовывать бляшки на стенках кровеносных сосудов. Поэтому для обеспечения нормальной жизнедеятельности должны содержаться в продуктах питания.

Не меньшую ценность представляет и кедровая смола, которую за способность быстро заживлять раны по-прежнему называют живицей. Она содержится в древесине, прозрачна, имеет приятный запах, обладает сильными бактерицидными свойствами, поэтому применяется в медицине для лечения язв, заболеваний кожи, эрозивных процессов. Является исходным

сырьем для получения камфары, скипидара, а также – кедрового бальзама для оптико-механической промышленности и микротехники, иммерсионного масла для микроскопии.

Обе породы удивительно гармонично сочетают разнообразие ценных внутренних свойств с внешней декоративной привлекательностью. Развиваясь на свободе, они формируют низкоопущенную широко-раскидистую крону и служат великолепным украшением садов и парков.

Кедры не только декоративны, но и обладают высокими оздоровительными свойствами. Они создают особый, живительный микроклимат. В нем воздух насыщен запахом кедрового бальзама, тонким ароматом эфирных масел и фитонцидами, которые его дезинфицируют, уничтожая болезнетворные микроорганизмы.

По широкому спектру питательных, целебных, хозяйственно-ценных, декоративных и оздоровительных свойств кедр сибирский и кедр европейский – выдающиеся творения природы. Степень проявления этих уникальных свойств зависит, в первую очередь, от условий произрастания.

В Республике Коми, на краю естественного ареала кедра сибирского, площадь лесов с его участием не превышает 0,02 млн.га. Насаждения располагаются в подзонах средней и северной тайги, отличаются низкой производительностью: средний класс бонитета составляет IV.9 [8]. Только в оптимальных условиях произрастания, в междуречье Печоры и Илыча встречаются кедровники III класса бонитета [6]. Даже здесь, в Печеро-Илычском заповеднике, они отличаются невысокой семенной продуктивностью.

В сомкнутых насаждениях семенение начинается в возрасте 80–120 лет, продолжается до 200–250 лет, у некоторых особей – до 400–420 лет.

Фенотипические признаки урожайности у деревьев в этих условиях довольно скромные: средняя протяженность плодоносящего женского яруса составляет 2 м или не более 18 % длины всей кроны, количество плодоносящих побегов в нем – 50–80 шт., у единичных особей – 120–160 шт. Структурные признаки урожая – средние: длина шишек – 60–70 мм, масса семян в них – 18 г. Семена легкие или средние: масса 1000 шт. – 218–224, максимально – 230 г. Биологический урожай семян – 96–144 кг/га, у отдельных деревьев – 1.1–1,3 кг. Фактический средний многолетний урожай – 40–68 кг/га. Хорошие урожаи бывают через 5–9, средние – через 2–3 года [7]. То есть, на северо-восточной границе ареала для кедра сибирского характерны невысокие, но часто повторяющиеся урожаи семян, что можно рассматривать как результат приспособления вида к жизни в неблагоприятных условиях.

В гослесфонде Украинских Карпат естественные насаждения кедра европейского занимают 6,3 тыс. га [9]. Наибольшие участки этой породы сохранились в Горнах, которые представляют собой систему горных хребтов с резко выраженными каменистыми формами рельефа. На высоте 1350–1450 м над уровнем моря кедр европейский образует верхнюю границу леса. Внутривидовая изменчивость породы невы-

сокая, что связывается с очень ограниченным ее ареалом.

В разные годы параметры шишек, выход и качество семян, величина урожая орешков сильно колеблются. В Карпатских Горгонах, в типичном местообитании, на высоте 1330–1380 м над уровнем моря, в разновозрастном 190–310-летнем древостое средняя длина шишек составляла 46–56 мм (максимально 84 мм), ширина – 41–43 (59) мм, число семян в шишке – 16–59 (90) шт., масса семян в шишке – 5–11 (22) г. Масса 1000 шт. полнозернистых семян – 270–300 г, в 1 кг их 3,3–3,7 тыс. шт. [9]. На одном дереве формировалось в годы высоких урожаев в среднем 84 шишки или 700 г семян, на 1 га – 70–80 кг. В других частях альпийского ареала кедр европейского, например, в Баварских Альпах, на отдельных деревьях имелось от 200 до 600 шт. шишек, а семенная продуктивность древостоев в урожайные годы достигала 280 кг чистого ореха с 1 га [16].

Таким образом, насаждения естественного происхождения кедр сибирского на западной границе ареала, в Республике Коми, и кедр европейского в изолятах высокогорья Украинских Карпат отличаются невысокой стволовой и семенной продуктивностью, низким полиморфизмом. В этих экстремальных условиях естественный отбор способствует выживаемости вида, сохранению адаптированных к ним генотипов с полезными для его существования функциональными и морфофизиологическими приспособительными свойствами, а не с максимально накопленной стволовой продукцией. Например, – с регулярным семеношением при невысоких урожаях орехов.

Вместе с тем, благодаря удивительной пластичности к условиям среды, искусственные посадки кедр сибирского имеются на огромном географическом пространстве Восточной Европы. В разных лесорастительных зонах России: от северной тайги Мурманского Заполярья и Архангельской области до Центральной лесостепи (Воронежская, Тамбовская, Курская, Липецкая области). В Латвии, Литве, Эстонии, Беларуси, Украине [2].

Пионерами разведения кедр были монахи. Торжественная красота величественных вечнозеленых деревьев смиряет душу и укрощает нрав. Она отражена в пословице: «В сосняке – трудиться, в березняке – веселиться, в кедряке – Богу молиться». Более 400 лет тому назад монахи заложили первую не только в России, но и в мире, рощу кедр сибирского в Толгском монастыре, в 8 км от Ярославля. К концу прошлого века в аллеиной посадке сохранилось 12 могучих деревьев высотой 27 м и диаметром 60–90 см [2].

В Подмоскowie первые сибирские кедры стали высаживать в 1665 г. в дворцовых садах и парках. Растения, выкопанные с комом земли, обложенные мхом и оббитые рогожей, доставляли на саях из Предуралья. Очень интересовался внедрением сибирского кедр в новые районы Петр I. В 1724 г., согласно его указу, для озеленения новой столицы отправили из Соликамска (Пермская область) в Петербургские сады 1300 кедров. Сейчас эти 300-летние «петровские крестники» выше 25 м при диаметре 16–80 см.

С легкой руки наших далеких предков кедр сибирский (кедр европейский – единично) стали высаживать в последующие столетия во многих областях Центрального, Северо-западного и в других районах европейской части страны. Сейчас там растут миллионы деревьев разного возраста, в основном от 5 до 150 лет, на площади более 15 тыс. га [2]. В возрасте возмужалости на них формируются полнозернистые семена, дающие жизнь новым поколениям кедр. Это – главный биологический показатель успешной его интродукции.

Искусственное разведение кедр сибирского, как удивительно декоративной хвойной породы, долгое время проводилось с целью озеленения усадеб, парков, городов, других населенных мест. Для посадки использовались растения семенного происхождения, сначала из насаждений невысокой продуктивности, вблизи доступной западной границы естественного ареала породы – Предуралья, позже – из внутренних его районов. Со временем начали создаваться промышленные лесные культуры кедр с густым размещением или с примесью затеняющих его пород (ели, сосны). То есть, в большинстве случаев, – без учета биоэкологических свойств орехоплодовой породы: свободного размещения деревьев с молодого возраста для максимальной реализации урожайности.

Концентрация на европейском континенте кедр сибирского из различных популяций и районов естественного ареала способствовала созданию полиморфных насаждений. На европейской части России отмечается высокая индивидуальная, внутризональная и географическая изменчивость деревьев по семенной продуктивности, энергии роста, структурным признакам урожая, развитию кроны и другим. Морфобиометрия признака во многом зависит от соответствия породы условиям интродукции и размещения деревьев.

Наилучшие условия для реализации урожайности генотипа имеются в зоне хвойно-широколиственных лесов при свободном размещении деревьев. В кедровой роще в Вологодской области, созданной в 1901–1902 годах, на свободно стоящих деревьях (10×10 м), на несомкнутых до сих пор кронах, первые шишки появились в 20–25 лет, промышленный урожай орехов – в 30–35 лет. В среднеурожайные годы с одного дерева заготавливали в среднем 1–1,5 кг семян, в годы с хорошим урожаем – 3–4 кг, в высокоурожайный год, в 80 лет, с лучших кедров – 9–12 кг. Ранним (с 20 лет), почти ежегодным и обильным (3–5 кг) в отдельные годы плодоношением отличаются деревья в 60-летней кедровой роще в Удмуртии. Часто, хорошо и обильно в отдельные годы плодоносят кедры во Владимирской, Ивановской, Псковской и других областях [2]. К северу и к югу от зоны смешанных лесов урожай и энергия роста деревьев снижаются, но встречаются особи, обильно семеносящие в отдельные годы.

Высокая изменчивость в искусственных посадках деревьев кедр сибирского по хозяйственно-ценным признакам является основой для повышения продуктивности кедровых насаждений в районах интродукции. Она позволяет выявить генотипы с высоким

значением и использовать их вегетативное потомство (черенки) для создания целевых плантаций и отдельных посадок – орехопродуктивных, быстрорастущих, экологических, декоративных и других с целью ускоренного получения в большом объеме весомой и не весомой кедровой продукции.

Энергия роста, характер плодоношения и другие свойства растений-интродуцентов обусловлены индивидуальными особенностями организма, а также лесорастительными, ценогенными и почвенно-климатическими условиями в районе происхождения и районе интродукции. В европейской части России оптимальные условия по влаго- и теплообеспеченности, плодородию почвы, соответствующие экологии разных пород, в том числе – кедровых сосен, имеются в подзоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов [10]. Здесь кедровые посадки отличаются наибольшей семенной и стволовой продуктивностью.

Отбор следует проводить среди 80–150-летних, свободно растущих, лучших деревьев, происходящих из внутренней, а не окраинной части естественного ареала. Для создания орехопродуктивных плантаций и кедровых садов необходимо отбирать высокоурожайные, среднеурожайные с высокой пыльцевой продуктивностью кедровые, крупношишечные и крупносеменные формы. Обязательно изучение фенологии генеративных органов. Максимальный выход полнозернистых семян из шишки происходит при синхронном развитии женских макростробилов у высокоурожайных клонов и мужских «колосков» у клонов-опылителей. Основы создания орехопродуктивных кедровых плантаций разработаны [12].

Ценным объектом для интродукции могут быть быстрорастущие, с гетерозисным эффектом, внутривидовые гибриды кедрового сибирского, полученные в Северо-Восточном Алтае при скрещивании генетически разнородных партнеров. В 35-летнем возрасте в зоне хвойно-широколиственных лесов (Брянская область) они, при среднегодовом приросте 27–30 см, достигли высоты 9,1–9,4 м. Превосходили потомство лучшего родителя на 15–21 % или на 1,1–1,3 м [11].

ВЫВОДЫ

На территории Восточной Европы естественные насаждения кедрового сибирского и кедрового европейского отличаются невысокой стволовой и семенной продуктивностью. В условиях их произрастания – кедрового сибирского на западной границе своего ареала, в Республике Коми, кедрового европейского – в островном, изолированном высокогорье Украинских Карпат, естественный отбор способствует выживаемости вида, а не максимальному развитию хозяйственно-ценных признаков. Для этих популяций характерен низкий уровень полиморфизма.

Значительно выше значения и изменчивость признаков в посадках кедрового сибирского на европейской части России – от Мурманского Заполярья до Центральной лесостепи. На этом географическом пространстве, прежде всего, в зоне хвойно-широколиственных лесов, следует проводить отбор и вегетативное размножение выдающихся генотипов-интродуцентов для создания высокоурожайных и других

целевых плантаций. Ценным объектом интродукции могут быть быстрорастущие, с гетерозисным эффектом, внутривидовые гибриды кедрового сибирского.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бобров Е. Г. Лесообразующие хвойные СССР [Текст]. Ленинград : Наука, 1978. 189 с.
2. Игнатенко М. М. Сибирский кедр [Текст]. М. : Наука, 1988. 160 с.
3. Ирошников А. И. Биоэкологические свойства и изменчивость кедрового сибирского [Текст] // Кедровые леса Сибири. Новосибирск : Наука, 1985. С. 8–40.
4. Козий Г. В. Четвертичная история восточно-карпатских лесов : автореф. дис. ... д-ра биол. наук [Текст]. Львов, 1950. 50 с.
5. Крылов Г. В., Таланцев Н. К., Козакова Н. Ф. Кедр [Текст]. М. : Лесн. пром-сть, 1983. 216 с.
6. Ланина Л. Б. Сибирский кедр в Печоро-Ильчском заповеднике [Текст] // Тр. Печоро-Ильчского государственного заповедника. Сыктывкар, 1963. Вып. 10. С. 55–219.
7. Непомилуева Н. И. Кедр сибирский на северо-востоке европейской части СССР [Текст]. Л. : Наука, 1974. 184 с.
8. Обухов В. Д., Ларин В. Б. Лесной фонд Республики Коми [Текст] // Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми. М., 2000. С. 307–330.
9. Смаглюк К. К. Аборигенні хвойні лісоутворювачі [Текст]. Ужгород : Карпати, 1972. 112 с.
10. Титов Е. В. Плантационное лесоводство [Текст]. Воронеж : ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2012. 127 с.
11. Титов Е. В. Разнокачественность родителей и рост внутривидовых гибридов кедрового сибирского [Текст] // Лесотехнический журнал. М. 6. № 1, 2016. С. 62–72.
12. Титов Е. В. Орехопродуктивные кедровые плантации и лесосады [Текст]. Воронеж : ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2021. 267 с.
13. Тихонов А. С., Набатов Н. М. Лесоведение [Текст]. М., 1995. 320 с.
14. Орехоплодовые лесные культуры [Текст] / Ф. Л. Щепотьев, А. А. Рихтер и др. М. : Лесная пром-сть, 1978. 256 с.
15. Components of Pine Seed Lipids [Text] / V. Hirata, R. Sekiguchi, M. Saitoh, K. Kubota, M. Kayama. Yakagaku, 1994. Vol. 43. P. 579–582.
16. Rohmeder E. M. Allegemeine Forstreitung [Text]. 1955. P. 7–8.
17. General Characteristics of Pinus spp. Seed Fatty Acid Compositions, and Importance of 5-Olefinic Acids in the Taxonomy and Phylogeny of the Genus [Text] / R. L. Wolff, F. Pedrono, E. Pasquier, A. M. Marpeau. Lipids, 2000. Vol. 35. № 1. P. 1–22.

REFERENCES

1. Bobrov E. G. Lesoobrazuyushchiye khvoynyye SSSR [Tekst]. Leningrad : Nauka, 1978. 189 s.
2. Ignatenko M. M. Sibirskiy kedr [Tekst]. M. : Nauka, 1988. 160 s.
3. Iroshnikov A. I. Bioekologicheskiye svoystva i izmenchivost' kedra sibirskogo [Tekst] // Kedrovyye lesa Sibiri. Novosibirsk : Nauka, 1985. S. 8–40.

4. Koziy G. V. Chetvertichnaya istoriya vostochno-karpatskikh lesov : avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk [Tekst]. L'vov, 1950. 50 s.
5. Krylov G. V., Talantsev N. K., Kozakova N. F. Kedr [Tekst]. M. : Lesn. prom-st', 1983. 216 s.
6. Lanina L. B. Sibirskiy kedr v Pechoro-Ilychskom zapovednike [Tekst] // Tr. Pechoro-Ilychskogo gosudarstvennogo zapovednika. Syktyvkar, 1963. Vyp. 10. S. 55–219.
7. Nepomiluyeva N. I. Kedr sibirskiy na severovostoche evropeyskoy chasti SSSR [Tekst]. L. : Nauka, 1974. 184 s.
8. Obukhov V. D., Larin V. B. Lesnoy fond Respubliki Komi [Tekst] // Lesnoye khozyaystvo i lesnyye resursy Respubliki Komi. M., 2000. S. 307–330.
9. Smaglyuk K. K. Aborigenni khvoyni lisoutvo-ryuvachi [Tekst]. Uzhgorod : Karpati, 1972. 112 s.
10. Titov E. V. Plantatsionnoye lesovodstvo [Tekst]. Voronezh : FGBOU VPO «VGLTA», 2012. 127 s.
11. Titov E. V. Raznokachestvennost' roditeley i rost vnutrividovykh gibridov kedra sibirskogo [Tekst] // Lesotekhnicheskyy zhurnal. M. 6. № 1, 2016. S. 62–72.
12. Titov E. V. Orekhoproductivnyye kedrovyye plantatsii i lesosady [Tekst]. Voronezh : FGBOU VO «VGLTU», 2021. 267 s.
13. Tikhonov A. S., Nabatov N. M. Lesovedeniye [Tekst]. M., 1995. 320 s.
14. Orekhoplodovyye lesnyye kul'tury [Tekst] / F. L. Shchepot'yev, A. A. Rikhter i dr. M. : Lesnaya prom-st', 1978. 256 s.
15. Components of Pine Seed Lipids [Text] / V. Hirata, R. Sekiguchi, M. Saitoh, K. Kubota, M. Kayama. Yakagaku, 1994. Vol. 43. P. 579–582.
16. Rohmeder E. M. Allgemeine Forstreitung [Text]. 1955. P. 7–8.
17. General Characteristics of Pinus spp. Seed Fatty Acid Compositions, and Importance of 5-Olefinic Acids in the Taxonomy and Phylogeny of the Genus [Text] / R. L. Wolff, F. Pedrono, E. Pasquier, A. M. Marpeau. Lipids, 2000. Vol. 35. № 1. P. 1–22.

© Титов Е. В., 2022

Поступила в редакцию 20.06.2022
Принята к печати 01.09.2022

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БИОМАССЫ КЕДРОВЫХ СОСЕН СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АЗИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА

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

¹Ботанический сад УрО РАН

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

²Уральский государственный лесотехнический университет
Российская Федерация, 620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

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

*Лесные экосистемы играют важную роль в стабилизации климата, однако нынешние климатические сдвиги могут привести к существенным изменениям в их биологической продуктивности и выполнении ими биосферных функций. Известны взаимосвязи между биомассой насаждений и гидротермическими показателями на региональных уровнях, но мало данных о подобных взаимосвязях вдоль трансконтинентальных градиентов. Цель данного исследования состоит в выявлении действия закона лимитирующего фактора на динамику биомассы деревьев и древостоев пятихвойных кедров (подрод *Haploxylo*) в территориальных и темпоральных климатических градиентах на транс-евразийском уровне и в сравнении полученных результатов с ранее опубликованными закономерностями для лесобразующих видов Евразии. Для этой цели сформирована база данных о биомассе 95 модельных деревьев (кг) и 155 пробных площадей с измеренной биомассой (т/га) кедровых сосен *Pinus sibirica* Du Tour и *P. koraiensis* S. et Z. В результате реализации принципа пространственно-временного замещения показаны закономерности изменения биомассы пятихвойных кедров при предполагаемых сдвигах температур и осадков, аналогичные ранее установленным закономерностям для лесобразующих видов Евразии. Тем самым, подтверждено наличие однотипности влияния климатических факторов на биомассу разных древесных видов (родов), а именно, существование единообразного характера смены одного лимитирующего фактора другим на уровнях как дерева, так и древостоя, как в существующих пространственных, так и в предполагаемых темпоральных градиентах.*

Ключевые слова: биомасса деревьев и древостоев, база данных, регрессионный анализ, принцип пространственно-временного замещения, закон лимитирующего фактора, трансконтинентальный уровень, температура и осадки.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 5, P. 410–423

FORECASTING THE BIOMASS OF CEDAR PINES IN NORTHERN ASIA UNDER CLIMATE CHANGE

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

¹Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
202a, 8 Marta Str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

²Ural State Forest Engineering University
37 Sibirskiy Trakt, Yekaterinburg, 620100 Russian Federation

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

*Forest ecosystems play an important role in climate stabilization, but current climate shifts can lead to significant changes in their biological productivity and their performance of biospheric functions. Relationships between plant biomass and hydrothermal indicators at regional levels are known, but there is a little data on such relationships along transcontinental gradients. The purpose of this study is to identify the effect of the law of the limiting factor on the dynamics of biomass of trees and stands of five-needled cedar pines (subgenus *Haploxylo*) in territorial and temporal climatic gradients at the trans-Eurasian level and to compare the results obtained with previously published patterns for forest-forming species of Eurasia. For this purpose, a database was formed on the biomass of 95 model trees (kg) and 155 sample plots with measured biomass (t/ha) of *Pinus sibirica* Du Tour and *P. koraiensis* S. et Z. As a result of the implementation of the principle of space-for-time substitution, the patterns of changes in the biomass of five-needled cedar pines with expected shifts in temperature and precipitation are designed, similar to the previously established patterns of forest-forming species of Eurasia. Thus, the presence of the uniformity of the influence of climatic factors on the biomass of different tree species (genera) is confirmed, namely, the uniform nature of the change of one limiting*

factor with another one at the level of both a tree and a stand, both in the existing spatial and assumed temporal gradients.

Keywords: biomass of trees and stands, database, regression analysis, the principle of space-for-time substitution, the law of the limiting factor, transcontinental level, temperature and precipitation.

ВВЕДЕНИЕ

Антропогенные изменения окружающей среды влияют на экосистемы на всех уровнях организации [57]. Изменение климата связано с повышением глобальной средней температуры на 0,76 °C за последние 150 лет, и последние годы являются самыми теплыми за всю историю наблюдений [70]. Климатические прогнозы предполагают повышение температуры воздуха, уменьшение количества осадков и увеличение частоты экстремальных климатических явлений. Выживание видов будет зависеть от их способности адаптироваться к более длительным периодам водного стресса растений и вероятным изменениям в отношении вредителей и болезней. Эти условия в разных климатических зонах Северного полушария будут по-разному влиять на рост основных лесообразующих пород [58].

В функциональной биогеографии предполагается, что свойства растений отражают адаптацию растительности к изменяющимся условиям окружающей среды, включая климат [66]. Сведения о лесной биомассе используются в решении проблемы устойчивого развития [65] и в климатических исследованиях [55]. Современные глобальные модели растительности направлены на реализацию адаптивных реакций растений в контексте теории оптимальности [12; 67]. Поскольку реакция растений на стрессы проявляется в изменениях их биомассы, представляет интерес выяснить, как изменится биомасса и способность лесов к депонированию углерода вследствие климатических изменений [60; 73].

Ранее было показано изменение надземной и общей биомассы пятихвойных кедров в пределах северной части Азии в градиентах среднемесячной суммы зональных эффективных температур [74] и континентальности климата [1]. Установлено, что надземная биомасса уменьшается как по мере повышения индекса континентальности климата в диапазоне от 50 до 95 %, так и по мере снижения среднемесячной суммы эффективных температур с 70 до 30 °C [38]. Констанция названных закономерностей создала предпосылку для выявления климатически обусловленных трендов биомассы деревьев и древостоев в градиентах температур и осадков, которые нынче являются критичными показателями в терминах стабилизации климата. В недавних публикациях было показано явление смены лимитирующего фактора при оценке прироста и биомассы деревьев и древостоев некоторых хвойных и лиственных видов в климатических градиентах Евразии [44–46; 49; 80–82].

В последние два десятилетия для оценки наземной биомассы интенсивно развивалась технология воздушного лазерного зондирования, предоставляющая высокоточную информацию о пространственных и временных характеристиках деревьев и древостоев. Благодаря способности проникать сквозь толщу

кроны данные лазерного зондирования, представляющие трехмерные облака точек, дают подробную 3D-картину структуры морфологии деревьев [56; 83]. Это открывает большие возможности для оценки биомассы деревьев и насаждений с помощью дистанционных измерений их морфологических показателей.

Известно строгое и стабильное аллометрическое соотношение (степенная функция) между биомассой дерева и его диаметром (простая аллометрия) или между биомассой дерева и некоторыми массообразующими показателями (многофакторная аллометрия), и аналогичные аллометрические уравнения для разных древесных видов в мире уже исчисляются десятками тысяч [62]. Аллометрические модели биомассы деревьев особенно актуальны при оценке биомассы в смешанных, многовидовых насаждениях [69]. В предложенных аллометрических моделях, чувствительных к изменению климата [61], прогнозирование изменений биомассы деревьев и древостоев при климатических сдвигах основано на принципе пространственно-временного замещения [30; 46]. Дж. Блойс с соавторами пишут: «Рассматриваемая в широком смысле замена пространства временем включает анализ, в котором современные пространственные явления используются для понимания и моделирования темпоральных процессов, в первую очередь, будущих событий, которые в данный момент не предсказуемы. Во многих областях были разработаны методы, основанные на пространственно-временном замещении, с целью изучения долгосрочного круговорота питательных веществ и сукцессий растений, а также для оценки изменений окружающей среды прошлых лет по нынешним геологическим прокси» [54, с. 9374].

Цель данного исследования состоит в выявлении действия закона лимитирующего фактора на динамику биомассы деревьев и древостоев кедровых сосен (подрод *Haploxydon*) в территориальных и темпоральных климатических градиентах на транс-евразийском уровне и в сравнении полученных результатов с ранее опубликованными закономерностями для лесообразующих видов Евразии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из сформированных баз данных о биомассе 15330 модельных деревьев [75] и 8450 лесных насаждений [76] было отобрано 110 деревьев и 158 древостоев кедровых сосен *Pinus sibirica* Du Tour и *P. koraiensis* S. et Z. подрода *Haploxydon* (табл. 1–3).

Этот эмпирический материал был получен представителями разных областей лесных наук с различными целевыми установками и соответствующей методологической спецификой. Часть этого материала была получена в ходе реализации Международной биологической программы в 1960–1970-х годах

с использованием единой методологии. Однако значительная часть данных была получена в ходе инициативных спонтанных исследований, и их количество неравномерно распределено по регионам. Эта неравномерность частично вызвана природными осо-

бенностями, обусловленными спецификой местообитаний различных древесных видов, а частично – чисто случайными факторами, связанными с наличием или отсутствием соответствующих научных коллективов в конкретных регионах.

Таблица 1

Распределение количества модельных деревьев и пробных площадей с определениями биомассы соответственно деревьев (кг) и древостоев (т/га) по древесным видам подрода *Haploxyylon* и странам северной части Азии

№	Вид	Регион	Координаты, град.		Число модельных деревьев, шт.	Источник
			северная широта	восточная долгота		
Модельные деревья подрода <i>Haploxyylon</i>						
1	<i>Pinus sibirica</i>	Средний Урал, Новая Ляля	59	61	17	[41]
2	<i>P. sibirica</i>	Средний Урал, Нижние Серги	56	59	60	[33]
3	<i>P. sibirica</i>	Западная Сибирь, Кольвань, Плотниково	55-57	83	13	[4; 50]
4	<i>P. sibirica</i>	Красноярский край, Караульное	56	92	11	[40; 52]
5	<i>P. koraiensis</i>	Красноярский край, Караульное	56	92	2	[2]
6	<i>P. koraiensis</i>	Приморский край, Южный Сихотэ-Алинь	43	132	7	[10]
Пробные площади подрода <i>Haploxyylon</i>						
№	Вид	Регион	Координаты, град.		Число пробных площадей, шт.	Источник
			северная широта	восточная долгота		
1	<i>P. sibirica</i>	Средний Урал	58	61	14	[38; 51]
2	<i>P. sibirica</i>	Западная Сибирь	57	85	10	[5; 8; 9; 22; 50]
3	<i>P. sibirica</i>	Красноярский край	56-66	90-93	38	[3; 15; 18; 21; 23; 29; 40; 52]
4	<i>P. koraiensis</i>	Красноярский край	56	92	6	[14]
5	<i>P. sibirica</i>	Западный Саян, Алтай, Кемерово	50-53	86-93	27	[24; 31; 34]
6	<i>P. sibirica</i>	Бурятия, Хамар-Дабан	51-54	105-109	22	[19; 22]
7	<i>P. koraiensis</i>	Приморский край РФ	44-47	132-135	31	[6; 7; 20; 27; 28; 32; 48]
8	<i>P. koraiensis</i>	Китай, провинция Хэйлунцзян	46	127	2	[63; 64]
9	<i>P. koraiensis</i>	Республика Корея, Кёнгидо	37	128	8	[71]

Таблица 2

Статистики исходных данных модельных деревьев подрода *Haploxyylon*

Обозначение статистик ⁽¹⁾	Показатели модельных деревьев ⁽²⁾						$T^{(3)}$	$PR^{(4)}$
	H	Dcr	Pa	Ps	Pb	Pf		
Mean	9,0	2,4	72,7	56,8	10,6	5,3	-17	590
Min	1,4	0,4	0,42	0,11	0,09	0,03	-21	444
Max	26,8	7,7	904,2	724,5	135,5	47,7	-10	826
SD	6,9	1,5	154,6	124,7	22,4	9,0	2,6	96,5
CV.%	76,5	60,9	212,8	219,5	210,9	170,4	-15,2	16,4
n	110	93	110	110	110	110	110	110

Примечания. ⁽¹⁾Mean, Min и Max – соответственно среднее, минимальное и максимальное значения; SD – стандартное отклонение; CV – коэффициент вариации; n – число наблюдений; ⁽²⁾ H – высота дерева, м; Dcr – ширина кроны, м; Pa , Ps , Pb , Pf – биомасса деревьев надземная, стволов, ветвей, хвои в абсолютно сухом состоянии, кг. ⁽³⁾, ⁽⁴⁾ Здесь и далее: T – средняя температура января, °C; PR – среднегодовое количество осадков, мм.

Таблица 3
Статистики исходных данных древостоев пробных площадей подрода *Harpoxylon*

Обозначение статистик	Показатели древостоев пробных площадей ⁽¹⁾								T	PR
	A	D	M	N	Pa	Ps	Pb	Pf		
Mean	117	22,9	245,3	1,7	124,2	103,1	15,5	6,0	-17	552
Min	7	1,6	0,17	0,12	0,14	0,06	0,03	0,05	-30	317
Max	380	58,0	656,0	36,2	324,0	255,6	89,0	47,7	-3	826
SD	79,7	13,0	192,6	4,2	95,4	80,7	16,2	6,4	5,9	183,3
CV.%	67,9	56,8	78,5	254,1	76,8	78,3	104,7	105,2	34,0	33,2
n	157	156	158	158	156	157	156	156	159	159

Примечания. ⁽¹⁾ A – возраст древостоя, лет; D – средний диаметр древостоя, см; M – запас древостоя, м³/га; N – густота древостоя, тыс. деревьев/га; Pa, Ps, Pb, Pf – биомасса древостоя надземная, стволов, ветвей, хвои в абсолютно сухом состоянии, т/га.

Отсутствие единой методологии сказалось на качественном уровне данных о биологической продуктивности насаждений. Особенно большие погрешности связаны с получением данных о чистой первичной продукции (ЧПП) древостоев [37]. В качестве примера можно отметить публикацию [11], в которой ЧПП каждого компонента биомассы древостоя были получены путем деления биомассы каждого компонента на возраст древостоя. В нашей последней публикации [39] показано, что такая методика дает занижение стволочной ЧПП в два раза, а ЧПП хвои – в семь раз.

Наконец, получаемые данные о биомассе и соответствующих таксационных показателях деревьев и древостоев могут быть искажены из-за тривиальных ошибок в расчетах как биомассы при переходе от пробного образца к дереву и древостою, так и в расчетах таксационных показателей при переходе от уровня дерева к древостою. В качестве примера можно привести работу [68], в которой расчетные показатели среднего диаметра, средней высоты и запаса древостоев были занижены на 8...20 %, 4...44 % и 1...97 % соответственно. При попытке включить эти материалы в евразийскую базу данных [35], составителем было обнаружено противоречие в соотношении структуры таксационных показателей и структуры биомассы древостоев. После обращения к немецким авторам, ими были внесены исправления, и в упомя-

нутую базу данных [35] были включены скорректированные показатели. Однако очень трудно учесть возможные аналогичные ошибки в многочисленных «серых» советских и российских публикациях, которые составляют большую часть евразийской базы данных. Опасность таких искажений и ошибок в исходных базах данных очевидна. Рассчитав модель биомассы, которая включает показатели таксации дерева или древостоя в качестве независимых переменных, мы получаем остаточную дисперсию, которая объясняется как климатическими переменными, так и тривиальными ошибками в расчетах и другими неопределенностями. Эти ошибки и неопределенности могут исказить вклад климатических переменных в объяснение изменчивости биомассы «с точностью до наоборот». По-видимому, эффективность результатов анализа и синтеза существующих баз данных о биомассе лесов с целью получения обобщающих закономерностей может быть существенно ограничена их качественным уровнем.

Тем не менее, нами такая попытка предпринята. По известным географическим координатам пробных площадей исходные данные были нанесены на карты-схемы средней январской температуры и среднегодовых осадков (рис. 1), взятые из [84]. Использование карт зимней температуры вместо среднегодовой было обосновано ранее [79].

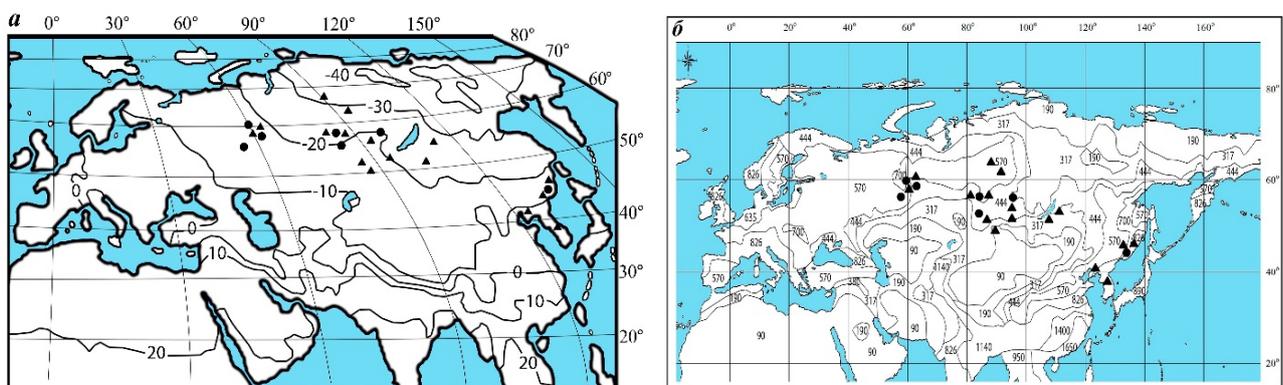


Рис. 1. Распределение фактических данных о биомассе деревьев (кружки) и древостоев (треугольники) подрода *Harpoxyton* на картах-схемах средней январской температуры, °C (a) (https://store.mapsofworld.com/image/cache/data/map_2014/currents-and-temperature-jan-enlarge-900x700.jpg) и среднегодовых осадков, мм (б) (<https://www.eldoradoweather.com/climate/world-maps/world-annual-precip-map.html>) [84]

В соответствии с целью исследования анализ данных и построение моделей выполняются на уровне как отдельных деревьев, так и древостоев. Модели на уровне деревьев ориентированы на их использование посредством бортовых лазерных устройств (дронов), обеспечивающих высокую точность определения диаметров крон и высот деревьев в сочетании с высокой производительностью. Модели на уровне древостоев ориентированы на их использование при традиционной наземной оценке основных таксационных показателей древостоев, что для дистанционного зондирования пока неприемлемо в терминах обеспечения аналогичной точности определения таксационных показателей древостоев.

Данные о биомассе деревьев и древостоев, характеристики которых приведены в табл. 1–3, обработаны методом множественного регрессионного анализа. Обоснование структуры моделей было дано ранее [42; 43; 77; 78].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассчитаны чувствительные к изменению климата регрессионные модели:

– на уровне отдельных деревьев в ориентации на лазерную (лидарную) бортовую оценку биомассы:

$$\ln P_i = a_0 + a_1(\ln D_{cr}) + a_2(\ln H) + a_3[\ln(T + 30)] + a_4(\ln PR) + a_5[\ln(T + 30)] \cdot (\ln PR); \quad (1)$$

– и на уровне древостоев в ориентации на традиционную наземную оценку биомассы:

$$\ln P_i = a_0 + a_1(\ln A) + a_2(\ln D) + a_3(\ln M) + a_4(\ln N) + a_5(\ln A)(\ln N) + a_6[\ln(T + 50)] + a_7(\ln PR) + a_8[\ln(T + 50)] \cdot (\ln PR). \quad (2)$$

Поскольку средняя температура января в высоких широтах имеет отрицательное значение, для ее логарифмического преобразования в моделях (1)–(2) она модифицируется к виду $(T + 30)$ или $(T + 50)$.

Коэффициенты регрессии в моделях (1) и (2) значимы на уровне $p < 0,05$. Исключение составили модели для биомассы ветвей и хвои деревьев, в которых климатические переменные значимы на уровне $p < 0,10$. Несмотря на низкий уровень значимости климатических переменных в моделях для биомассы ветвей и хвои, специфика зависимости биомассы ветвей и хвои от климатических переменных (судя по знакам при названных переменных) та же, что в моделях для биомассы стволов и надземной. Одна из причин низкой значимости модели для биомассы кроны может состоять не только в большой доле остаточной изменчивости моделей (вследствие неучтенного влияния конкурентных взаимодействий деревьев, локального варьирования эдафических факторов, возраста дерева и др.), но и вследствие относительно узкого диапазона климатических условий произрастания кедровых сосен и еще более узкого – в отношении заложенных пробных площадей, в сравнении с другими лесообразующими видами Евразии. Модели (1) и (2) действительны в пределах диапазонов независимых переменных, показанных в табл. 2 и 3.

В имеющихся публикациях, посвященных моделированию биомассы лесов, вклад климатических переменных часто бывает либо несущественным, либо нулевым [72]. Это происходит, главным образом, вследствие локального уровня моделей, ограниченных, например, территорией Западной Европы [59]. В таких случаях диапазон климатических переменных слишком узок, чтобы быть статистически значимым на фоне варьирования структурных переменных деревьев и древостоев [36].

Таблица 4
Результаты расчета моделей (1)

Зависимая переменная	Регрессионные коэффициенты модели (1)						$adjR^2$	SE
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5		
$\ln P_a$	60,0756	0,9968	1,7553	-22,9859	-9,4613	3,5363	0,931	0,48
$\ln P_s$	75,7056	0,6856	2,1928	-29,5793	-12,0649	4,5509	0,962	0,38
$\ln P_b$	7,5897	1,5084	1,3736	-0,0750*	-1,9645*	0,1544*	0,855	0,67
$\ln P_f$	49,4830	1,6304	0,6226	-19,867*	-7,7707*	3,0172*	0,777	0,72

Примечание: $adjR^2$ – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных; SE – стандартная ошибка уравнения; свободный член уравнений a_0 скорректирован на логарифмическую трансформацию [53].

Таблица 5
Характеристика моделей (2)

Зависимая переменная	Регрессионные коэффициенты модели (2)								$adjR^2$	SE	
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7			a_8
$\ln P_a$	40,7752	–	–	0,8929	0,1726	-0,0420	-12,2685	-6,4326	1,9283	0,993	0,15
$\ln P_s$	26,4030	0,0894	–	1,0000	–	–	-8,3785	-4,2759	1,2921	0,996	0,13
$\ln P_b$	185,26	-0,4467	0,3228	0,7164	–	–	-56,2752	-28,3347	8,6004	0,941	0,39
$\ln P_f$	81,8029	-0,7928	0,4100	0,5854	–	–	-25,3161	-11,8539	3,7383	0,821	0,49

Результаты наших предыдущих исследований биомассы деревьев и древостоев лесообразующих видов Евразии, выполненных в климатических градиентах на континентальном уровне, показали, что вклад климатических переменных в моделях во всех случаях статистически достоверен. Это же показали предложенные в настоящей работе модели биомассы кедровых сосен (за исключением биомассы крон в «подеревных» моделях). Процедура регрессионного анализа дает возможность оценить вклад каждой независимой переменной в объяснение изменчивости анализируемой переменной [13]. Результаты оценки названных вкладов показаны в табл. 6. Вклад климатических переменных в объяснение изменчивости биомассы деревьев и древостоев в моделях (1) и (2) составил 28 и 31 %, а вклад структурных переменных составил соответственно 72 и 69 %.

Геометрическая интерпретация моделей (1) и (2) представлена на рис. 2 и 3. Графики получены путем подстановки в модели (1) и (2) средних значений независимых переменных, приведенных в табл. 2 и 3. На рис. 2 и 3 мы видим, что зависимости надземной био-

массы деревьев одинакового размера, а также древостоев одинаковой морфологической структуры, от температуры и осадков описываются трехмерными пропеллеро-образными поверхностями. Интерпретация моделей (1) и (2) на рис. 2 и 3 показывает, что на каждом из двух уровней анализа в холодных регионах по мере увеличения осадков биомасса уменьшается, но по мере ее перемещения в теплые регионы она характеризуется противоположной тенденцией. По мере повышения температуры во влажных регионах биомасса увеличивается, но по мере перехода к сухим условиям начинает снижаться. Исключение составляет рис. 2г для биомассы ветвей деревьев.

Таким образом, анализ изменения биомассы деревьев и древостоев кедровых сосен, выполненный в зависимости от температур и осадков не в отдельности по каждому фактору, а одновременно по обоим независимым переменным, позволил установить наличие замены одного лимитирующего фактора другим при перемещении объекта исследования в территориальных градиентах температур и осадков.

Таблица 6
Вклад независимых переменных уравнений (1) и (2) в объяснение изменчивости зависимых переменных, %

Зависимая переменная	Независимые переменные уравнений (1)									
	$\ln D_{cr}$ (I)	$\ln H$ (II)	I + II	$\ln(T + 30)$ (III)	$\ln PR$ (IV)	$\ln(T + 30) \cdot (\ln PR)$ (V)	(III) + (IV) + (V)			
<i>Pa</i>	22,1	44,4	66,5	11,4	11,1	11,0	33,5			
<i>Ps</i>	13,4	48,8	62,2	12,8	12,5	12,5	37,8			
<i>Pb</i>	47,3	48,8	96,1	0,1	3,0	0,8	3,9			
<i>Pf</i>	45,3	19,4	64,7	12,2	11,5	11,6	35,3			
$M \pm \sigma^{(*)}$	32,0 $\pm 16,9$	40,4 $\pm 14,1$	72,4 $\pm 15,9$	9,1 $\pm 6,0$	9,5 $\pm 4,4$	9,0 $\pm 5,5$	27,6 $\pm 15,9$			
Зависимая переменная	Независимые переменные уравнений (2)									
	$\ln A$ (I)	$\ln D$ (II)	$\ln M$ (III)	$\ln N$ (IV)	$(\ln A)(\ln N)$ (V)	I + II + III + IV + V	$\ln(T + 50)$ (VI)	$\ln PR$ (VII)	$\ln(T + 50) \cdot (\ln PR)$ (VIII)	(VI) + (VII) + (VIII)
<i>Pa</i>	–	–	81,4	2,5	2,3	86,2	4,6	4,5	4,7	13,8
<i>Ps</i>	3,4	–	82,1	–	–	85,5	4,9	4,7	4,9	14,5
<i>Pb</i>	7,4	4,3	30,0	–	–	41,7	20,0	18,6	19,7	58,3
<i>Pf</i>	19,1	7,9	35,8	–	–	62,8	13,3	11,4	12,5	37,2
$M \pm \sigma$	10,0 $\pm 8,2$	6,1 $\pm 2,5$	57,3 $\pm 28,3$	–	–	69,0 $\pm 21,2$	10,7 $\pm 7,4$	9,8 $\pm 6,7$	10,5 $\pm 7,2$	31,0 $\pm 21,2$

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

Подрод кедровых сосен – последний из лесообразующих видов Евразии, наличие для которых достаточно полной базы данных о биомассе деревьев и древостоев позволило сделать обобщения в отношении зависимости биомассы от климатических факторов на транс-евразийском уровне. Реализована гипотеза об однонаправленном влиянии климатических факторов на биомассу всех проанализированных лесообразующих родов и подродов на территории Евразии. Предпосылкой гипотезы послужили известные в лесной экологии явления и закономерности: во влагодефицитных условиях степной зоны рост растений лимитирован

недостатком влаги [26], а на заболоченных территориях – недостатком кислорода в почве [17]; в холодных условиях Севера рост лимитирован недостатком тепла, а в степях при нехватке влаги – его избытком [16]. Полученные результаты по биомассе кедровых сосен подтверждают данное предположение.

Таким образом, установлено наличие однотипности влияния климатических факторов на биомассу разных древесных видов (подродов, родов), а именно – единого характера смены одного лимитирующего фактора другим при перемещении объекта исследования в территориальных градиентах температур и осадков.

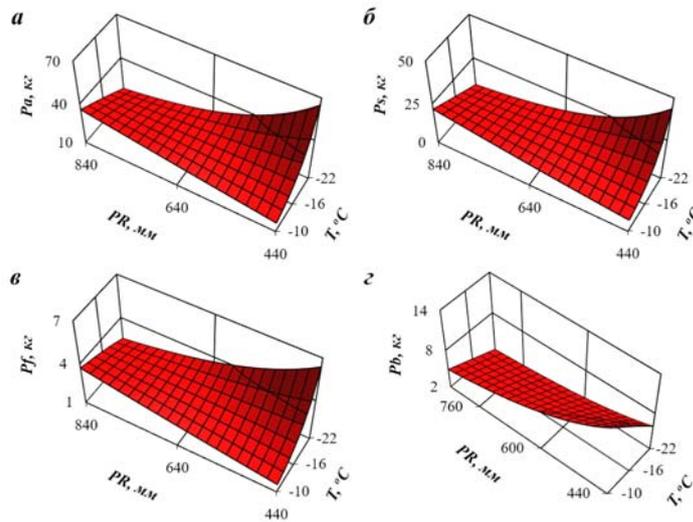


Рис. 2. Расчетные согласно моделям (1) изменения надземных фракций биомассы деревьев кедровых сосен в связи со средней температурой января (T) и среднегодовыми осадками (PR):
a, б, в и г – соответственно биомасса надземная, стволов, хвои и ветвей

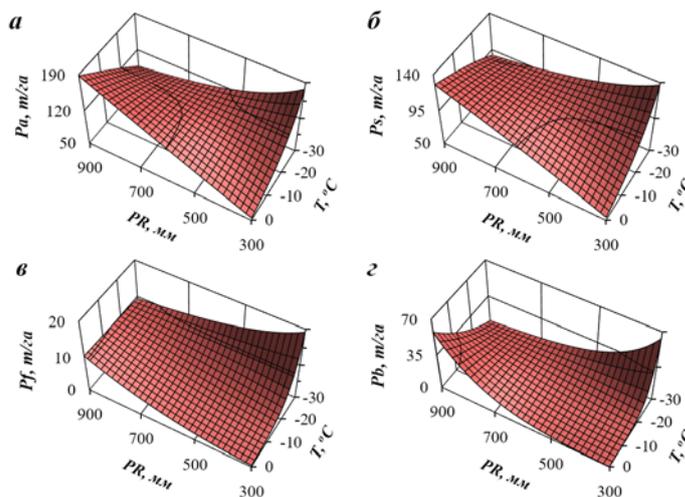


Рис. 3. Расчетные согласно моделям (2) изменения надземных фракций биомассы древостоев кедровых сосен в связи со средней температурой января (T) и среднегодовыми осадками (PR)

Это с очевидностью показано на каждом из трех уровней анализа: (1) по биомассе на уровне дерева – для подродов двухвойных и пятихвойных (кедровых) сосен, родов елей, пихт, лиственниц, берез и осин [44; 47], (2) по биомассе на уровне древостоя – для подродов двухвойных и пятихвойных сосен, родов елей, пихт, берез и дубов [42; 43; 45; 80–82] и (3) по чистой первичной продукции (ЧПП) древостоев – для подрода двухвойных сосен и рода елей [80; 81]. Влияние климатических факторов на ЧПП остальных древесных родов не было возможности установить по причине нехватки эмпирических данных о ЧПП.

Метод пространственно-временного замещения даёт возможность выявленные зависимости биомассы деревьев и древостоев от климатических переменных в географических градиентах использовать для прогноза биомассы в предполагаемых темпоральных градиентах. Взяв первые производные от двухфакторных поверхностей, представленных на рис. 2 и 3, мы получили закономерности изменения биомассы при заданных приращениях температуры и осадков.

На рис. 4 и 5 показано изменение биомассы соответственно деревьев и древостоев (Δa , %) при повышении температуры на 1°C в разных климатических зонах, согласно которым в достаточно богатых влагой климатических зонах повышение температуры при постоянном количестве осадков вызывает увеличение биомассы деревьев и древостоев (красные участки поверхностей на рис. 4 и 5), а в зонах дефицита влаги наблюдается ее уменьшение (синие участки поверхностей на рис. 4 и 5).

На рис. 6 и 7 показано изменение биомассы соответственно деревьев и древостоев (Δa , %) при уменьшении годового количества осадков на 20 мм в разных климатических зонах, согласно которым в теплых климатических зонах уменьшение осадков на 20 мм при постоянной средней температуре января вызывает уменьшение надземной биомассы (синяя область поверхностей), а в холодных климатических зонах – ее увеличение (красная область поверхностей) (рис. 6 и 7).

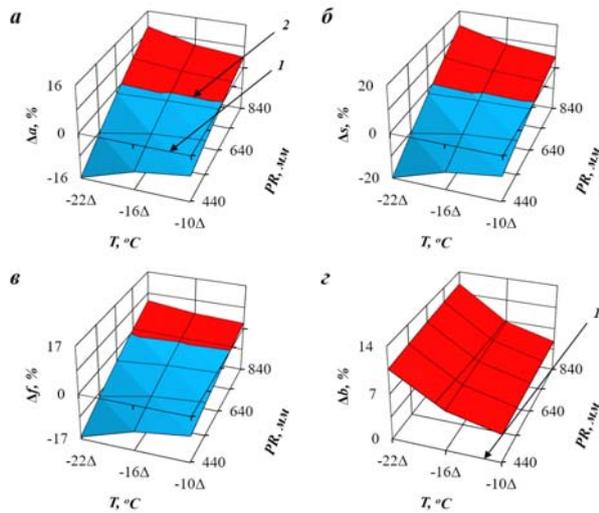


Рис. 4. Изменение биомассы деревьев кедровых сосен при повышении температуры на 1°C в связи с ожидаемым изменением климата на разных территориальных уровнях температур и осадков: а – плоскость, соответствующая нулевому изменению биомассы при ожидаемом повышении температуры на 1°C; б – линия разграничения положительных и отрицательных изменений биомассы при ожидаемом повышении температуры на 1°C

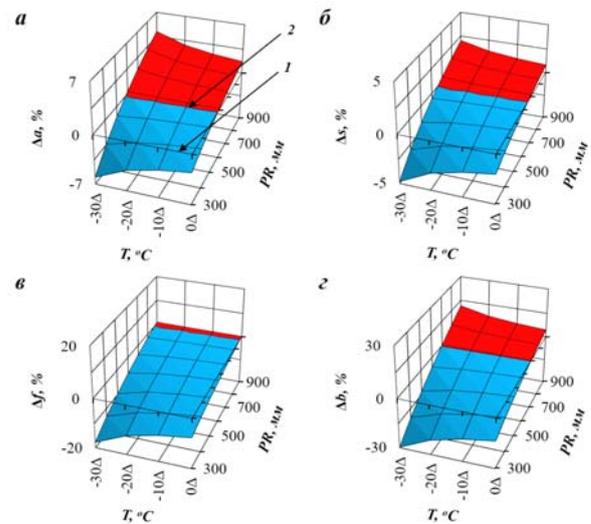


Рис. 5. Изменение биомассы древостоев кедровых сосен при повышении температуры на 1°C в связи с ожидаемым изменением климата на разных территориальных уровнях температур и осадков

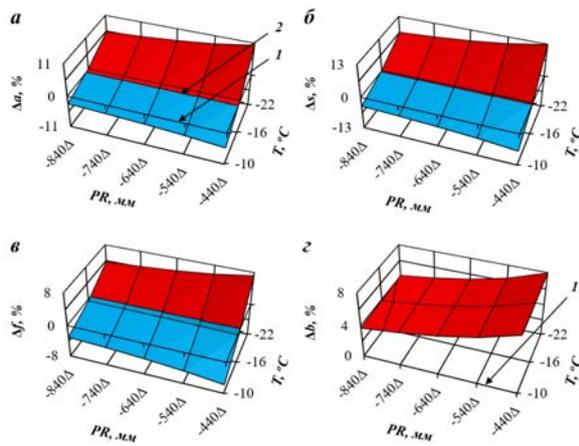


Рис. 6. Изменение биомассы деревьев кедровых сосен с уменьшением осадков на 20 мм в связи с ожидаемым изменением климата на разных территориальных уровнях температур и осадков: а – плоскость, соответствующая нулевому изменению биомассы при ожидаемом снижении годовых осадков на 20 мм; б – линия разграничения положительных и отрицательных изменений биомассы при ожидаемом снижении годовых осадков на 20 мм

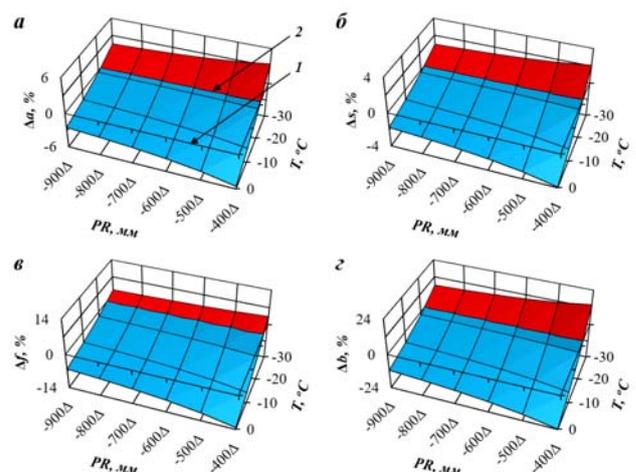


Рис. 7. Изменение биомассы древостоев кедровых сосен с уменьшением осадков на 20 мм в связи с ожидаемым изменением климата на разных территориальных уровнях температур и осадков

Установленные закономерности изменения биомассы деревьев и древостоев с учетом ожидаемых климатических сдвигов (рис. 4–7), по-видимому, следует считать предварительными, поскольку предположение о том, что пространственные взаимосвязи между климатом и биомассой могут быть использованы для прогнозирования темпоральных траекторий биологической продуктивности в условиях меняющегося климата остается непроверенным [44]. Тем не

менее, когда нет иного способа прогнозирования экосистемных процессов, метод пространственно-временного замещения служит в качестве приемлемой альтернативы [46].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, впервые показаны зависимости биомассы деревьев и древостоев кедровых сосен (подрод *Haploxyton*) от температуры и осадков в их

территориальных и темпоральных градиентах, которые подтверждают ранее установленные зависимости для лесообразующих видов Евразии. Подтверждено наличие однотипности влияния климатических факторов на биомассу разных древесных видов (родов), а именно – единообразного характера смены одного лимитирующего фактора другим при перемещении объекта исследования в территориальных градиентах температур и осадков. Это происходит на уровнях как дерева, так и древостоя, как в существующих пространственных, так и в предполагаемых темпоральных градиентах. Предложенные модели могут быть использованы при разработке стратегий управления углерод депонирующей способностью лесов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Борисов А.А. Климаты СССР. М. : Просвещение, 1967. 296 с.
2. Братилова Н. П., Калинин А. В. Оценка биопроductивности плантационных культур кедровых сосен в зеленой зоне Красноярска. Красноярск : СибГТУ, 2012. 132 с.
3. Ведрова Э. Ф., Спиридонова Л. В., Стаканов В. Д. Круговорот углерода в молодняках основных лесообразующих пород Сибири // Лесоведение. 2000. № 3. С. 40–48.
4. Габеёв В. Н. Биологическая продуктивность лесов Приобья. Новосибирск : Наука, 1976. 171 с.
5. Демьянов В. А. Об энергетических показателях биологической продуктивности древесного яруса в лесах южного Привасюганья (Западная Сибирь) // Ботанический журнал. 1974. Т. 59, № 8. С. 1193–1197.
6. Дюкарев В. Н. Биологическая продуктивность лесов с *Pinus koraiensis* на Сихотэ-Алине и их ресурсный потенциал // Леса Российского Дальнего Востока: 150 лет изучения : материалы всерос. конф. Владивосток : Дальнаука, 2009. С. 120–126.
7. Дюкарев В. Н., Розенберг В. А. Надземная фитомасса древостоев, подроста и подлеска в пихтово-еловых лесах Сихотэ-Алиня // Труды биолого-почвенного ин-та ДВНЦ АН СССР. 1975. Т. 33 (136). С. 30–50.
8. Згуровская Л. Н. Строение и рост корневых систем древесных растений на различных типах болот // Заболоченные леса и болота Сибири. М. : АН СССР, 1963. С. 127–146.
9. Исаков И. П. Надземная фитомасса кедровников Причулымья // Лесоведение. 1975. № 4. С. 53–58.
10. Касаткин А. С., Жанабаева А. С., Акимов Р. Ю. и др. Надземная фитомасса и квалиметрия деревьев в лесах Южного Сихотэ-Алиня // Эко-Потенциал. 2015. № 1 (9). С. 41–50.
11. Клевцов Д. Н., Тюкавина О. Н. Углероддепонирующая способность надземной фитомассы культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) средне-таежного лесного района // Вестник КрасГАУ. 2018. № 6 (141). С. 221–224.
12. Корзухин М. Д., Семевский Ф. Н. Синэкология леса. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 192 с.
13. Лиёпа И. Я. Динамика древесных запасов: Прогнозирование и экология. Рига : Зинатне, 1980. 170 с.
14. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф., Братилова Н. П. Рост и формирование фитомассы кедровых сосен разного географического происхождения в пригородной зоне Красноярска // Лесная таксация и лесостроительство. 2005. Вып. 1(34). С. 39–43.
15. Митрофанов Д. П. Продуктивность лесов Центральной Эвенкии // Структурно-функциональные взаимосвязи и продуктивность фитоценозов. Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1983. С. 53–63.
16. Молчанов А. А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М. : Наука, 1971. 275 с.
17. Оленин С.М. Динамика радиального прироста древостоев сосновых фитоценозов среднетаёжной подзоны Предуралья : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Свердловск, 1982. 18 с.
18. Олисова О. П., Мельников В. Н. Взаимосвязь культур кедра сибирского с их фитомассой // Повышение продуктивности лесов Сибири и Дальнего Востока. Красноярск : СибТИ, 1975. С. 62–70.
19. Онучин А. А., Борисов А. Н. Влияние темных хвойных лесов Хамар-Дабана на формирование снежного покрова // Средообразующая роль лесных экосистем Сибири. Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1983. С. 95–105.
20. Опритова С. В., Глаголев В. А., Розенберг В. А. О возможности определения надземной фитомассы лесов по материалам лесостроительства // Биогеоэкологические исследования в лесах Южного Сихотэ-Алиня. Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 71–83.
21. Пастухова А. М. Изменчивость кедра сибирского по урожайности и структуре фитомассы в плантационных культурах пригородной зоны Красноярска : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. 06.03.01; 06.03.02. Красноярск : СибГТУ, 2003. 20 с.
22. Паутова В. Н. Фитомасса // Природные условия северо-восточного Прибайкалья. Новосибирск : Наука, 1976. С. 188–250.
23. Плешиков Ф. И., Каплунов В. Я., Токмаков С. В. и др. Структура фитомассы и годичная продукция северных лесов // Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2002. С. 73–83.
24. Поздняков Л. К., Протопопов В. В., Горбатенко В. М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. Красноярск : Книжное изд-во, 1969. 120 с.
25. Пьявченко Н. И. Биологическая продуктивность и круговорот веществ в болотных лесах Западной Сибири // Лесоведение. 1967. № 3. С. 32–43.
26. Риклефс Р.Е. Основы общей экологии. М. : Мир, 1979. 424 с.
27. Розенберг В. А., Глаголев В. А., Козак Е. М., и др. Послепожарные смены в кедровниках с кленом мелколистным // Экология и продуктивность лесных биогеоценозов (Верхнеуссурийский стационар). Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 107–130.
28. Сапожников А. П., Селиванова Г. А., Ильина Т. М. и др. Почвообразование и особенности биологического круговорота веществ в горных лесах южного Сихотэ-Алиня. Хабаровск : ДальНИИЛХ, 1993. 269 с.

29. Семечкина М. Г., Порядина О. П. Рост и продуктивность семилетних культур сосны и кедра // Лесные почвы Ангаро-Енисейского экономического региона. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1978. С. 55–65.
30. Смолоногов Е. П. Лесообразовательный процесс и генетическая классификация типов леса // Леса Урала и хозяйство в них. 1995. Вып. 18. С. 43–58.
31. Стакин Е. М., Гиль И. А., Братилова Н. П. Формирование стволовой древесины кедров сибирского разных классов возраста // Химико-лесной комплекс – проблемы и решения. Красноярск: СибГТУ, 2004. С. 87–89.
32. Таранков В. И., Волков В. Н., Жильцов А. С. О биологической продуктивности кедрово-широколиственного леса // Лесоводственные исследования на Дальнем Востоке. Т. 4. Владивосток: ДВФ СО АН СССР, 1970. С. 91–101.
33. Терехов Г. Г., Усольцев В. А. Надземная фитомасса деревьев в культурах кедров сибирского на Урале // Эко-потенциал. 2015. № 4 (12). С. 7–9.
34. Усольцев В. А. Ход роста фитомассы зеленых кедровников Алтае-Саянской горной провинции // Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск: СибГТУ, 2001а. С. 44–46.
35. Усольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. Екатеринбург: УрО РАН, 2001б. 708 с. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3280>.
36. Усольцев В. А. О применении регрессионного анализа в лесоводственных задачах // Лесная таксация и лесоустройство. 2004. № 1 (33). С. 49–55.
37. Усольцев В. А. Некоторые методические и концептуальные неопределенности при оценке приходной части углеродного цикла лесов // Экология. 2007. № 1. С. 1–10.
38. Усольцев В. А. География биологической продуктивности кедровых экосистем в Азии // Эко-Потенциал (Екатеринбург). 2013. № 1-2. С. 47–67.
39. Усольцев В. А. Об одном методическом нарушении при оценке чистой первичной продукции насаждений // Сибирский лесной журнал. 2021. № 6. С. 91–95.
40. Усольцев В. А., Щерба Н. П. Структура фитомассы кедровых сосен в плантационных культурах. Красноярск: СибГТУ, 1998. 134 с.
41. Усольцев В. А., Лазарев И. С., Крудышев В. В. и др. Количественная и квалиметрическая составляющие биологической продуктивности кедровников Урала // Сборник научных трудов ученых и специалистов факультета экономики и управления УГЛТУ. Вып. 3. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. С. 261–270.
42. Усольцев В. А., Ковязин В. Ф., Цепордей И. С. Увеличение вклада климатических переменных в объяснение изменчивости биомассы деревьев дуба на территории Евразии в связи с отклонением модели от аллометрии // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020а. Вып. 233. С. 39–59.
43. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Климатические градиенты биомассы насаждений *Quercus* spp. на территории Евразии // Сибирский лесной журнал. 2020б. № 6. С. 16–29. DOI: 10.15372/SJFS20200602.
44. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Принцип пространственно-временного замещения в экологии и прогнозирование биомассы *Picea* spp. при изменении климата // Хвойные бореальной зоны. 2021а. Т. XXXIX. № 4. С. 269–275.
45. 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. 2021б. Т. XXXIX. № 5. С. 392–400.
46. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Пространственно-временное замещение в экологии и проблема адаптации растений в условиях изменения климата // Леса России и хозяйство в них. 2021в. Вып. 4 (79). С. 4–39.
47. 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.
48. Утенкова А. П., Флягина И. А. Первичная продуктивность кедровников Сихотэ-Алинского биосферного заповедника // Лесоведение. 1983. № 5. С. 57–63.
49. Фонти М. В. Климатический сигнал в параметрах годичных колец (плотности древесины, анатомической структуре и изотопном составе) хвойных и лиственных видов деревьев в различных природно-климатических зонах Евразии: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.08. Красноярск: СибФУ, 2020. 45 с.
50. Храмов А. А., Валущкий В. И. Лесные и болотные фитоценозы Восточного Васюганья (структура и биологическая продуктивность). Новосибирск: Наука, 1977. 221 с.
51. Шадрин Н. И. Продуктивность надземной биомассы болотных лесов Тавдинского Зауралья // Лесоведение. 1968. № 4. С. 39–47.
52. Щерба Н. П., Водин А. В. Влияние качества посадочного материала, агротехники выращивания и декапитации крон на рост и формирование фитомассы кедров сибирского. Красноярск: СибГТУ, 2000. 84 с.
53. 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.
54. Blois J. L., Williams J. W., Fitzpatrick M. C. et al. Space can substitute for time in predicting climate-change effects on biodiversity // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2013. Vol. 110 (23). P. 9374–9379.
55. Bojinski S., Verstraete M., Peterson T. C. et al. The concept of essential climate variables in support of climate research, applications, and policy // Bulletin of the American Meteorological Society. 2014. Vol. 95 (9). P. 1431–1443.
56. 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. <https://doi.org/10.3390/rs13091706>.
57. Díaz S., Settele J., Brondizio E. S. et al. Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need

for transformative change // *Science*. 2019. Vol. 366. Article 1327.

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

59. 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.

60. Franklin O., Harrison S. P., Dewar R. et al. Organizing principles for vegetation dynamics // *Nature Plants*. 2020. Vol. 6. P. 444–453.

61. He X., Lei X.-D., Dong Li-Hu. How large is the difference in large-scale forest biomass estimations based on new climate-modified stand biomass models? // *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 126. Article 107569.

62. Jenkins J. C., Chojnacky D. C., Heath L. S. et al. Comprehensive database of diameter-based regressions for North American tree species // USDA Forest Service Northeast-ern Research Station. General Technical Report. 2004. NE-319. 45 p.

63. Jiang H., Apps M. J., Zhang Y. et al. Modelling the spatial pattern of net primary productivity in Chinese forests // *Ecological Modelling*. 1999. Vol. 122. P. 275–288.

64. Li W., Deng K., Li F. Study on biomass and primary production of main ecosystems in Changbai mountain // *Research of Forest Ecosystem*. 1981. No. 2. P. 34–50 (Chin.).

65. Müller A., Weigelt J., Götz A. et al. The role of biomass in the sustainable development goals: A reality check and governance implications // IASS Working Paper. Institute for Advanced Sustainability Studies, Potsdam, 2015. 36 p.

66. Reichstein M., Bahn M., Mahecha M. D. et al. Linking plant and ecosystem functional biogeography // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 2014. Vol. 111. Article 201216065.

67. Rosen R. *Optimality principles in biology*. Butterworths, London, 1967. 198 p.

68. Schulze E.-D., Schulze W., Kelliher F. M. et al. Aboveground biomass and nitrogen nutrition in a chronosequence of pristine Dahurian *Larix* stands in eastern Siberia // *Canadian Journal of Forest Research*. 1995. Vol. 25. P. 943–960.

69. Shuman J. K., Shugart H. H., O'Halloran T. L. Sensitivity of Siberian larch forests to climate change // *Global Change Biology*. 2011. Vol. 2. P. 2370–2384.

70. Solomon S., Qin D., Manning M. et al. *Climate change 2007: The physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the International Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2007. 36 p.

71. Son Y., Hwang J. W., Kim Z. S. et al. Allometry and biomass of Korean pine (*Pinus koraiensis*) in central Korea // *Bioresource Technology*. 2001. Vol. 78. P. 251–255.

72. 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.

73. Tautenhahn S., Migliavacca M., Kattge J. News on intra-specific trait variation, species sorting, and optimality theory for functional biogeography and beyond // *New Phytologist*. 2020. Vol. 228. P. 6–10.

74. Tuhkanen S. A circumboreal system of climatic-phytogeographical regions // *Acta Botanica Fennica*. 1984. Vol. 127. P. 1–50.

75. 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, Ural Branch of Russian Academy of Sciences. 2020a. https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/9647/2/Base1_v2_ob.pdf

76. Usoltsev V. A. Forest biomass and primary production database for Eurasia: digital version. The third edition, enlarged. Monograph. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2020b. <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9648>.

77. Usoltsev V. A., Merganičová K., Konôpka B. et al. Fir (*Abies* spp.) stand biomass additive model for Eurasia sensitive to winter temperature and annual precipitation // *Central European Forestry Journal*. 2019a. Vol. 65. P. 166–179.

78. Usoltsev V. A., Zukow W., Osmirko A. A. et al. Additive biomass models for *Larix* spp. single-trees sensitive to temperature and precipitation in Eurasia // *Ecological Questions*. 2019b. Vol. 30 (2). P. 57–67.

79. Usoltsev V. A., Shakoor A., Tsepordey I. S. et al. Deterministic growth factors: Temperature and precipitation effect above ground biomass of *Larix* spp. in Eurasia // *Acta Ecologica Sinica*. 2021. Vol. 41. No. 5. P. 377–383.

80. Usoltsev V., Zukow W., Tsepordey I. Climatically determined spatial and temporal changes in the biomass of *Pinus* sp. of Eurasia in the context of the law of the limiting factor // *Ecological Questions*, 2022a. Vol. 33(1). P. 1–13. <http://dx.doi.org/10.12775/EQ.2022.007>.

81. Usoltsev V. A., Merganičová K., Konôpka B. et al. The principle of space-for-time substitution in predicting *Picea* spp. biomass change under climate shifts // *Central European Forestry Journal*. 2022b. Vol. 68(3). P. 1–16 (DOI: 10.2478/forj-2022-0004).

82. Usoltsev V. A., Lin H., Shobairi S. O. R. et al. Climatically determined spatial and temporal changes in the biomass of *Betula* spp. of Eurasia in the context of the law of the limiting factor // *Natural Resource Modeling*. 2022c (in press).

83. Wagers S., Castilla G., Filiatrault M. et al. Using TLS-measured tree attributes to estimate above ground biomass in small black spruce trees // *Forests*. 2021. Vol. 12. Article 1521. <https://doi.org/10.3390/f12111521>.

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

REFERENCES

1. Borisov A.A. *Klimaty SSSR*. M. : Prosveshcheniye, 1967. 296 s.
2. Bratilova N. P., Kalinin A. V. Otsenka bioproduktivnosti plantatsionnykh kul'tur kedrovyykh

- sosen v zelenoy zone Krasnoyarska. Krasnoyarsk : SibGTU, 2012. 132 s.
3. Vedrova E. F., Spiridonova L. V., Stakanov V. D. Krugovorot ugleroda v molodnyakakh osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Sibiri // *Lesovedeniye*. 2000. № 3. S. 40–48.
 4. Gabeyev V. N. Biologicheskaya produktivnost' lesov Priob'ya. Novosibirsk : Nauka, 1976. 171 s.
 5. Dem'yanov V. A. Ob energeticheskikh pokazatelyakh biologicheskoy produktivnosti drevesnogo yarusa v lesakh yuzhnogo Privasyugan'ya (Zapadnaya Sibir') // *Botanicheskiy zhurnal*. 1974. T. 59, № 8. S. 1193–1197.
 6. Dyukarev V. N. Biologicheskaya produktivnost' lesov s Pinus koraiensis na Sikhote-Aline i ikh resursnyy potentsial // *Lesa Rossiyskogo Dal'nego Vostoka: 150 let izucheniya : materialy vseros. konf. Vladivostok : Dal'nauka*, 2009. S. 120–126.
 7. Dyukarev V. N., Rozenberg V. A. Nadzemnaya fitomassa drevostoyev, podrosta i podleska v pikhtov-elovykh lesakh Sikhote-Alinya // *Trudy biologo-pochvennogo in-ta DVNTs AN SSSR*. 1975. T. 33 (136). S. 30–50.
 8. Zgurovskaya L. N. Stroyeniye i rost kornevykh sistem drevesnykh rasteniy na razlichnykh tipakh bolot // *Zabolochennyye lesa i bolota Sibiri*. M. : AN SSSR, 1963. S. 127–146.
 9. Isakov I. P. Nadzemnaya fitomassa kedrovnikov Prichulyum'ya // *Lesovedeniye*. 1975. № 4. S. 53–58.
 10. Kasatkin A. S., Zhanabayeva A. S., Akimov R. Yu. i dr. Nadzemnaya fitomassa i kvalimetriya derev'yev v lesakh Yuzhnogo Sikhote-Alinya // *Eko-Potentsial*. 2015. № 1 (9). S. 41–50.
 11. Klevtsov D. N., Tyukavina O. N. Uglerodo-deponiruyushchaya sposobnost' nadzemnoy fitomassy kul'tur sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) srednetayezhnogo lesnogo rayona // *Vestnik KrasGAU*. 2018. № 6 (141). S. 221–224.
 12. Korzukhin M. D., Semevskiy F. N. Sin-ekologiya lesa. SPb. : Gidrometeoizdat, 1992. 192 s.
 13. Liyepa I. Ya. Dinamika drevesnykh zapasov: Prognozirovaniye i ekologiya. Riga : Zinatne, 1980. 170 s.
 14. Matveyeva R. N., Butorova O. F., Bratilova N. P. Rost i formirovaniye fitomassy kedrovnykh sosen raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya v prigorodnoy zone Krasnoyarska // *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo*. 2005. Vyp. 1(34). S. 39–43.
 15. Mitrofanov D. P. Produktivnost' lesov Tsentral'noy Evenkii // *Strukturno-funktsional'nyye vzaimosvyazi i produktivnost' fitotsenozov*. Krasnoyarsk : ILiD SO AN SSSR, 1983. S. 53–63.
 16. Molchanov A. A. Produktivnost' organicheskoy massy v lesakh razlichnykh zon. M. : Nauka, 1971. 275 s.
 17. Olenin S.M. Dinamika radial'nogo prirosta drevostoyev osnovnykh fitotsenozov srednetayezhnoy podzony Predural'ya : avtoref. dis. ... kand. biolog. nauk. Sverdlovsk, 1982. 18 s.
 18. Olisova O. P., Mel'nikov V. N. Vzaimosvyaz kul'tur kedra sibirskogo s ikh fitomassoy // *Povysheniye produktivnosti lesov Sibiri i Dal'nego Vostoka*. Krasnoyarsk : SibTI, 1975. S. 62–70.
 19. Onuchin A. A., Borisov A. N. Vliyaniye temno-khvoynnykh lesov Khamar-Dabana na formirovaniye snezhnogo pokrova // *Sredobrazuyushchaya rol' lesnykh ekosistem Sibiri*. Krasnoyarsk : ILiD SO AN SSSR, 1983. S. 95–105.
 20. Opritova S. V., Glagolev V. A., Rozenberg V. A. O vozmozhnosti opredeleniya nadzemnoy fitomassy lesov po materialam lesoustroystva // *Biogeotsenologicheskkiye issledovaniya v lesakh Yuzhnogo Sikhote-Alinya*. Vladivostok : DVNTs AN SSSR, 1982. S. 71–83.
 21. Pastukhova A. M. Izmenchivost' kedra sibirskogo po urozhaynosti i strukture fitomassy v plantatsionnykh kul'turakh prigorodnoy zony Krasnoyarska : avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk. 06.03.01; 06.03.02. Krasnoyarsk : SibGTU, 2003. 20 s.
 22. Pautova V. N. Fitomassa // *Prirodnyye usloviya severo-vostochnogo Pribaykal'ya*. Novosibirsk : Nauka, 1976. S. 188–250.
 23. Pleshikov F. I., Kaplunov V. Ya., Tokmakov S. V. i dr. Struktura fitomassy i godichnaya produktsiya severnykh lesov // *Lesnyye ekosistemy Eniseyskogo meridiana*. Novosibirsk : Izd-vo SO RAN, 2002. S. 73–83.
 24. Pozdnyakov L. K., Protopopov V. V., Gorbatenko V. M. Biologicheskaya produktivnost' lesov Sredney Sibiri i Yakutii. Krasnoyarsk : Knizhnoye izd-vo, 1969. 120 s.
 25. P'yavchenko N. I. Biologicheskaya produktivnost' i krugovorot veshchestv v bolotnykh lesakh Zapadnoy Sibiri // *Lesovedeniye*. 1967. № 3. S. 32–43.
 26. Riklifs R.E. Osnovy obshchey ekologii. M. : Mir, 1979. 424 s.
 27. Rozenberg V. A., Glagolev V. A., Kozak E. M., i dr. Poslepozharnyye smeny v kedrovnikakh s klenom melkolistnym // *Ekologiya i produktivnost' lesnykh biogeotsenozov (Verkhneussuriyskiy statsionar)*. Vladivostok : DVNTs AN SSSR, 1979. S. 107–130.
 28. Sapozhnikov A. P., Selivanova G. A., Il'ina T. M. i dr. Pochvoobrazovaniye i osobennosti biologicheskogo krugovorota veshchestv v gornnykh lesakh yuzhnogo Sikhote-Alinya. Khabarovsk : Dal'NILKh, 1993. 269 s.
 29. Semechkina M. G., Poryadina O. P. Rost i produktivnost' semiletnykh kul'tur sosny i kedra // *Lesnyye pochvy Angaro-Eniseyskogo ekonomicheskogo regiona*. Krasnoyarsk : ILiD SO AN SSSR, 1978. S. 55–65.
 30. Smolonogov E. P. Lesoobrazovatel'nyy protsess i geneticheskaya klassifikatsiya tipov lesa // *Lesa Urala i khozyaystvo v nikh*. 1995. Vyp. 18. S. 43–58.
 31. Stakin E. M., Gil' I. A., Bratilova N. P. Formirovaniye stvolovoy drevesiny kedra sibirskogo raznykh klassov vozrasta // *Khimiko-lesnoy kompleks – problemy i resheniya*. Krasnoyarsk : SibGTU, 2004. S. 87–89.
 32. Tarankov V. I., Volkov V. N., Zhil'tsov A. S. O biologicheskoy produktivnosti kedrovo-shirokolistvennogo lesa // *Lesovodstvennyye issledovaniya na Dal'nem Vostoke*. T. 4. Vladivostok : DVF SO AN SSSR, 1970. S. 91–101.
 33. Terekhov G. G., Usol'tsev V. A. Nadzemnaya fitomassa derev'yev v kul'turakh kedra sibirskogo na Urale // *Eko-potentsial*. 2015. № 4 (12). S. 7–9.

34. Usol'tsev V. A. Khod rosta fitomassy zelenomoshnykh kedrovnikov Altaye-Sayanskoj gornoj provintsii // *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo*. Krasnoyarsk: SibGTU, 2001a. S. 44–46.

35. Usol'tsev V. A. Fitomassa lesov Severnoy Evrazii: baza dannyykh i geografiya. Ekaterinburg : UrO RAN, 2001b. 708 s. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3280>.

36. Usol'tsev V. A. O primeneni regressionnogo analiza v lesovodstvennykh zadachakh // *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo*. 2004. № 1 (33). S. 49–55.

37. Usol'tsev V. A. Nekotoryye metodicheskiye i kontseptual'nyye neopredelennosti pri otsenke prikhodnoy chasti uglerodnogo tsikla lesov // *Ekologiya*. 2007. № 1. S. 1–10.

38. Usol'tsev V. A. Geografiya biologicheskoy produktivnosti kedrovyykh ekosistem v Azii // *Ekopotentsial* (Ekaterinburg). 2013. № 1-2. S. 47–67.

39. Usol'tsev V. A. Ob odnom metodicheskom narushenii pri otsenke chistoy pervichnoy produktivnosti nasazhdeniy // *Sibirskiy lesnoy zhurnal*. 2021. № 6. S. 91–95.

40. Usol'tsev V. A., Shcherba N. P. Struktura fitomassy kedrovyykh sosen v plantatsionnykh kul'turakh. Krasnoyarsk : SibGTU, 1998. 134 s.

41. Usol'tsev V. A., Lazarev I. S., Krudyshev V. V. i dr. Kolichestvennaya i kvalimetricheskaya sostavlyayushchiye biologicheskoy produktivnosti kedrovnikov Urala // *Cbornik nauchnykh trudov uchenykh i spetsialistov fakul'teta ekonomiki i upravleniya UGLTU*. Vyp. 3. Ekaterinburg : UGLTU, 2012. S. 261–270.

42. Usol'tsev V.A., Kovyzin V.F., Tsepordey I.S. Uvelicheniye vklad klimaticheskikh peremennykh v ob'yasneniye izmenchivosti biomassy derev'yev duba na territorii Evrazii v svyazi s otkloneniyem modeli ot allometrii // *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*. 2020a. Vyp. 233. S. 39–59.

43. Usol'tsev V.A., Tsepordey I.S. Klimaticheskkiye gradiyenty biomassy nasazhdeniy *Quercus* spp. na territorii Evrazii // *Sibirskiy lesnoy zhurnal*. 2020b. № 6. S. 16–29. DOI: 10.15372/SJFS20200602.

44. Usol'tsev V. A., Tsepordey I. S. Printsip prostranstvenno-vremennogo zameshcheniya v ekologii i prognozirovaniye biomassy *Picea* spp. pri izmenenii klimata // *Khvoynyye boreal'noy zony*. 2021a. T. XXXIX. № 4. S. 269–275.

45. Usol'tsev V. A., Tsepordey I. S., Azarenok M. V. Klimaticheskii obuslovlennyye prostranstvennyye i temporal'nyye izmeneniya biomassy roda *Abies* spp. Evrazii v kontekste zakona limitiruyushchego faktora // *Khvoynyye boreal'noy zony*. 2021b. T. XXXIX. № 5. S. 392–400.

46. Usol'tsev V. A., Tsepordey I. S. Prostranstvenno-vremennoe zameshcheniye v ekologii i problema adaptatsii rasteniy v usloviyakh izmeneniya klimata // *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh*. 2021v. Vyp. 4 (79). S. 4–39.

47. Usol'tsev V. A., Tsepordey I. S. Klimaticheskii obuslovlennyye territorial'nyye izmeneniya fitomassy derev'yev lesoobrazuyushchikh vidov Evrazii i ikh prognozirovaniye // *Sibirskiy lesnoy zhurnal*. 2021g. № 6. S. 72–90.

48. Utenkova A. P., Flyagina I. A. Pervichnaya produktivnost' kedrovnikov Sikhote-Alinskogo biosfernogo zapovednika // *Lesovedeniye*. 1983. № 5. S. 57–63.

49. Fonti M. V. Klimaticheskii signal v parametrah godichnykh kolets (plotnosti drevesiny, anatomicheskoy strukture i izotopnom sostave) khvoynykh i listvennykh vidov derev'yev v razlichnykh prirodno-klimaticheskikh zonakh Evrazii : avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk: 03.02.08. Krasnoyarsk : SibFU, 2020. 45 s.

50. Khramov A. A., Valutskiy V. I. Lesnyye i bolotnyye fitotsenozy Vostochnogo Vasyugan'ya (struktura i biologicheskaya produktivnost'). Novosibirsk : Nauka, 1977. 221 s.

51. Shadrina N. I. Produktivnost' nadzemnoy biomassy bolotnykh lesov Tavdinskogo Zaural'ya // *Lesovedeniye*. 1968. № 4. S. 39–47.

52. Shcherba N. P., Vodin A. V. Vliyaniye kachestva posadochnogo materiala, agrotekhniki vyrashchivaniya i dekapitatsii kron na rost i formirovaniye fitomassy kedra sibirskogo. Krasnoyarsk : SibGTU, 2000. 84 s.

53. 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.

54. Blois J. L., Williams J. W., Fitzpatrick M. C. et al. Space can substitute for time in predicting climate-change effects on biodiversity // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2013. Vol. 110 (23). P. 9374–9379.

55. Bojinski S., Verstraete M., Peterson T. C. et al. The concept of essential climate variables in support of climate research, applications, and policy // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2014. Vol. 95 (9). P. 1431–1443.

56. 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. <https://doi.org/10.3390/rs13091706>.

57. Diaz S., Settele J., Brondizio E. S. et al. Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change // *Science*. 2019. Vol. 366. Article 1327.

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

59. Forrester D. I., Tachauer I. H. H., Annighofer 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.

60. Franklin O., Harrison S. P., Dewar R. et al. Organizing principles for vegetation dynamics // *Nature Plants*. 2020. Vol. 6. P. 444–453.

61. He X., Lei X.-D., Dong Li-Hu. How large is the difference in large-scale forest biomass estimations based on new climate-modified stand biomass models? // *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 126. Article 107569.

62. Jenkins J. C., Chojnacky D. C., Heath L. S. et al. Comprehensive database of diameter-based regressions

for North American tree species // USDA Forest Service Northeast-ern Research Station. General Technical Report. 2004. NE-319. 45 p.

63. Jiang H., Apps M. J., Zhang Y. et al. Modelling the spatial pattern of net primary productivity in Chinese forests // *Ecological Modelling*. 1999. Vol. 122. P. 275–288.

64. Li W., Deng K., Li F. Study on biomass and primary production of main ecosystems in Changbai mountain // *Research of Forest Ecosystem*. 1981. No. 2. P. 34–50 (Chin.).

65. Müller A., Weigelt J., Götz A. et al. The role of biomass in the sustainable development goals: A reality check and governance implications // *IASS Working Paper*. Institute for Advanced Sustainability Studies, Potsdam, 2015. 36 p.

66. Reichstein M., Bahn M., Mahecha M. D. et al. Linking plant and ecosystem functional biogeography // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 2014. Vol. 111. Article 201216065.

67. Rosen R. *Optimality principles in biology*. Butterworths, London, 1967. 198 p.

68. Schulze E.-D., Schulze W., Kelliher F. M. et al. Aboveground biomass and nitrogen nutrition in a chronosequence of pristine Dahurian Larix stands in eastern Siberia // *Canadian Journal of Forest Research*. 1995. Vol. 25. P. 943–960.

69. Shuman J. K., Shugart H. H., O'Halloran T. L. Sensitivity of Siberian larch forests to climate change // *Global Change Biology*. 2011. Vol. 2. P. 2370–2384.

70. Solomon S., Qin D., Manning M. et al. *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the International Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 2007. 36 p.

71. Son Y., Hwang J. W., Kim Z. S. et al. Allometry and biomass of Korean pine (*Pinus koraiensis*) in central Korea // *Bioresource Technology*. 2001. Vol. 78. P. 251–255.

72. 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.

73. Tautenhahn S., Migliavacca M., Kattge J. News on intra-specific trait variation, species sorting, and optimality theory for functional biogeography and beyond // *New Phytologist*. 2020. Vol. 228. P. 6–10.

74. Tuhkanen S. A circumboreal system of climatic-phytogeographical regions // *Acta Botanica Fennica*. 1984. Vol. 127. P. 1–50.

75. 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, Ural Branch of Russian Academy of Sciences. 2020a. https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/9647/2/Base1_v2_ob.pdf

76. Usoltsev V. A. Forest biomass and primary production database for Eurasia: digital version. The third edition, enlarged. Monograph. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2020b. <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9648>.

77. Usoltsev V. A., Merganičová K., Konôpka B. et al. Fir (*Abies* spp.) stand biomass additive model for Eurasia sensitive to winter temperature and annual precipitation // *Central European Forestry Journal*. 2019a. Vol. 65. P. 166–179.

78. Usoltsev V. A., Zukow W., Osmirko A. A. et al. Additive biomass models for Larix spp. single-trees sensitive to temperature and precipitation in Eurasia // *Ecological Questions*. 2019b. Vol. 30 (2). P. 57–67.

79. Usoltsev V. A., Shakoov A., Tsepordey I. S. et al. Deterministic growth factors: Temperature and precipitation effect above ground biomass of Larix spp. in Eurasia // *Acta Ecologica Sinica*. 2021. Vol. 41. No. 5. P. 377–383.

80. Usoltsev V., Zukow W., Tsepordey I. Climatically determined spatial and temporal changes in the biomass of Pinus sp. of Eurasia in the context of the law of the limiting factor // *Ecological Questions*, 2022a. Vol. 33(1). P. 1–13. <http://dx.doi.org/10.12775/EQ.2022.007>.

81. Usoltsev V. A., Merganičová K., Konôpka B. et al. The principle of space-for-time sub-stitution in predicting Picea spp. biomass change under climate shifts // *Central European Forestry Journal*. 2022b. Vol. 68(3). P. 1–16 (DOI: 10.2478/forj-2022-0004).

82. Usoltsev V. A., Lin H., Shobairi S. O. R. et al. Climatically determined spatial and temporal changes in the biomass of Betula spp. of Eurasia in the context of the law of the limiting factor // *Natural Resource Modeling*. 2022c (in press).

83. Wagers S., Castilla G., Filiatrault M. et al. Using TLS-measured tree attributes to estimate above ground biomass in small black spruce trees // *Forests*. 2021. Vol. 12. Article 1521. <https://doi.org/10.3390/f12111521>.

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

© Усольцев В. А., Цепордей И. С., Данилин И. М., 2022

Поступила в редакцию 20.04.2022
Принята к печати 01.09.2022

**РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ДНК ДЛЯ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ РАМЕТ
НА ГИБРИДНО-СЕМЕННОЙ ПЛАНТАЦИИ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ***

Ю. Е. Щерба¹, А. А. Ибе², Т. В. Сухих², М. А. Шеллер², Д. Е. Копченко³

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

²Некоммерческое партнерство «сибирский центр лесной сертификации»
Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50а, 2

³Филиал ФБУ «Рослесозащита» – «Центра защиты леса Красноярского края»
Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50а, 2
E-mail: shcherba_@mail.ru, aaibis@mail.ru, cherksova-tv@yandex.ru

В статье приведены результаты генетического анализа плюсовых деревьев, произрастающих в Колыванском лесничестве Новосибирской области. Установлена генетическая принадлежность рамет клонов плюсовых деревьев на прививочном гибридно-семенном учебно-научном объекте (ГСЦ) Караульного участкового лесничества Учебно-опытного лесхоза СибГУ им М. Ф. Решетнева (юг Средней Сибири). В результате сопоставления результатов анализа ДНК клонов с генотипами плюсовых деревьев выявлены генетически подтвержденные урожайные раметы клонов 91/55 и 100/64.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, плюсовые деревья, клоновое потомство, микросателлиты ядерной ДНК, генетическая паспортизация.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 5, P. 424–429

**THE RESULTS OF DNA ANALYSIS FOR GENETIC IDENTIFICATION OF RAMETS
ON A HYBRID SEED PLANTATION OF SIBERIAN CEDAR PINE**

Iu. E. Shcherba¹, A. A. Ibe², T. V. Sukhikh², M. A. Sheller², D. E. Kopchenko³

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

²Non-profit Partnership “Siberian forest certification center”
50a, 2, Akademgorodok str., Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

³Branch of the Federal State Institution “Roslesozashchita” – “Forest Protection Center
of the Krasnoyarsk Territory”
50a, 2, Akademgorodok str., Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation
E-mail: shcherba_@mail.ru, shcherba_@mail.ru, aaibis@mail.ru, cherksova-tv@yandex.ru

The article presents the results of genetic analysis of plus trees growing in the Kolyvan forestry of the Novosibirsk region. The genetic affiliation of the ramets of clones of plus trees growing on the grafting hybrid-seed educational and scientific facility (GSP) of the Sentry Precinct Forestry of the Educational and Experimental Forestry of the M.F. Reshetnev Siberian State University (south of Central Siberia) has been established. As a result of comparing the results of the DNA analysis of clones with the genotypes of plus trees, genetically confirmed yield ramets of clones 91/55 and 100/64 were revealed.

Keywords: siberian cedar pine, plus trees, clone progeny, grafting plantations, nuclear DNA microsatellites, genetic certification.

ВВЕДЕНИЕ

Сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour) – наиболее ценная лесообразующая древесная порода таежной зоны, играющая важную роль в формировании структуры и функции экосистем Сибири и России в целом. Леса с преобладанием данного вида – это почти 40 млн га или до 10 % покрытой лесом площа-

ди России. Кедровые леса, бесспорно, самые сложные и продуктивные среди сибирских и дальневосточных экосистем. Однако изменяющиеся условия окружающей среды и возникновение ряда стрессовых факторов, обусловленных хозяйственной деятельностью человека, оказывают существенное влияние на генотип и метаболизм вида, а также приводит к непосред-

* Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых – кандидатов наук МК-4099.2021.5.

ственной гибели кедровников. В связи с этим имеется необходимость сохранения существующего генофонда. Важнейшим этапом данного процесса, а также развитии селекции и семеноводства сосны кедровой сибирской является создание объектов единого генетико-селекционного комплекса (ЕГСК), в том числе архивов клонов плюсовых деревьев [3].

Для созданных несколько десятилетий назад архивов клоновых деревьев актуальными становятся генетическая паспортизация отобранного плюсового генофонда. Она позволяет установить генетическую принадлежность клонов заявленным плюсовым деревьям. В последние годы широкое применение в изучении генетических особенностей хвойных получил SSR-метод, в котором в качестве ДНК-маркеров используют доминантно наследуемые ядерные микросателлитные локусы (nSSRs). Отмеченный полиморфизм микросателлитов позволяет с высокой точностью идентифицировать организм и выявить биологическое родство [9].

Цель данного исследования – идентификация клонов плюсовых деревьев сосны кедровой сибирской на учебно-научном объекте «Гибридно-семенная плантация» Учебно-опытного лесхоза СибГУ им. М.Ф. Решетнева. Данный объект является важнейшей базой для изучения адаптивно значимых и хозяйственно ценных селекционных признаков сосны кедровой сибирской, служит фондом генетического разнообразия этого вида.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования явились образцы хвои девяти плюсовых деревьев сосны кедровой сибирской 89/53, 90/54, 91/55, 94/58, 95/59, 97/61, 99/63, 100/64, 101/65, произрастающих в 12 выделе 36 квартала (Г33) Орско-Симанского участкового лесничества Колыванского лесничества Новосибирской области, а также результат генотипирования вегетативно раз-

множенных деревьев сосны кедровой сибирской с использованием черенков разных вариантов, произрастающее на учебно-научном объекте «Гибридно-семенная плантация» Учебно-опытного лесхоза Сибирского государственного университета науки и технологий им. М. Ф. Решетнева [7].

Плюсовые деревья были аттестованы по урожайности в 1977 году. Таксационная характеристика древостоя, отнесенного к плюсовому по семеношению, на момент аттестации приведена в табл. 1.

Показатели сосны кедровой сибирской, аттестованной по семенной продуктивности приведены в табл. 2.

Показатели семеношения и процент приживаемости черенков плюсовых деревьев представлены по запросу сотрудниками Колыванского лесничества Новосибирской области из карточек оценки состояния плюсовых деревьев и приведены в табл. 3.

Архив клонов плюсовых деревьев был заложен на гибридно-семенной плантации (ГСП) под руководством проф. Р.Н. Матвеевой. ГСП расположена в южной части Красноярского края, на территории Мининского лесничества, в Емельяновском административном районе, в 42 квартале 5 выделе и 43 квартале 1 выделе Караульного участкового лесничества, в 1,5 километрах от краевого центра г. Красноярск [5]. Отобранные для исследования плюсовые деревья в 1988 году были размножены прививкой способом «сердцевидной на камбий» по Е.П. Проказину [4]. В качестве подвоя были взяты сеянцы сосны кедровой сибирской местного (бирюсинского) происхождения, а также подрост сосны обыкновенной. После удаления обвязки частично подверглись обрезке боковые ветви верхней мутовки подвоя, чтобы исключить опережение роста подвоя над привоем. Привитые растения располагались на расстоянии 5×5 м, густота посадки составила 400 шт. на 1 га [2].

Таблица 1
Таксационная характеристика плюсового древостоя

Состав	Возраст класс/лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Класс бонитета	Тип леса	Полнота
9К1С	4/160	18	52	III	К _{рт}	0,6
	6/110	20	44			

Таблица 2
Возраст и показатели плюсовых деревьев

Номер плюсового дерева	Возраст, лет	Высота		Диаметр ствола		Крона			
		м	% к X _{ср}	см	% к X _{ср}	диаметр, м	протяженность, м	женский ярус, м	форма
89/53	120	19	105	52	100	6,5	17,0	9,0	шаровидная
90/54	110	18	100	46	88	8,5	15,5	8,0	шаровидная
91/55	140	19	105	72	138	8,5	нет данных		шаровидной
94/58	150	23	128	72	138	10,0	20,0	10,0	овально продолговатая
95/59	130	22	122	53	102	6,5	20,0	6,0	узко-цилиндрическая
97/61	140	19	105	62	120	7,0	16,0	7,0	шаровидная
99/63	120	20	111	54	104	7,0	18,0	5,0	шаровидная
100/64	110	17	94	44	84	7,0	15,0	5,0	шаровидная
101/65	130	21	116	52	100	8,0	14,5	5,0	нет данных

В рамках проведения генетических исследований был осуществлен отбор экспериментального материала с 47 изучаемых экземпляров. Методической основой проведения работ стал метод микросателлитного анализа, основанный на полимеразной цепной реакции (ПЦР). Микросателлитные локусы – это участки генома с повторяющимися короткими (2–6 нуклеотидов) последовательностями, называемыми мотивами [6]. Число повторов в каждом локусе изменчиво от организма к организму, поэтому каждая особь характеризуется фактически уникальным многолокусным генотипом. С помощью метода электрофореза можно обнаружить изменчивость этого параметра, определить молекулярную массу изменчивого фрагмента – в данном случае аллеля. Более тяжелые молекулы (с большим числом повторов) мигрируют медленнее и на результирующей электрофореграмме можно наблюдать полиморфизм отражающий разное число повторяющихся мотивов [1].

Для исследования изменчивости микросателлитных локусов ядерной ДНК исследовали хвою, предварительно высушенную в сушильном шкафу при температуре +40 °С в течение 2–3 дней. Выделение ДНК из хвои проводилось по стандартному протоколу для растительных тканей (метод СТАВ) с применением цетилтриметил аммонийбромида [8]. Генетическую экспертизу проводили с помощью исследования 8 микросателлитных локусов ядерной ДНК (табл. 4).

Для постановки полимеразной цепной реакции (ПЦР) использовали коммерческий набор реагентов

GenPak®PCR Core (ООО «НПФ Генлаб», Россия), согласно инструкции фирмы-производителя. Амплификацию микросателлитных локусов проводили при следующем режиме: предварительная денатурация ДНК при 94 °С – 15 мин; далее 10 циклов, включающие 1 мин плавления при 94 °С, отжиг праймеров 1 мин при 60–50 °С (–1 °С на каждый цикл) и 1 мин. элонгации при 72 °С, следующие 25 циклов состоят из 1 мин плавления при 94 °С, отжиг праймеров 1 мин при 53 °С и 1 мин элонгации при 72 °С. Завершающий цикл элонгации проходил при 72 °С в течение 20 мин.

Электрофоретическое разделение продуктов амплификации проводили в 6 % полиакриламидном геле (ПААГ), с использованием 1xTAE буфера в камерах для вертикального электрофореза (VE-20, ООО «Хеликон») при напряжении 200В в течение 2,5 часов. В качестве маркера стандартных длин использовалась ДНК плазмиды PBR322 *E.coli*, обработанная рестриктазой HpaII. Окрашивание гелей проводили раствором бромистого этидия с дальнейшей визуализацией ампликонов в УФ-свете с помощью системы гел-документации Gel-Imager. В результате были получены электрофореграммы ДНК образцов (рис. 2). Считывание результатов анализа осуществляли с помощью программы Photo-Capt V.12.4 (Vilber Lourmat). Анализ установленных генотипов проводили с помощью программы (макроса) GenAlEx, свободно расширяемой надстройки для MS Excel [9].

Таблица 3
Показатели семеношения и процент приживаемости привоя

Номер плюсового дерева	Среднее количество шишек на дереве, шт.	Удельная энергия семеношения, шт./см	Среднее количество шишек на одном побеге, шт.	Длина шишек, см	Выход семян из одной шишки		Приживаемость привоя, %
					шт.	% к X_{cp}	
89/53	328	6,3	1,5	6,5	106	133	73,0
90/54	470	10,2	1,8	6,5	100	125	83,0
91/55	нет данных						88,0
94/58	336	4,7	2,0	6,7	94	118	90,0
95/59	353	6,6	1,7	7,8	119	149	86,0
97/61	281	4,5	1,5	7,1	108	136	90,0
99/63	253	4,7	1,7	6,4	101	126	60,0
100/64	309	7,0	1,8	8,5	122	152	97,0
101/65	243	5,9	1,6	7,6	103	118	нет данных

Таблица 4
Характеристика использованных для работы ядерных микросателлитных локусов сосны кедровой сибирской

№ п/п	Локус	Мотив	Размер фрагмента	Число аллелей, шт.
1	Ps_80612	(AAG) ₁₀	162-180	5
2	Ps_364418	(TGA) ₁₀	163-178	5
3	Ps_1502048	(AAT) ₁₁	183-201	5
4	Ps_1915155	(TAT) ₁₁	162-183	7
5	Ps_1375177	(CAT) ₁₀	203-236	4
6	Ps_31489	(AGA) ₆	186-189	2
7	Ps_25981	(TATT) ₅	170-178	3
8	Ps_39709	(ATGT) ₅	202-226	3

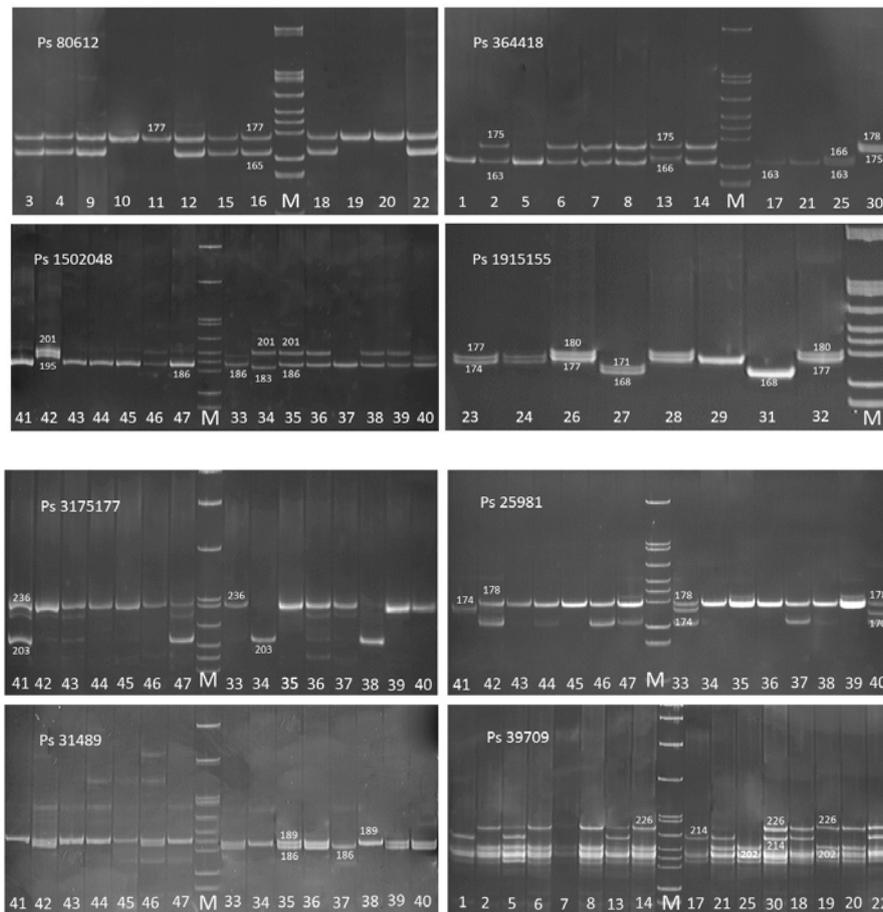


Рис. 1. Электрофореграммы продуктов амплификации локусов Ps_80612, Ps_364418, Ps_1502048, Ps_1915155, Ps_3175177, Ps_25981, Ps_31489, Ps_39709:
1-47 – порядковые номера образцов деревьев; М – маркер длины стандартных фрагментов

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам исследования ДНК 9 плюсовых деревьев сосны кедровой сибирской по 8 полиморфным ядерным микросателлитным локусам были выявлены многолокусные генотипы и сопоставлены с генотипами 47 деревьев вегетативно размноженного потомства, произрастающего на плантации ГСП для установления их генетической идентичности. Результаты генотипирования плюсовых деревьев и выявления общих ДНК-профилей представлены в табл. 5.

Анализ мультилокусных комбинаций аллелей по 8 микросателлитным локусам показал, что из 56 иссле-

дованных образцов 29 относятся к разным генотипам. Выявлены 4 общих ДНК-профиля: генотип В – образец ПД 100/64 и образцы рамет 7-18, 4-18, 4-17, 3-19, 2-19, 6-17; генотип С – образец ПД 91/55 и образцы рамет 12-16, 11-16, 10а-16, 9а-16, 8-16, 8а-16, 5-15а, 3-16, 3-15; генотип Е – образец ПД 89/53, образец раметы 21-16(3); генотип G – образец ПД 94/58 и образец раметы 17-13.

В июле 2022 года на прививочной плантации ГСП был проведен учет формирования шишек у подтвержденных генетическим анализом рамет плюсовых деревьев (табл. 6).

Таблица 5
Многолокусные генотипы опытных образцов от деревьев сосны кедровой сибирской

Идентификационный номер образца (номер плюсового дерева или раметы)	Многолокусные генотипы	Обозначение генотипов
100/64	183192163175165177180183236236189189174178202226g	В
2-19		
3-19		
4-17		
4-18		
7-18		
6-17		

Окончание таблицы 5

Идентификационный номер образца (номер плюсового дерева или раметы)	Многолокусные генотипы	Обозначение генотипов
91/55	186186163178165177177180236236186189170178214226g	С
3-15		
3-16		
5-15а		
8а-16		
8-16		
9а-16		
10а-16		
11-16		
12-16		
89/53		
21-16(3)		
94/58	186201166175168177177180236236186189178178202226g	G
17-13		
90/54	186186175175177177177183236236186189178178214214g	1
95/59	186186163175165177177180236236189189174178214226g	16
97/61	186192163175177180177180236236186189170178214226g	17
99/63	186186166175162177177180236236186189170178202214g	18
101/65	186186163175165177180180236236186189178178202202g	29

Таблица 6
Образование шишек на раматах разных клонов

Номер		Количество шишек на дереве		Максимальное количество шишек на побеге «в пучке»	
клона	раметы	шт.	% к X_{cp}	шт.	% к X_{cp}
100/64	2-19	26	66,7	4	114,3
	3-19	27	69,2	3	85,7
	4-17	27	69,2	3	85,7
	4-18	38	97,4	4	114,3
	6-17	56	143,6	4	114,3
	7-18	60	153,8	3	85,7
Среднее значение по клону		39	100,0	3,5	100,0
91/55	3-15	21	176,6	2	94,7
	3-16	19	159,8	3	142,1
	5-15а	1	8,4	1	47,4
	8-16	15	126,2	2	94,7
	8а-16	12	100,9	2	94,7
	9а-16	9	75,7	3	142,1
	10-16а	11	92,5	2	94,7
	11-16	3	25,2	2	94,7
Среднее значение по клону		11,9	100,0	2,1	100,0
89/53	21-16 (3)	29	-	3	-
94/58	17-13	6		3	

Максимальное количество шишек на дереве сформировали раматы 7-18, 6-17 клона 100/64 и 3-15, 3-16 клона 91/55, превысив среднее значение по клону на 43,6–76,6%. Клон 100/64 отличается наибольшим количеством формируемых шишек на побеге «в пучке» – 3,5 шт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование клонового потомства сосны кедровой сибирской, выращенного на гибридно-семенной плантации Учебно-опытного лесхоза Сибирского государственного университета им М. Ф. Решетнёва,

подтвердило их принадлежность к четырём заявленным плюсовым деревьям и прояснило схему их расположения на объекте. Результаты данной работы могут быть использованы при разработке комплекса мероприятий по дальнейшему использованию генетически ценного потомства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Белоконь М.М., Политов Д.В., Мудрик Е.А., Полякова Т.А., Шатохина А.В., Белоконь Ю.С., Орешкова Н.В., Путинцева Ю.А., Шаров В.В., Кузьмин Д.А., Крутовский К.В. Разработка микросател-

литных маркеров сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) по результатам полногеномного де novo секвенирования // Генетика. 2016. № 12 (52). С. 1418–1427.

2. Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф. Коллекция клонов, полусибов, разных морфологических форм кедра сибирского на плантациях СибГТУ (юг Средней Сибири). Красноярск : СибГТУ, 2012. 47 с.

3. Ибе А.А., Чубугина И.В., Лозицкая Г.М., Дыгало И.П., Шапрун Е.Н., Беляев В.В. Оценка состояния архива клонов сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica*) в Западно-Саянском ОЛХ // Хвойные бореальной зоны. 2012. XXX, № 1-2. С. 77–79.

4. Проказин Е.П. Новый метод прививки хвойных для создания семенных участков // Лесн. хоз-во. 1960. № 5. С. 22–28.

5. Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф. Селекционные объекты кедровых сосен, сосны обыкновенной, лиственницы сибирской в СибГТУ (1958–1993 гг.). Красноярск, 2013. 56 с.

6. Хедрик Ф. Генетика популяций. М. : Техносфера, 2003. 592 с.

7. Щерба Ю.Е., Ибе А.А., Сухих Т.В., Копченко Д.Е. Воспроизводство сосны кедровой сибирской на генетико-селекционной основе // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39, № 5. С. 401–407.

8. Devey M. E., Bell J. C., Smith D. N., Neale D. B., Moran G. F. A genetic linkage map for *Pinus radiata* based on RFLP, RAPD, and microsatellite markers // Theoretical and Applied Genetics, 1996. Vol. 92, No. 6. P. 673–679.

9. Peakall R., Smouse P.E. GenAlEx V6: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research // Molecular Ecology Notes, 2006. Vol. 6, No. 1. P. 288–295.

REFERENCES

1. Belokon' M.M., Politov D.V., Mudrik E.A., Polyakova T.A., Shatokhina A.V., Belokon' Yu.S., Oreshkova N.V., Putintseva Yu.A., Sharov V.V.,

Kuz'min D.A., Krutovskiy K.V. Razrabotka mikro-satellitnykh markerov sosny kedrovoy sibirskoy (*Pinus sibirica* Du Tour) po rezul'tatam polnogenomnogo de novo sekvenirovaniya // Genetika. 2016. № 12 (52). S. 1418–1427.

2. Matveyeva R.N., Butorova O.F. Kolleksiya klonov, polusibov, raznykh morfologicheskikh form kedra sibirskogo na plantatsiyakh SibGTU (yug Sredney Sibiri). Krasnoyarsk : SibGTU, 2012. 47 s.

3. Ibe A.A., Chubugina I.V., Lozitskaya G.M., Dygalo I.P., Shaprun E.N., Belyayev V.V. Otsenka sostoyaniya arkhiva klonov sosny kedrovoy sibirskoy (*Pinus sibirica*) v Zapadno-Sayanskom OLKh // Khvoynyye boreal'noy zony. 2012. XXX, № 1-2. S. 77–79.

4. Prokazin E.P. Novyy metod privivki khvoynykh dlya sozdaniya semennykh uchastkov // Lesn. khoz-vo. 1960. № 5. S. 22–28.

5. Matveyeva R.N., Butorova O.F. Seleksionnyye ob'ekty kedrovyykh sosen, sosny obyknovennoy, listvennitsy sibirskoy v SibGTU (1958–1993 gg.). Krasnoyarsk, 2013. 56 s.

6. Khedrik F. Genetika populyatsiy. M. : Tekhnosfera, 2003. 592 s.

7. Shcherba Yu.E., Ibe A.A., Sukhikh T.V., Kopychenko D.E. Vosproizvodstvo sosny kedrovoy sibirskoy na genetiko-seleksionnoy osnove // Khvoynyye boreal'noy zony. 2021. T. 39, № 5. S. 401–407.

8. Devey M. E., Bell J. C., Smith D. N., Neale D. B., Moran G. F. A genetic linkage map for *Pinus radiata* based on RFLP, RAPD, and microsatellite markers // Theoretical and Applied Genetics, 1996. Vol. 92, No. 6. P. 673–679.

9. Peakall R., Smouse P.E. GenAlEx V6: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research // Molecular Ecology Notes, 2006. Vol. 6, No. 1. P. 288–295.

© Щерба Ю. Е., Ибе А. А., Сухих Т. В., Шелер М. А., Копченко Д. Е., 2022

Поступила в редакцию 20.06.2022
Принята к печати 01.09.2022

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.815

Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XL, № 5. С. 430–438

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ И РЕЖИМОВ ПЕРЕРАБОТКИ ШИШКИ СОСНЫ СИБИРСКОЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕКОРАТИВНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

А. И. Криворотова, В. Д. Эскин

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

В статье рассмотрены основные известные способы переработки шишки сосны сибирской в декоративный композиционный материал, разработана методика создания декоративного композиционного материала на основе существующих способов переработки биомассы хвойных пород древесины, исследованы возможности использования клеев различных видов и происхождения для изготовления декоративного материала, проведены испытания физико-механических свойств полученных образцов.

Научная новизна работы заключается в использовании клея природного происхождения для изготовления декоративного материала с высокими физико-механическими характеристиками на основе биомассы хвойных пород древесины. В результате проведения трехфакторного эксперимента установлен оптимальный режим горячего прессования, который характеризуется температурой прессования 130 °С, удельной продолжительностью 1,35 мин/мм, давлением прессования 1,2 МПа. Сравнительный анализ физико-механических свойств образцов на основе биоклея, клея ПВА и карбамидоформальдегидной смолы показал соответствие требованиям, предъявляемым по прочностным показателям к материалам декоративного назначения. Установлено, что наибольшими прочностными показателями обладают образцы материала на основе карбамидоформальдегидной смолы, но имеют существенный недостаток в виде выделения из готового материала свободного формальдегида, что ограничивает возможности его применения в качестве декоративного материала с оздоравливающими свойствами.

Ключевые слова: кедропласт, биомасса хвойных, шишка, биоклей, экологичность, плитные материалы, декоративность, физико-механические свойства, режим прессования.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 5, P. 430–438

INVESTIGATION OF METHODS AND MODES OF PROCESSING SIBERIAN PINE CONES IN THE MANUFACTURE OF DECORATIVE COMPOSITE MATERIAL

A. I. Krivorotova, V. D. Eskin

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

The article discusses the main known methods of processing Siberian pine cones into decorative composite material, developed a technique for creating decorative composite material based on existing methods of processing softwood biomass, investigated the possibility of using adhesives of various types and origin for the manufacture of decorative material, conducted tests of the physical and mechanical properties of the samples obtained.

The scientific novelty of the work lies in the use of glue of natural origin for the manufacture of decorative material with high physical and mechanical characteristics based on the biomass of coniferous wood species. As a result of the three-factor experiment, the optimal hot pressing mode was established, which is characterized by a pressing temperature of 130 °C, a specific duration of 1.35 min / mm, and a pressing pressure of 1.2 MPa. A comparative analysis of the physical and mechanical properties of samples based on bio-glue, PVA glue and urea-formaldehyde resin showed compliance with the requirements for strength indicators for decorative materials. It has been established that the samples of the material based on urea-formaldehyde resin have the greatest strength indicators, but they have a significant drawback in the form of the release of free formaldehyde from the finished material, which limits the possibilities of its use as a decorative material with healing properties.

Keywords: cedarplast, coniferous biomass, pine cone, binoculars, environmental friendliness, slab materials, decorative, physical and mechanical properties, pressing mode.

ВВЕДЕНИЕ

Общепринятым термином «биомасса дерева» обозначают такие части древесного растения как листья, хвоя, шишки, неодревесневшие побеги, сучья, ветви, вершины, ствол дерева, кора и корневая система.

Технологии деревообрабатывающей промышленности в большинстве своем основаны на переработке стволовой части дерева. Оставшаяся часть биомассы практически не перерабатывается. Однако общемировые тенденции, основанные на понимании уменьшения запасов древесины, показывают рост числа технологий, основанных на комплексной переработке древесины, что называется «от иголки до корней». За последние 10 лет увеличились объемы глубокой переработки древесины, включая максимальное использование отходов от лесозаготовок и деревопереработки, при этом постоянно проводится изучение дополнительных возможностей экономии древесины во всех отраслях народного хозяйства. Тем не менее, следует отметить, что количество неиспользованной биомассы дерева во многих случаях превышает количество использованной древесины. Часть неиспользованной биомассы остается на лесосеках и считается отходами. Образовавшиеся отходы на лесосеках или деревоперерабатывающих предприятиях либо попросту сгнивают на местах заготовки и переработки, либо сжигаются. При использовании только стволовой древесины потери биомассы при лесозаготовке могут составлять до 35–40 %.

Национальный проект «Экология» реализуется в Российской Федерации с 2018 года. В его состав входит федеральный проект «Сохранение лесов», основной задачей которого является обеспечение баланса выбытия и воспроизводства лесов к 2024 году в 100 % соотношении [1]. Общая площадь земель лесного фонда Красноярского края составляет около 164 072,4 тыс. га. [2]. Согласно рейтингу абсолютных данных о фактической площади искусственного лесовосстановления и лесоразведения в Красноярском крае за 2019 год площадь искусственного восстановления составила 6978,8 га (7 место из 82), за 2020 год – 10 713,1 га (2 место из 82) [3]. Тем не менее, это нельзя рассматривать как рациональное использование лесного фонда края, так как в настоящее время количество изымаемых из окружающей среды лесов значительно превышает их возобновление. Это связано с большими площадями вырубок, пожарами, гибелью лесов от различных вредителей. Красноярский край в 2018 году по эффективности ведения лесного хозяйства располагался на 62 месте (81 место), в 2019 году – на 70 месте (82 места) [3]. Для увеличения площади искусственного лесовосстановления необходимо увеличить количество заготавливаемых в лесничествах семян для выращивания сеянцев. Одновременно это приведет к увеличению отходов, образующихся после обрушения шишки с целью извлечения семян.

Переработка таких отходов, как шелуха, скорлупа и остовы шишек, ведется достаточно редко и сводится к использованию их в качестве удобрений или мульчи [4]. Наиболее известны способы переработки отходов

шелушения семенных шишек кедра, которые используются для получения кедрового масла и других продуктов, содержащих биологически активные вещества, используемые в фармацевтической отрасли. Комплексная переработка биомассы кедрового ореха освещена в достаточно большом количестве научных работ [5–9; 16; 19]. Биомасса шишек остальных хвойных пород перерабатывается значительно реже.

В производстве композиционных материалов отходы обрушения шишки практически не используются. Наиболее успешным примером такой переработки может служить материал «Кедропласт» – шелуха, остовы кедровой шишки, скорлупа ореха, живица запрессовываются под определенным давлением при повышенной температуре с получением ровных или рельефных плиток [10].

Учитывая, что переработка древесины хвойных пород занимает большую нишу в экономике края необходимо постоянно рассматривать как способы восстановления лесов, так и увеличение процента переработки биомассы самого дерева. Традиционно и крона хвойных деревьев, и различного вида лесосечные отходы используются очень мало. Хвоя частично перерабатывается на хвойно-витаминную муку. Лесосечные отходы практически не используются, так как их утилизация связана с дополнительными финансовыми затратами для заготовителя. Вместе с хвоей, ветками и сучьями на лесозаготовительных участках остается большое количество отходов древесной шишки. При валке дерева ветви вместе с находящимися на них шишками обрезаются и остаются на лесосеках.

Сбором, переработкой шишек и получением семян и саженцев на территории Сибири занимается несколько лесничеств. Одно из них – Иланское лесничество Красноярского края занимается заготовкой семян хвойных пород древесины в промышленном масштабе. Заготовка в лесничествах начинается в октябре и завершается только весной. Например, в 2018 году собрали порядка 5 тонн семян ели, сосны и лиственницы и больше 11 тонн семян кедра. Этого достаточно, чтобы увеличить процент лесовосстановления. Планируется к 2024 году значительно увеличить заготовку семян и прийти к балансу между вырубкой леса и его воспроизводством. Для этого предполагается открыть еще один цех для сушки сосновой шишки. Такой вид деятельности пользуется поддержкой краевых и федеральных властей. Одной из проблем Иланского лесничества является утилизация остатка шишки после извлечения семян. Полученные отходы измеряются тоннами. Самым простым способом решения данной проблемы является продажа отсева шишки населению. Однако полноценно такой способ проблему не решает.

Еще одной крупной компанией, занимающейся заготовкой семян, посевом, выращиванием, закаливанием семян и сбором урожая, является Сибирская лесовосстановительная компания. Компания целенаправленно изучала теорию и практику выращивания хвойников, перенимала опыт у коллег в России и за рубежом. В 2019 году учредили «Сибирскую Лесо-

восстановительную Компанию», построили первые три теплицы площадью 4400 кв. м и в 2020 году вырастили и реализовали более 1,7 миллиона сеянцев сосны с закрытой корневой системой, проведя, тем самым, комплекс работ по лесовосстановлению в Иркутской области. Объемы производства в 2021 году достигли: 3 миллиона сеянцев сосны обыкновенной и 1,5 миллиона сеянцев лиственницы сибирской [17]. Десятки тонн семян хвойных пород деревьев было собрано силами более мелких лесничеств Красноярского края и заинтересованными лесопользователями. Это семена елей и сосен, в том числе кедровые семена. Большая часть собранного материала после необходимой сертификации на лесосеменной станции была распределена по лесным питомникам края, другая же – использована для выращивания леса посевным способом.

В среднем для получения, например, 1 кг семян сибирской сосны требуется 100 кг сосновой шишки, таким образом, можно сделать вывод, что биомасса шишек хвойных пород древесины в достаточном количестве образуется и на предприятиях по извлечению семенного материала, и на предприятиях химической промышленности. Эта биомасса требует дальнейшей переработки [18].

Основные способы переработки биомассы древесных пород заключаются в применении химических способов с целью получения экстрактивных веществ и использовании этой биомассы в производстве композиционных материалов. Экономическое значение хвойных в первую очередь связывают с использованием экстрактивных веществ, представляющих собой исключительно ценный материал для химической промышленности. Из шишек в зависимости от породного состава методом экстрагирования извлекают биологически активные вещества (пинены, фелландрены, борнилацетат, туйон и другие), эфирные масла. Эфирные масла, содержащие биологически активные компоненты, в частности указанные выше, возможно использовать как в натуральном виде, так и в качестве сырьевой субстанции для создания лекарственных препаратов.

Самым известным композитом из шишки сосны сибирской является «Кедропласт». Это различного вида декоративные изделия из отходов кедровых шишек, полученные путем прессования при нагреве под давлением с выдержкой и фиксации поверхностей изделия при комнатной температуре. Прессование выполняют при нагреве от 120 до 130 °С под давлением от 100 до 125 кг/см². Фиксацию поверхностей проводят под грузом 10–20 кг/м² около 30 дней. Полученные изделия кроме декоративных свойств обладают оздоровительным эффектом и высокими прочностными характеристиками.

Кедропласт экологически чистый материал из шелухи кедровой шишки, скорлупы кедрового ореха, остовов шишек, единственным связующим элементом которого является смола кедра. В этом его уникальность и главное отличие от древесноволокнистых или древесностружечных плит.

Один из способов получения декоративных изделий из отходов шишек хвойных деревьев, предусмат-

ривающий предварительную стабилизацию отходов по влажности на уровне от 5 до 6 %, введение в них полимерного связующего поливинилацетатной дисперсии в количестве от 12 до 15 % от сухой массы основы, представлен в работе [11]. Полученную шихту подвергают сушке при температуре от 80 до 90 °С в течение 30 мин и проводят прессование при нагреве от 140 до 150 °С под давлением от 80 до 100 кг/см². Однако использование химических ингредиентов в составе изделия ухудшает полезные свойства облицовочных плиток, создаваемые натуральным продуктом.

Другой способ получения декоративных изделий из отходов шишек хвойных деревьев [12], основан на прессовании шелухи кедровых шишек в металлической матрице при нагреве от 60 до 75 °С под давлением от 30 до 50 кг/см² в течение 8–12 мин. После прессования проводят фиксацию без давления лицевой и тыльной поверхностей изделия и выдерживают в течение от 20 до 24 ч при комнатной температуре. Полученные изделия имеют существенный недостаток рыхлую с воздушными включениями поверхность и малую прочность.

Еще один способ использования поливинилацетата для получения декоративных изделий из отходов шишек хвойных деревьев представлен в работе [13]. Полученную массу после высушивания засыпают в металлическую матрицу и прессуют при нагреве от 150 до 170 °С под давлением от 20 до 40 кг/см² с выдержкой от 1,1 до 1,7 мин/мм толщины изделия. Далее изделия выдерживают в течение 12 часов под грузом от 100 до 150 кг/м² при комнатной температуре.

Известны примеры использования в качестве нагрева сырья СВЧ-поля [14], что позволяет сократить длительность цикла и улучшить качество готовых изделий. Исходное сырье влажностью от 5 до 8 % помещают в СВЧ-поле мощностью от 650 до 750 Вт на 2–4 мин до полного прогрева сырья до температуры 80–90 °С, затем помещают в холодную прессформу и проводят прессование в течение 8–10 мин.

В работе [15], автор предлагает технологию с уменьшением температуры прессования и увеличением давления с более продолжительной выдержкой. Предлагаемый режим прессования при нагреве от 120 до 130 °С под давлением от 100 до 125 кг/м² является оптимальным для достижения требуемого качества изделий. Низкая температура от 120 до 130 °С воздействия на сырье является достаточной для его формования и в то же время не оказывает жесткого воздействия, ухудшающего защитные и оздоровительные свойства кедра, т. е. не разрушает способность выделять в значительной концентрации фитонциды, флавоноиды и другие ароматические вещества, создающие оздоровительный эффект.

Таким образом, в предлагаемой работе были определены следующие направления исследований: определение вида связующего наиболее полно обеспечивающего сохранение экологических и фитонцидных свойств материала; исследование возможности создания декоративного материала с высокими прочностными свойствами; исследование физико-механических свойств полученного материала;

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования применялись частицы измельченной сосновой шишки фракции 10 и 7/дно, заготовленные на территории Красноярского края. В качестве связующего были использованы: стекло натриевое жидкое ГОСТ 13078–81, клей ПВА марки Д 51С по ГОСТ 18992–80, биоклей производства ЗАО «Био-Эко», карбамидоформальдегидная смола марки КФМТ-15 ГОСТ 14231–88, эпоксидная смола ГОСТ Р 56211–2014 и отвердитель эпоксидной смолы.

Измельчение производилось дробилкой барабанного типа марки RM-300.

В работе представлены пять видов декоративного материала из биомассы хвойных пород древесины. Методика изготовления материала имеет одинаковую основу для всех видов плит с некоторыми особенностями в каждом конкретном случае. Взвешивается расчетное количество ранее измельченных частиц сосновой шишки и расчетное количество связующего вещества. Масса измельченных частиц фракции 10 составляет 60 % от расчетной массы сырья и 40 % для фракции 7/дно. Измельченную биомассу смешивают со связующим. Полученную смесь укладывают на поддон или пресс-форму, в зависимости от способа твердения связующего вещества. Прессование плиты на основе жидкого клея и клея ПВА происходит в холодном прессе. Для плит на основе ПВА предусмотрена выдержка в пресс-форме в течение 24 часов при комнатной температуре. Плиты на основе биоклея изготавливались методом горячего и холодного прессования. Плиты на основе эпоксидной смолы формируются и отверждаются без воздействия давления. Для затвердевания эпоксидной смолы требуется около 12 часов при комнатной температуре.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ, РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Подбор связующего вещества осуществлялся с учетом существующих видов композиционных материалов с изученными и описанными характеристиками.

В ходе теоретических исследований были определены следующие виды клеевых составов, удовлетворяющих требуемым характеристикам: жидкое стекло, биоклей, клей ПВА, карбамидоформальдегидная смола, эпоксидная смола.

В процессе работы были изготовлены опытные образцы с использованием вышеперечисленных видов клеевых составов.

Прессование образцов на основе жидкого стекла производилось при комнатной температуре с приложением нагрузки и последующей выдержкой в пресс-форме в течение 6 ч. Образцы на основе жидкого стекла имеют достаточную прочность, держат форму. Однако в процессе выдержки после прессования при температуре выше комнатной и повышенной влажности форма образцов претерпевает изменения, клеевые контакты расходятся и образец меняет форму.

Для образцов на основе биоклея были применены два способа прессования: холодное и горячее. Холодное прессование производилось при комнатной температуре с приложением усилия в пресс-форме с по-

следующей выдержкой в течение 24 ч. Полученные образцы плохо держали форму и не обеспечивали плотного слипания частиц материала. Горячее прессование образцов на основе биоклея производилось при температуре 130 ± 5 °С, давлении 1,2 МПа, в течение 15 минут с последующим охлаждением в течение 60 мин. Образцы материала обладали достаточной плотностью и прочностью с ярко выраженной декоративной поверхностью темно-коричневого цвета.

Прессование образцов на основе клея ПВА проводилось при комнатных условиях в пресс-форме с выдержкой в течение 24 ч. Полученные образцы обладали достаточной прочностью, имели гладкую декоративную поверхность.

Прессование образцов на основе карбамидоформальдегидной смолы производилось по стандартному режиму прессования древесностружечных плит: температура 120 °С, давление прессования 1,2 МПа, продолжительность прессования для плиты толщиной 10 мм составила 8 мин. В качестве отвердителя используется хлористый аммоний, в количестве 1 % от массы карбамидоформальдегидной смолы. Плиты при использовании связующего на основе карбамидной смолы обладают высокой прочностью, хорошей водостойкостью, имеют ярко-коричневый цвет с декоративной поверхностью.

Изготовление образцов на основе эпоксидной смолы заключается в заполнении формы готовым раствором смолы, с последующей выдержкой. В эпоксидную смолу добавляют отвердитель равный 1:10 массы используемого количества эпоксидной смолы. Полное затвердевание эпоксидной смолы происходит в течение 24 часов. Поверхности готовых плит подвергаются полировке. Образцы на основе эпоксидной смолы обладают высокой прочностью и высокими декоративными свойствами.

По результатам предварительных экспериментов были приняты следующие решения: несмотря на высокие физико-механические свойства образцов на основе эпоксидной смолы отказаться от ее исследования в дальнейшей работе, так как образцы материала на ее основе имеют законченный внешний вид и высокие эксплуатационные свойства и не требуют изменения в составе; исследование образцов декоративного материала на основе карбамидоформальдегидной смолы продолжить для возможности реализации сравнительного анализа свойств декоративного материала на основе других клеевых составов. При этом отметить, что данную смолу нельзя рекомендовать для изготовления декоративного материала из биомассы хвойных ввиду ее низкой экологичности.

Ввиду отсутствия литературных данных о параметрах режима прессования материалов на основе биоклея был проведен трехфакторный эксперимент по определению режима прессования, обеспечивающего высокие эксплуатационные свойства плит на основе данного клеевого состава. Факторы и уровни их варьирования приведены в таблице.

Оценку влияния исследуемых факторов на прочность при статическом изгибе декоративного материала на основе биоклея проводили по графической интерпретации уравнения регрессии и графикам

эффектов факторов и эффектов их взаимодействий, приведенных на рис. 1–5. Как видно из представленных на рис. 1 зависимостей наибольшее влияние на прочность при статическом изгибе оказывает температура прессования. С увеличением температуры прессования до 135 °С происходит увеличение прочности плиты, при дальнейшем повышении температуры прочность снижается. Это объясняется в первую очередь физико-химическими свойствами биоклея. При превышении предела температур в биоклее начинается процесс деструкции, происходит спекание клея до кристаллообразного состояния, которое препятствует обволакиванию клеем частиц биомассы и прочность композиции падает. Давление прессования практически не влияет на прочностные характеристики материала, так как обеспечивает только создание требуемой плотности материала, которая в случае с изготовлением декоративного материала всегда контролировалась на уровне от 720 до 750 кг/м³. Продолжительность прессования оказывает на прочность декоративного материала аналогичное влияние, как и температура. Однако данное влияние имеет значительно менее выраженный характер. При изменении температуры прессования прочность изменилась на величину около 0,35 МПа, а при изменении продолжительности прессования на величину 0,09 МПа.

При рассмотрении совместного влияния факторов на прочность материала при статическом изгибе следует отметить совместное влияние температуры прессования с давлением и продолжительностью прессо-

вания. При увеличении температуры и нахождении одного из двух оставшихся факторов на основном уровне варьирования более высокая прочность наблюдается при минимальных значениях одного из оставшихся факторов. То есть при минимальной температуре прессования прочность образцов при увеличении продолжительности прессования выше на величину от 0,25 до 0,35 МПа, чем при максимальной температуре, а при увеличении давления прессования на величину от 0,30 до 0,35 МПа.

В результате математической обработки экспериментальных данных, было получено уравнение регрессии, адекватно описывающее зависимость предела прочности при статическом изгибе от режима прессования:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{изг}} = & 8,309 - 0,026 \times P - 0,022 \times \tau - 0,157 \times T - \\ & - 0,021 \times P^2 + 0,005 \times P \times \tau - 0,015 \times P \times T - \\ & - 0,081 \times \tau^2 - 0,023 \times \tau \times T - 0,196 \times T^2. \end{aligned}$$

где P – давление прессования, МПа; τ – удельная продолжительность прессования, мин/мм; T – температура прессования, °С.

При оптимизации полученной зависимости с помощью программы «Statgraphics» установлено, что оптимальными параметрами, обеспечивающими максимальную прочность декоративного материала на основе биомассы хвойных пород и биоклея является температура прессования 130 °С, удельная продолжительность 1,35 мин/мм, давление прессования 1,2 МПа.

Факторы и уровни варьирования режима прессования декоративного материала на основе биоклея

Наименование фактора	Обозначение	Уровни варьирования		
		верхний	основной	нижний
		+1	0	-1
Давление прессования, МПа	P/X ₁	1,8	1,5	1,2
Удельная продолжительность прессования, мин/мм	$\tau_{\text{уд}}/X_2$	4,0	2,5	1,0
Температура прессования, °С	T/X ₃	160	140	120

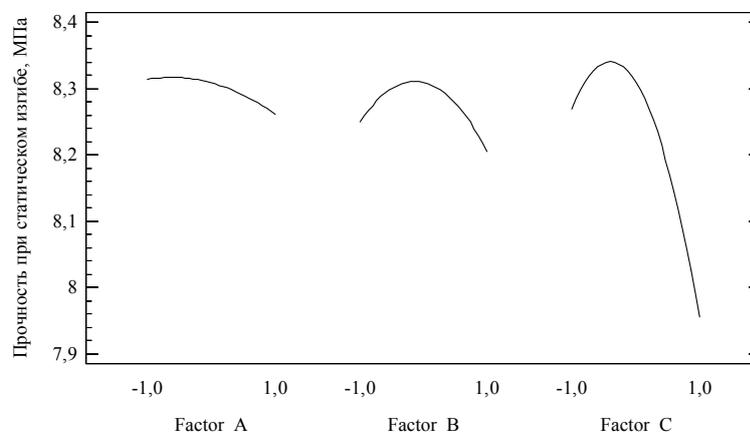


Рис. 1. График эффектов факторов:

Factor A – давление прессования, МПа; Factor B – удельная продолжительность прессования, мин/мм; Factor C – температура прессования, °С

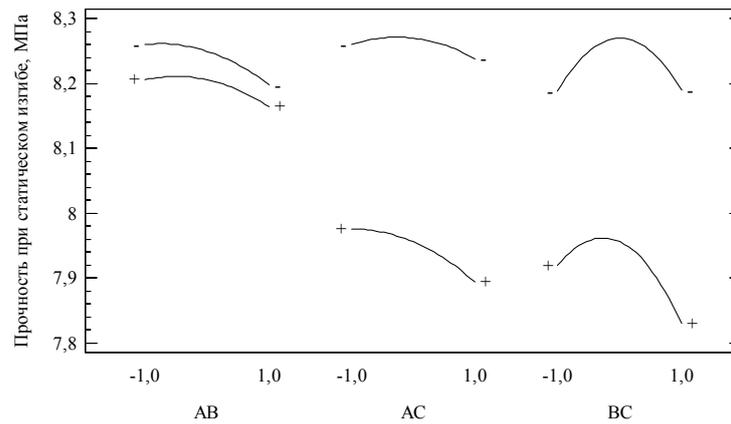


Рис. 2. График эффектов взаимодействия факторов:

AB – давление прессования, МПа, удельная продолжительность прессования, мин/мм; AC – давление прессования, МПа, температура прессования, °С; BC – удельная продолжительность прессования, мин/мм, температура прессования, °С

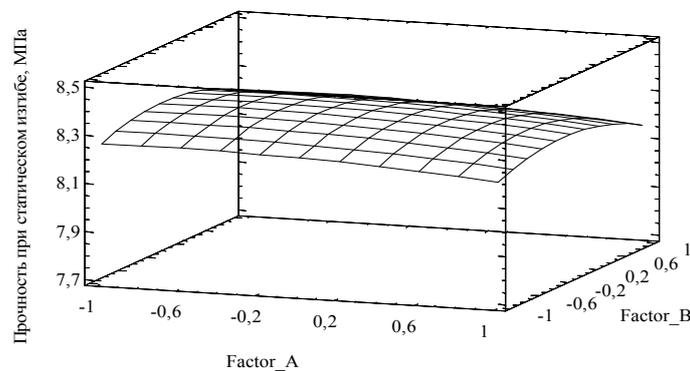


Рис. 3. Графическая интерпретация уравнения регрессии:

Factor A – давление прессования, МПа; Factor B – удельная продолжительность прессования, мин/мм

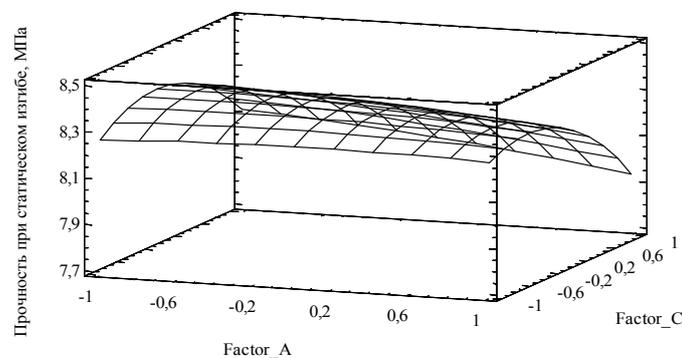


Рис. 4. Графическая интерпретация уравнения регрессии:

Factor A – давление прессования, МПа; Factor C – температура прессования, °С

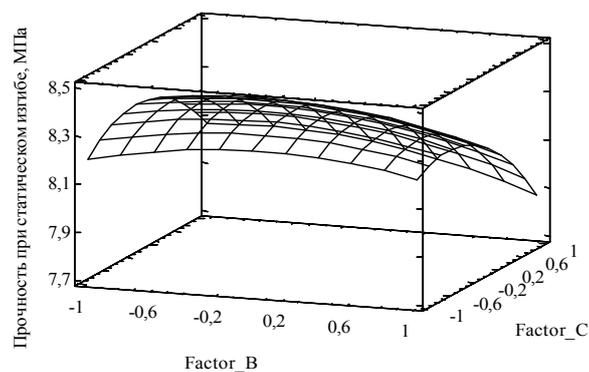


Рис. 5. Графическая интерпретация уравнения регрессии:

Factor B – удельная продолжительность прессования, мин/мм; Factor C – температура прессования, °С

С целью сравнительного анализа свойств декоративного материала из биомассы хвойных пород с использованием различных видов связующих, были изготовлены образцы на основе биоклея, карбамидоформальдегидной смолы и клея ПВА имеющие одинаковую плотность. Исследовались: прочность при статическом изгибе, прочность при разрыве перпендикулярно пласти, водопоглощение за 24 ч, разбухание за 24 ч.

На рис. 6 приведены результаты исследований образцов на предел прочности при статическом изгибе. Показатели предела прочности при статическом изгибе образцов на основе биоклея превышают показатели образцов на основе ПВА, но уступают образцам материала изготовленного с использованием карбамидоформальдегидной смолы. В целом необходимо отметить, что образцы декоративного материала на основе биомассы хвойных пород древесины имеют меньшие показатели прочности при статическом изгибе в сравнении с древесностружечными плитами на основе карбамидоформальдегидной смолы. Прочность древесностружечных плит марки Р1 составляет не менее 10,5 МПа для рассматриваемых толщин, марки Р2 – не менее 11 МПа. Данные значения превышают представленные на рисунке 6 на величину от 2,25 до 2,5 МПа, что объясняется в первую очередь свойствами самой биомассы хвойных. В сравнении со стружкой измельченная биомасса имеет меньшую плотность, более разнообразную форму после измельчения и, следовательно, обеспечивают менее качественное сцепление между собой в процессе прессования. Тем не менее, полученной прочности достаточно для заявленного применения данного материала – в качестве декоративных элементов. Дополнительно следует отметить, что прочность образцов на основе карбамидоформальдегидной смолы практически удовлетворяет требованиям стандарта к древесностружечным плитам.

На рис. 7 приведены результаты исследований образцов на предел прочности при разрыве перпендикулярно пласти. Предел прочности при разрыве перпендикулярно пласти у образцов на основе биоклея и карбамидоформальдегидной смолы имеет достаточно близкие значения и превосходит показатели образца на основе клея ПВА. В сравнении с древесностружечными плитами марки Р1 образцы на основе биоклея и карбамидной смолы имеют соответствующие стандарту показатели, плита на основе ПВА данному стандарту на удовлетворяет.

На рис. 8 приведены результаты исследований на водопоглощение за 24 ч. Учитывая, что показатели водопоглощения и разбухания древесностружечных плит по ГОСТ 10632–2014 не нормируется, сравнительный анализ данных показателей проводили по имеющимся литературным данным. Минимальный процент водопоглощения имеет образец на основе карбамидоформальдегидной смолы, максимальный – на основе ПВА. Следует отметить, что образец на основе биоклея имеет значения незначительно превышающее показатель плит на основе карбамидоформальдегидной смолы. Также необходимо отметить, что для древесностружечной плиты на основе карба-

мидоформальдегидной смолы в литературе приводятся данные по водопоглощению от 12 до 23 %. Следовательно, все представленные плиты удовлетворяют заявленным требованиям.

На рис. 9 приведены результаты исследований на разбухание. Разбухание по толщине исследуемых образцов составило от 23,4 до 28,7 %. Данные значения также сопоставимы со значениями, которые наблюдаются у древесностружечных плиты.

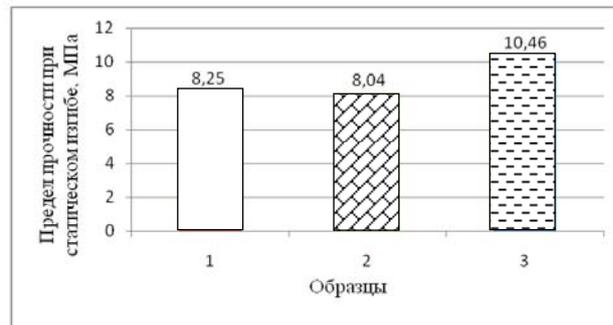


Рис. 6. Результаты показателей при определении предела прочности при статическом изгибе образцов плит. Образцы из биомассы хвойных пород с использованием: 1 – биоклея; 2 – ПВА; 3 – карбамидоформальдегидной смолы

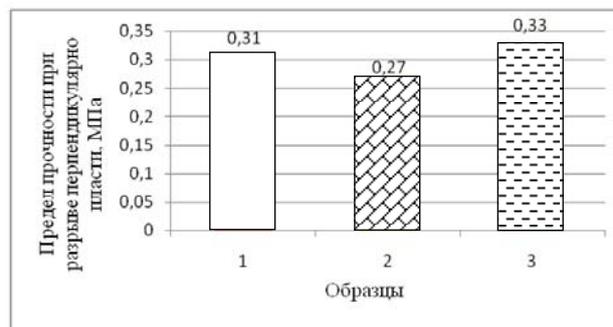


Рис. 7. Результаты показателей при определении предела прочности при разрыве перпендикулярно пласти образцов плит. Образцы из биомассы хвойных пород с использованием: 1 – биоклея; 2 – ПВА; 3 – карбамидоформальдегидной смолы

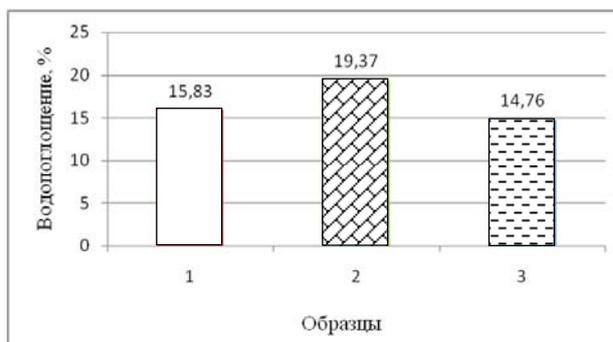


Рис. 8. Результаты испытания образцов на водопоглощение. Образцы из биомассы хвойных пород с использованием: 1 – биоклея; 2 – ПВА; 3 – карбамидоформальдегидной смолы

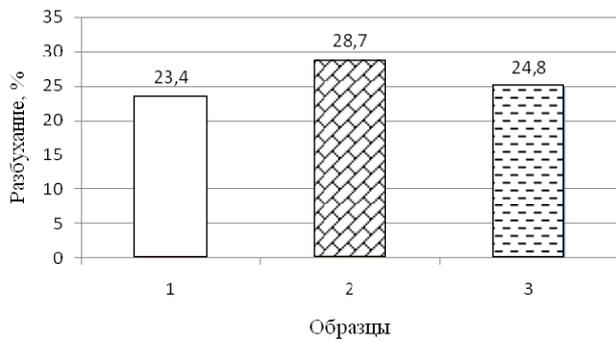


Рис. 9. Результаты испытания образцов на разбухание. Образцы из биомассы хвойных пород с использованием: 1 – биоклея; 2 – ПВА; 3 – карбамидоформальдегидной смолы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы авторами были сделаны следующие выводы:

1. Образцы на основе биоклея, клея ПВА и карбамидоформальдегидной смолы соответствуют требованиям, предъявляемым по прочностным показателям к материалам декоративного назначения.

2. Наибольшими прочностными показателями обладают образцы материала на основе карбамидоформальдегидной смолы.

3. Учитывая, что образцы на основе карбамидоформальдегидной смолы имеют существенный недостаток в виде выделения из готового материала свободного формальдегида, и следовательно, не обладают таким важным качеством как экологическая чистота к применению рекомендуется декоративный материал на основе биоклея.

4. Оптимальным режимом прессования декоративного материала на основе биомассы хвойных пород и биоклея является температура прессования 130 °С, удельная продолжительность 1,35 мин/мм, давление прессования 1,2 МПа; наибольшее влияние на прочность декоративного материала на основе биоклея оказывает температура прессования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Министерство природных ресурсов и экологии РФ [Электронный ресурс]. URL: http://www.mnr.gov.ru/press/news/federalnyy_proekt_sokhranenie_lesov_voss_tanovleno_245_tysyach_ga_lesnykh_nasazhdeniy/ (дата обращения: 10.03.2021).

2. Министерство природных ресурсов и экологии РФ [Электронный ресурс]. URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/regions/krasnoyarskiy_kray/ (дата обращения: 10.03.2021).

3. Федеральное агентство лесного хозяйства [Электронный ресурс]. URL: http://rosleshoz.gov.ru/rates/reforestation_artificial (дата обращения: 9.03.2021).

4. САУ лесного хозяйства ВО «Вологдалесхоз» [Электронный ресурс]. URL: <https://vologdaleshoz.ru/produktsiya/mulcha-iz-shishek-khvojnykh-porod> (дата обращения: 10.03.2021).

5. Пат. 2096443 Российская Федерация, МПК⁶ С1 С11 В 1/10. Способ получения кедрового масла / Рубчевская Л. П., Лебедева О. И., Ушанова В. М., Репях

С. М., Лобади́на М. Н. № 95103692/13; заявл. 07.03.95; опубл. 20.11.97, Бюл. № 32. 4 с.

6. Пат. 2138541 Российская Федерация, МПК⁶ С1 С11 В 1/10. Комплексная переработка кедрового ореха / Рубчевская Л. П., Лебедева О. И., Ушанова В. М., Девятловская А. Н., Пронина Л. В., Репях С. М. № 96116042/13; заявл. 02.08.96; опубл. 27.09.99, Бюл. № 27. 4 с.

7. Пат. 2194745 Российская Федерация, МПК⁷ С2 С11 В 1/10. Способ получения кедрового масла / Лебедева О. И., Ушанова В. М., Рубчевская Л. П., Репях С. М. № 2000119332/13; заявл. 19.07.2000; опубл. 20.12.2002, Бюл. № 35. 3 с.

8. Пат. 2174011 Российская Федерация, МПК⁷ А61 К 35/78, С07 С 37/80. Способ получения полифенолов / Рубчевская Л. П., Лебедева О. И., Ушанова В. М., Лисс Е. В., Репях С. М. № 99115296/04; заявл. 12.07.1999; опубл. 27.09.2001, Бюл. № 27. 3 с.

9. Лис Е. В. Химический состав шишек Pinus sibirica R. Мауг : дис. ... канд. химич. наук. Красноярск : СибГТУ, 2006. 151 с.

10. Кедровая плитка [Электронный ресурс]. URL: <http://xn----7sbbfjzkgi3ap9azp.xn--plai/> (дата обращения: 29.03.2021).

11. Патент № 2121925 Российская Федерация, МПК В44С 1/24 (1995.01). Способ получения декоративных изделий из отходов деревьев : № 96111764/12 : заявл. 11.06.1996 : опубл. 20.11.1998 / Красовский Е. А., Хромов А. В. 5 с. : ил. Текст : непосредственный.

12. Патент № 2229389 Российская Федерация, МПК В44С 1/24 (2006.01). Способ получения декоративных изделий из отходов кедровых деревьев : № 2015104136/12 : заявл. 09.02. 2015 : опубл. 20.10.2016 / Хромов А. В., Гегедеш Ю. Ю. 13 с. : ил. Текст : непосредственный.

13. Патент № 2235023 Российская Федерация, МПК В44С 1/24 (2006.01). Способ получения декоративных изделий из отходов шишек хвойных деревьев : № 2002129654/12 : заявл. 04.11.2002 : опубл. 27.08.2004 / Жарков А. С., Потапов М. Г., Пьянков С. А., Кожарский С. П., Шалюта В. Н., Ганжа В. В. 6 с. : ил. Текст : непосредственный.

14. Патент № 2343078 Российская Федерация, МПК В44С 5/04 (2006.01), В44С 1/24 (2006.01). Способ получения декоративных изделий из отходов кедровых шишек : № 2006125261/12 : заявл. 13.07. 2006 : опубл. 10.01.2009 / Степченко В. М. 5 с. : ил. Текст : непосредственный.

15. Патент № 2442697 Российская Федерация, МПК В44С 1/24 (2006.01). Способ получения декоративных изделий из отходов деревьев хвойных пород : № 2011100434/12 : заявл. 11.01.2011 : опубл. 20.02.2012 / Хантургаев А. Г., Ширеторова В. Г., Котова Т. И., Хантургаева Г. И., Залуцкий А. В., Алексеев Г. Т. 7 с. : ил. Текст : непосредственный.

16. Экстракция ценных компонентов из лесосечных отходов / Сафина А. В., Тимербаев Н. Ф., Зиатдинова Д. Ф., Арсланова Г. Р. Текст : непосредственный // ИВУЗ Лесной журнал. 2018. № 1. С. 109–119.

17. Сибирская Лесовосстановительная Компания : сайт. Шелехов, 2019. URL: <https://siblescompany.ru/#rec173932841> (дата обращения: 13.04.2021). Текст : электронный.

18. Переработка шишек хвойных пород. Лекция : сайт. Москва, 2007. URL: <https://lektsia.com/2x6db2.html> (дата обращения: 27.02.2021). Текст : электронный.

19. Allbest : Комплексная переработка сосны : сайт. Волгоград, 2020. URL: https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00619844_0.html (дата обращения: 21.02.2021). Текст : электронный.

REFERENCES

1. Ministerstvo prirodnikh resursov i ekologii RF [Elektronnyy resurs]. URL: http://www.mnr.gov.ru/press/news/federalnyy_proekt_sokhraneniye_lesov_vosstanovlen_o_245_tsyach_ga_lesnykh_nasazhdeniy/ (data obrashcheniya: 10.03.2021).

2. Ministerstvo prirodnikh resursov i ekologii RF [Elektronnyy resurs]. URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/regions/krasnoyarskiy_kray/ (data obrashcheniya: 10.03.2021).

3. Federal'noye agentstvo lesnogo khozyaystva [Elektronnyy resurs]. URL: http://rosleshoz.gov.ru/rates/reforestation_artificial (data obrashcheniya: 9.03.2021).

4. SAU lesnogo khozyaystva VO «Vologdaleshoz» [Elektronnyy resurs]. URL: <https://vologdaleshoz.ru/produktsiya/mulcha-iz-shishek-khvojnykh-porod> (data obrashcheniya: 10.03.2021).

5. Pat. 2096443 Rossiyskaya Federatsiya, MPK6 S1 S11 V 1/10.Sposob polucheniya kedrovogo masla / Rubchevskaya L. P., Lebedeva O. I., Ushanova V. M., Repyakh S. M., Lobadina M. N. № 95103692/13; zayavl. 07.03.95; opubl. 20.11.97, Byul. № 32. 4 s.

6. Pat. 2138541 Rossiyskaya Federatsiya, MPK6 S1 S11 V 1/10.Kompleksnaya pererabotka kedrovogo orekha / Rubchevskaya L. P., Lebedeva O. I., Ushanova V. M., Devyatlovskaya A. N., Pronina L. V., Repyakh S. M. № 96116042/13; zayavl. 02.08.96; opubl. 27.09.99, Byul. № 27. 4 s.

7. Pat. 2194745 Rossiyskaya Federatsiya, MPK7 S2 S11 V 1/10.Sposob polucheniya kedrovogo masla / Lebedeva O. I., Ushanova V. M., Rubchevskaya L. P., Repyakh S. M. № 2000119332/13; zayavl. 19.07.2000; opubl. 20.12.2002, Byul. № 35. 3 s.

8. Pat. 2174011 Rossiyskaya Federatsiya, MPK7 A61 K 35/78, S07 S 37/80. Sposob polucheniya polifenolov / Rubchevskaya L. P., Lebedeva O. I., Ushanova V. M., Liss E. V., Repyakh S. M. № 99115296/04; zayavl. 12.07.1999; opubl. 27.09.2001, Byul. № 27. 3 s.

9. Lis E. V. Khimicheskii sostav shishek Pinus sibirica R. Mayr : dis. ... kand. khimich. nauk. Krasnoyarsk : SibGTU, 2006. 151 s.

10. Kedrovaya plitka [Elektronnyy resurs]. URL: <http://xn----7sbbfjzkgi3api9azp.xn--plai/> (data obrashcheniya: 29.03.2021).

11. Patent № 2121925 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B44C 1/24 (1995.01). Sposob polucheniya dekorativnykh izdeliy iz otkhodov derev'yev : № 96111764/12 : zayavl. 11.06.1996 : opubl. 20.11.1998 / Krasovskiy E.A., Khromov A.V. 5 s. : il. Tekst : neposredstvennyy.

12. Patent №2229389 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B44C 1/24(2006.01). Sposob polucheniya dekorativnykh izdeliy iz otkhodov kedrovyykh derev'yev : № 2015104136/12 : zayavl. 09.02. 2015 : opubl. 20.10.2016 / Khromov A. V., Gegedesh Yu. Yu. 13 s. : il. Tekst : neposredstvennyy.

13. Patent № 2235023 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B44C 1/24(2006.01). Sposob polucheniya dekorativnykh izdeliy iz otkhodov shishek khvoynyykh derev'yev : № 2002129654/12 : zayavl. 04.11.2002 : opubl. 27.08.2004 / Zharkov A. S., Potapov M. G., P'yankov S. A., Kozharskiy S. P., Shalyuta V. N., Ganzha V. V. 6 s. : il. Tekst : neposredstvennyy.

14. Patent № 2343078 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B44C 5/04(2006.01), B44C 1/24(2006.01). Sposob polucheniya dekorativnykh izdeliy iz otkhodov kedrovyykh shishek : № 2006125261/12 : zayavl. 13.07. 2006 : opubl. 10.01.2009 / Stepchenko V. M. 5 s. : il. Tekst : neposredstvennyy.

15. Patent № № 2442697 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B44C 1/24 (2006.01). Sposob polucheniya dekorativnykh izdeliy iz otkhodov derev'yev khvoynyykh porod : № 2011100434/12 : zayavl. 11.01.2011 : opubl. 20.02.2012 / Khanturgayev A. G., Shiretorova V. G., Kotova T. I., Khanturgayeva G. I., Zalutskiy A. V., Alekseyev G.T. 7 s. : il. Tekst : neposredstvennyy.

16. Ekstraktsiya tsennykh komponentov iz lesosechnyykh otkhodov / Safina A. V., Timerbayev N. F., Ziatdinova D. F., Arslanova G. R. Tekst : neposredstvennyy // IVUZ Lesnoy zhurnal. 2018. № 1. S. 109–119.

17. Sibirskaya Lesovosstanovitel'naya Kompaniya : sayt. Shelekhov, 2019. URL: <https://siblescompany.ru/#rec173932841> (data obrashcheniya: 13.04.2021). Tekst : elektronnyy.

18. Pererabotka shishek khvoynyykh porod. Lektsiya : sayt. Moskva, 2007. URL: <https://lektsia.com/2x6db2.html> (data obrashcheniya: 27.02.2021). Tekst : elektronnyy.

19. Allbest : Kompleksnaya pererabotka sosny : sayt. Volgograd, 2020. URL: https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00619844_0.html (data obrashcheniya: 21.02.2021). Tekst : elektronnyy.

© Криворотова А. И., Эскин В. Д., 2022

Поступила в редакцию 10.07.2022

Принята к печати 01.09.2022

РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ И СОРТИРОВКИ КЕДРОВОГО ОРЕХА**В. Н. Невзоров, Ж. А. Кох, И. В. Мацкевич, И. В. Голубев**

Красноярский государственный аграрный университет
 Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, просп. Мира, 90
 E-mail: jannetta-83@mail.ru

Проведены патентные исследования и разработано новое универсальное малогабаритное оборудование сочетающее выполнение рабочих операций по производству кедрового ореха в едином технологическом потоке. Определены физико-технические параметры семян кедрового ореха, предельные размеры кедрового ореха составляют: по длине: крупные от 9,1 мм и выше, средние от 7,1 до 9,0 мм, мелкие – менее 7,0 мм. Экспериментальным путем определены основные физико-геометрические параметры кедрового ореха, используемые для разработки и проектирования технологического оборудования для комплексной механизации выполнения рабочих операций.

Ключевые слова: технология, оборудование, кедровый орех, сортировка, калибровка, физико-технические параметры, физико-геометрические параметры.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 5, P. 439–443

DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR CALIBRATION AND SORTING OF PINE NUTS**V. N. Nevzorov, Zh. A. Koch, I. V. Matskevich, I. V. Golubev**

Krasnoyarsk State Agrarian University,
 90, Mira prospekt, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation
 E-mail: jannetta-83@mail.ru

Patent research has been carried out and new universal small-sized equipment combining the performance of working operations for the production of pine nuts in a single technological flow has been developed. Physical and technical parameters of pine nut seeds are defined, the limiting sizes of pine nuts are: in length: large from 9.1 mm and above, medium from 7.1 to 9.0 mm, small – less than 7.0 mm. The main physical and geometrical parameters of pine nuts used for the development and design of technological equipment for complex mechanization of work operations were determined experimentally.

Keywords: technology, equipment, pine nuts, sorting, calibration, physical and technical parameters.

ВВЕДЕНИЕ

Кедровые орехи в перечне освоенных дикорастущих видов имеют особое значение благодаря ценному химическому составу и товарному потенциалу. По оценкам специалистов, средний ежегодный биологический урожай кедровых орехов с территории Сибири и Дальнего Востока составляет порядка 1 млн т, в наиболее урожайные годы достигает 1,6 млн т. Более 90 % этих ресурсов сосредоточено в Западной и Восточной Сибири [1; 2].

Анализ литературных источников по заготовке и промышленной переработке кедрового ореха свидетельствует, что фактическое использование их природных ресурсов отечественными предприятиями в настоящее время не превышает 10–30 % [2; 3].

Учитывая, что кедровые сосны произрастают преимущественно на территории России, а кедровое масло и другие продукты переработки орехов пользуются высоким спросом, задачи повышения эффективности использования орехов, основанные на исследовании потребительских свойств и улучшении товарного ка-

чества продуктов их переработки, приобретают важное научное и практическое значение [4].

Одна кедровая шишка содержит от 30 до 150 орешков. 100 грамм орехов (семян) удовлетворяют суточную потребность человеческого организма в аминокислотах (Горохов, 1950). Кедровый орехи содержат витамины, а также макро и 13 микроэлементы: железо, йод, магний, марганец, калий, кальций, фосфор, медь, кремний, бор, никель, титан, натрий, серебро, алюминий, молибден [1; 2; 4].

Семена кедрового ореха не содержит холестерина, а содержание белка составляет 44 %, т. е. в 12 раз больше чем в курином мясе. Тем самым употребление в пищу кедрового ореха позволяет компенсировать «белковый голод» тем, кто перешел на вегетарианское питание. Растительный белок кедрового ореха идеально сбалансирован и по составу близок к белкам ткани человека и усваивается организмом на 99 %. Другим фактором, определяющим высокую питательную ценность кедрового ореха, является то, что кедровый орех содержит практически все незаменимые

аминокислоты, полиненасыщенные жирные кислоты, витамины: А, В, С, Д, Е, Р [1].

Физико-технические свойства семян являются характерными для каждой культуры и связаны с их анатомией, морфологией, химическим составом. К физико-техническим свойствам единичных семян относятся геометрическая форма и линейные размеры, и другие свойства. Важны физико-технические параметры кедрового ореха при конструировании машин калибровки кедрового ореха, очистки кедрового ореха от скорлупы, технические параметры оборудования для прессования и фильтрации кедрового масла [5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследований послужили семена сосны кедровой сибирской, произрастающей на территории Красноярского края в соответствии ГОСТ 31852–2012 (ISO 6756:1984) «Орехи кедровые очищенные. Технические условия» [6].

Семена сосны кедровой сибирской бескрылые, крупные, коричневого цвета, разных оттенков, имеют толстую твердую скорлупу, тонкую внутреннюю оболочку (плёнку) и белое маслянистое ядро, внутри которого находится зародыши. Форма семян сосны кедровой сибирской удлиненная. В этом случае характеристиками семян являются длина, ширина и толщина. Размер семян – признак неустойчивый, зависит от возраста дерева, условий и места его произрастания, погоды в период вызревания, места шишки в кроне и семени в шишке [5].

Предельные размеры семян сосны кедровой сибирской по длине следующие: крупные от 9,1 мм и выше, средние от 7,1 до 9,0 мм, мелкие – менее 7,0 мм. Технология заготовки семян сосны кедровой сибирской представлена на рис. 1.

Анализ серийно выпускаемого оборудования показал, что в основном реализации в практики технологической схемы, представленной на рис. 1 применяются отдельные виды оборудования в последовательности выполнения рабочих операций, это дробление кедровых шишек, различные сита для очистки кедрового ореха от дробленой массы, а также оборудование для калибровки и сортировки по геометрическим размерам ореха.

Целью исследования является проведение патентных исследований по информационным базам России и зарубежных стран для разработки нового универсального оборудования совмещающего выполнение рабочих операций по производству кедрового ореха в едином технологическом потоке, универсальном комбинированном оборудовании и на одном рабочем месте.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам выполненных патентных исследований была разработана кинематическая схема нового универсального оборудования представленного на рис. 2, на которое был получен патент РФ № 2122334 «Устройство для извлечения из шишек кедровых орехов, их очистки и сортировки» [7].

По результатам экспериментальных исследований на изготовленном опытно образце по кинематической схеме, представленной на рис. 2, показали, что оборудование металлоемко, имеет большие габаритные размеры, и длительный рабочий процесс по времени при производстве кедрового ореха. Проведенные дополнительные патентные исследования позволили разработать новую конструкцию технологического оборудования, кинематическая схема которого приведена на рис. 3, на которую был получен патент РФ № 2695870 «Устройство для калибрования семян растительного происхождения» [8].



Рис. 1. Технология заготовки семян сосны кедровой сибирской

Выполненные экспериментальные исследования, проведенные на опытно образце оборудования по получению кедрового ореха показали, что разработанная новая конструкция оборудования имеет большие преимущества по сравнению с серийно выпускаемым и по сравнению ранее разработанного оборудования по патенту РФ № 2122334. Результаты исследования в статье представлены по экспериментальным исследованиям применительно к технологическому оборудованию, изготовленному по патенту РФ № 2695870.

Анализ статистических данных по измерению длины кедрового ореха показал, что распределение соответствует следующей гистограмме, приведенной на рис. 4.

Исследования физико-технических параметров кедрового ореха производили путем замера геометрических и весовых параметров ореха. Была обследована партия ореха, состоящая из 100 штук. Результаты геометрических и весовых замеров представлены в табл. 1.

В результате обработки собранного аналитического материала были определены основные физико-геометрические параметры кедрового ореха, используемые для разработки и проектирования технологического оборудования для комплексной механизации выполнения рабочих операций. Результаты обработки собранного аналитического материала приведены в табл. 2.

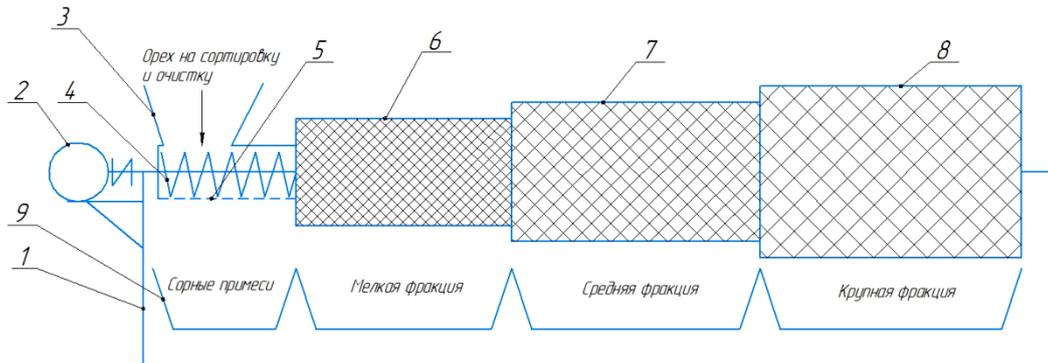


Рис. 2. Кинематическая схема нового универсального оборудования для извлечения из шишек кедровых орехов, их очистки и сортировки:

1 – опора; 2 – привод; 3 – бункер сырья; 4 – подающий шнек; 5 – сито очистки от примесей; 6 – барабан отделения мелкой фракции; 7 – барабан отделения средней фракции; 8 – барабан отделения крупной фракции; 9 – емкости сбора продуктов калибрования

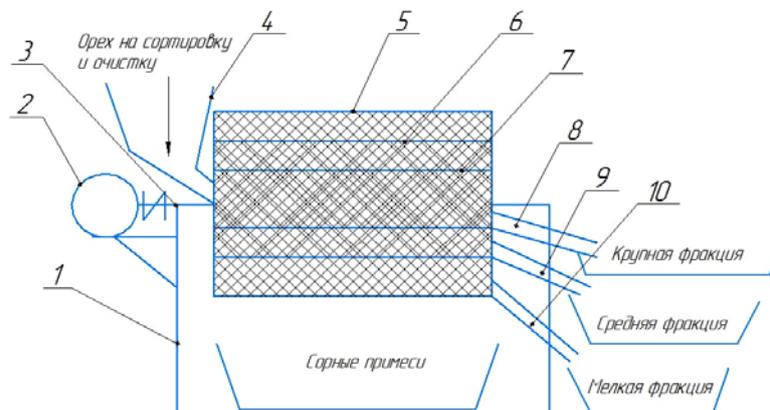


Рис. 3. Кинематическая схема устройства для калибрования семян кедрового ореха:

1 – опора; 2 – привод; 3 – приводной вал; 4 – бункер сырья; 5 – барабан сбора мелкой фракции; 6 – барабан сбора средней фракции; 7 – барабан сбора крупной фракции; 8 – лоток схода крупной фракции; 9 – лоток схода средней фракции; 10 – лоток схода мелкой фракции



Рис. 4. Анализ статистических данных длины кедрового ореха

Таблица 1
Результаты геометрических и весовых замеров

№ опыта	Длина ореха, мм	Ширина ореха, мм	Масса ореха, г	Длина зерна, мм	Ширина зерна, мм	Масса зерна, г	Масса скорлупы, г
1	10,20	4,60	0,188	9,20	3,20	0,079	0,109
2	9,10	7,30	0,241	8,30	4,70	0,104	0,137
3	9,30	6,70	0,320	7,20	4,30	0,154	0,166
...
...
100	8,10	5,40	0,169	6,30	3,70	0,073	0,096

Таблица 2
Результаты обработки аналитических материалов

Показатель	Значение		
	В среднем	Min	Max
Масса 100 орешек, г	0,243	0,164	0,385
Масса 100 ядер, г	0,106	0,068	0,182
Масса скорлупы, г	0,135	0,034	0,196
Ширина ореха, мм	5,99	4,30	7,40
Ширина ядра, мм	3,92	2,80	4,90
Длина ореха, мм	9,19	6,20	13,20
Длина ядра, мм	7,79	5,90	12,10

Результаты обработки аналитического материала приведенного в табл. 2 показали, что средняя масса 100 орехов равна 0,243 г. при $M_{\min} = 0,164$ г., а $M_{\max} = 0,385$ г. Средняя масса 100 кедровых ядер равна 0,106 г при $M_{\min} = 0,068$ г, а $M_{\max} = 0,182$ г. Средняя масса скорлупы 100 орехов равна 0,135 г при $M_{\min} = 0,034$ г, а $M_{\max} = 0,196$ г. Средняя ширина ореха равна 5,99 мм при $Ш_{\min} = 4,30$ мм, а $Ш_{\max} = 7,40$ мм. Средняя ширина ядра 3,92 мм при $Ш_{\min} = 2,80$ мм, а $Ш_{\max} = 4,90$ мм. Средняя длина ореха 9,19 мм при $Д_{\min} = 6,20$ мм, а $Д_{\max} = 13,20$ мм. Средняя длина ядра 7,79 мм при $Д_{\min} = 5,90$ мм, а $Д_{\max} = 12,10$ мм. Семена кедрового ореха имеют большой разброс по всем геометрическим параметрам. При проектировании новых машин и оборудования необходимо учитывать выполненные исследования и закладывать в технологию переработки калибрования кедрового ореха.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены патентные исследования и разработано новое универсальное малогабаритное оборудование совмещающее выполнение рабочих операций по производству кедрового ореха в едином технологическом потоке. Выполнены экспериментальные исследования на опытном образце оборудования по получению калиброванного кедрового ореха. Результаты эксперимента показали, что разработанная новая конструкция оборудования по патенту РФ № 2695870 имеет большие преимущества по сравнению с серийно выпускаемым и ранее разработанным оборудованием по патенту РФ № 2122334. Проведены исследования физико-технических параметров семян кедрового ореха, результаты которых позволили установить следующие предельные размеры семян сосны кедровой сибирской по длине: крупные от 9,1 мм и выше, средние от 7,1 до 9,0 мм, мелкие – менее 7,0 мм. Определены основные физико-геометрические параметры кедро-

вого ореха, используемые для разработки и проектирования технологического оборудования для комплексной механизации выполнения рабочих операций и установлено что средняя масса 100 орехов равна 0,243 г, средняя масса 100 кедровых ядер равна 0,106 г, средняя масса скорлупы 100 орехов равна 0,135 г, средняя ширина ореха равна 5,99 мм, средняя ширина ядра 3,92 мм, средняя длина ореха 9,19 мм, средняя длина ядра 7,79 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Васильев А.А., Будаев Ю.С., Азаров Б.М. Пищевая ценность ореха кедрового и направления его использования в кондитерской и хлебопекарной промышленности. Биохим. Улан-Удэ, 1995. С. 48–50.
2. Ефремов А.А. Перспективы малотоннажной переработки кедровых орехов в продукты пищевого и технического назначения. Москва, 2009. С. 83–86.
3. Лизунова В.В. Кедровые орехи как промышленное масляное сырье. Москва, 2008. 23 с.
4. Невзоров В.Н. Техника и технология заготовки кедрового ореха. Красноярск, 1996. 38 с.
5. Трепаков М. Р. Исследование физико-механических свойств орехов кедрового и совершенствование способов их переработки : автореф. дис. канд. техн. наук. Москва, 1998. 25 с.
6. ГОСТ 31852–2012. Орехи кедровые очищенные. Москва : Издательство стандартов, 2014.
7. Пат. 2122334 Российская Федерация Устройство для извлечения из шишек кедровых орехов, их очистки и сортировки / В.Н. Невзоров, И.В. Голубев, Е.И. Максимов ; заявл. 22.05.1997, опубл. 27.11.1998. 5 с.
8. Пат. 2695870 Российская Федерация Устройство для калибрования семян растительного происхождения / В.Н. Невзоров, Д.С. Безъязыков, И.В. Мацкевич, М.А. Янова; заявл. 24.10.2018, опубл. 29.07.2019. 9 с.

REFERENCES

1. Vasiliev A.A., Budaev Y.S., Azarov B.M. Nutritional value of Siberian pine nut and directions of its use in confectionery and bakery industry. Biochem. Ulan-Ude, 1995. P. 48–50.
2. Efremov A.A. Prospects of low-tonnage processing of pine nuts in the products of food and technical purpose. Moscow, 2009. C. 83–86.
3. Lizunova V.V. Pine nuts as an industrial oil-bearing raw material. Moscow, 2008. 23 p.
4. Nevzorov V.N. Technique and technology of pine nut harvesting. Krasnoyarsk, 1996. 38 p.
5. Trepakov M.R. Research of physical and mechanical properties of Siberian pine nuts and improvement of methods of their processing: Ph. 25 c.
6. GOST 31852–2012. Peeled pine nuts. Moscow : Publishing house of standards, 2014.
7. Pat. 2122334 Russian Federation Device for extraction of pine nuts from cones, their cleaning and sorting / V.N. Nevzorov, I.V. Golubev, E.I. Maksimov ; application. 22.05.1997, publ. 27.11.1998. 5 p.
8. Pat. 2695870 Russian Federation Device for calibration of seeds of plant origin / V.N. Nevzorov, D.S. Bez'yazikov, I.V. Matskevich, M.A. Yanova; application. 24.10.2018, publ. 29.07.2019. 9 p.

© Невзоров В. Н., Кох Ж. А.,
Мацкевич И. В., Голубев И. В., 2022

Поступила в редакцию 10.06.2022
Принята к печати 01.09.2022

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕДРОВОГО МАСЛА

В. Н. Невзоров, Ж. А. Кох, И. В. Мацкевич, В. Н. Холопов

Красноярский государственный аграрный университет
Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, просп. Мира, 90
E-mail: jannetta-83@mail.ru

Кедровое масло, широко используется в питании жителями Сибири и Дальнего Востока, служит источником комплекса полиненасыщенных жирных кислот семейства ω - 3 и 6. Кедровое жирное масло является конечным продуктом процесса прессования и в тоже время может являться сырьём для других производств. Установлено, что разработанная технология двухэтапного холодного прессования кедрового ореха обеспечивает увеличение выхода кедрового масла и составляет 27,87 %. Проведен сравнительный анализ физико-химических показателей жирного кедрового масла, полученного холодным способом двукратным прессованием и установлено, что полученное жирное кедровое масло соответствует требованиям нормативной документации и обеспечивает увеличение общего выхода кедрового масла по сравнению с общепринятой технологией на 16,87 % и обосновывает использование двухэтапного холодного прессования на базе нового технологического оборудования с использованием шнекового и гидравлического прессов.

Ключевые слова: технология, оборудование, кедровый орех, жирное кедровое масло, холодный отжим, двухэтапное холодное прессование.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 5, P. 444–449

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY AND EQUIPMENT CEDAR OIL PRODUCTION

V. N. Nevzorov, Zh. A. Koch, I. V. Matskevich, V. N. Kholopov

Krasnoyarsk State Agrarian University,
90, Mira prospekt, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation
E-mail: imatskevichv@mail.ru

Cedar oil, widely used in the diet of the inhabitants of Siberia and the Far East, is a source of a complex of polyunsaturated fatty acids of the ω - 3 and 6 family. Cedar fatty oil is the final product of the pressing process and at the same time can be a raw material for other productions. It has been established that the developed technology of two-stage cold pressing of cedar nut provides an increase in the yield of cedar oil and amounts to 27.87 %. The comparative analysis of physico-chemical parameters of fatty cedar oil obtained by cold pressing by two-stage method has been carried out. It has established that the obtained fatty cedar oil meets the requirements of normative documentation and provides an increase in the total yield of cedar oil in comparison with the conventional technology by 16.87 % and substantiates the use of two-stage cold pressing based on new technological equipment with the use of screw and hydraulic presses.

Keywords: technology, equipment, cedar nut, fatty cedar oil, cold pressing, two-step cold pressing.

ВВЕДЕНИЕ

Кедровое масло производится из ядер кедрового ореха и относится к жирным маслам получаемое различными методами, в том числе методом холодного отжима. Для производства кедрового жирного масла используются орехи, извлекаемые из шишек сосны (семейство *Pinaceae*, *Pinus* род), с 29 известными в настоящее время съедобными видами. Продукция, получаемая из кедрового ореха, широко применяется в настоящее время в фармацевтической, косметической и пищевой промышленности. Основным компонентом ядер кедровых орехов являются липиды, среднее содержание которых составляет от 56 до 63 %

(в пересчёте на абсолютно сухое вещество), что сопоставимо с содержанием масла в высокомасличных растениях (подсолнечник, арахис, масличная пальма) и орехоплодных (грецкий орех, фундук, фисташка). Остальная часть состоит из воды, растворимых углеводов, минеральных веществ, таких как калий, фосфор и магний. Хотя его обычно называют «орехом», на самом деле он принадлежит к классу «семян», поскольку содержит съедобную часть (зародыш), окружённую твердой оболочкой [1–5].

При хранении кедрового ореха в скорлупе, он может храниться в течение длительного времени без каких-либо повреждений при регламентируемой

температуре и влажности, без скорлупы орехи быстро портятся и прогорают. Скорлупа кедровых орехов является очень подходящим сырьем для производства пористого углерода благодаря содержанию в ней лигнина и целлюлозы до 40 %, низкой зольности, высокой твердости и содержанию связанного углерода. Липидный комплекс ядер семян сосны кедровой сибирской представлен запасными и структурными липидами, который представлен в табл. 1 [2; 7].

Таблица 1
Фракционный состав липидов кедровых орехов

Фракция липидов	Массовая доля, % на 100 г жира
Триглицериды	78,8
Диглицериды	2,7
Моноглицериды	2,1
Фосфолипиды	6,5
Свободные жирные кислоты	1,1
Стерины	3,7
Тритерпеновые спирты	2,1
Неидентифицированные фракции	3,1

Анализ табл. 1 показывает, что липиды кедрового ореха в основном представлены триглицеридами 78,8 % и фосфолипидами 6,5 %.

Масло кедрового ореха в основном состоит из ненасыщенных жирных кислот, таких как пальмитиновая кислота, стеариновая кислота, олеиновая кислота, линолевая кислота, эйкозановая кислота и линоленовая кислота. Линоленовая кислота известна как активное соединение или эталонный материал кедрового масла. Линолевая кислота является наиболее распространенной жирной кислотой в диапазоне 40–60 % от общего количества жирных кислот и преобладающей полиненасыщенной жирной кислотой в кедровом масле. Жирнокислотный состав масла, наряду с фракционным составом, является показателем, отражающим степень биологической ценности продукта. Жирнокислотный состав кедрового масла представлен в табл. 2 [2; 6; 8].

Таблица 2
Жирнокислотный состав кедрового масла

Кислота	Массовая доля, %
Насыщенные, в том числе:	7,70
Пальмитиновая	4,25
Стеариновая	2,95
Мононенасыщенные, в том числе:	24,40
Олеиновая	22,70
Полиненасыщенные, в том числе:	67,90
Линолевая	46,10
α -Линоленовая	0,23
γ -Линоленовая	20,10

Анализ табл. 2 показывает что, жирнокислотный состав кедрового масла представлен суммарным составом полиненасыщенных жирных кислот (67,90 %), мононенасыщенных жирных кислот (24,40 %) и на-

сыщенных жирных кислот (7,70 %). Степень проявления биологической активности кедрового масла напрямую зависит от количества индивидуальных ПНЖК, фосфолипидов, токоферолов, стериннов. Характерное сочетание эссенциальных и биологически активных веществ в кедровом масле открывает широкие перспективы его использования. Учитывая промышленный объем содержания жирного масла в кедровом орехе и его широкое применение в настоящее время, были проведены научные исследования по увеличению объемов выхода кедрового жирного масла по ресурсосберегающей технологии на малогабаритном оборудовании в отдаленных местах по месту произрастания растительного сырья. Кедровое масло, широко используемое в питании жителями Сибири и Дальнего Востока, служит источником комплекса полиненасыщенных жирных кислот семейства омега 6 – линолевой и линоленовой. Эта кислота обнаружена только в кедровых орехах, и её наличие служит показателем подлинности масла [4, 8, 9].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являются семена *Pinus sibirica* (кедровые орехи). Семена сосны кедровой сибирской представляют собой бескрылые, коричневого цвета, разных оттенков орешки, имеющих различную форму (круглая, удлинённая, яйцевидная и др.). Орешки имеют толстую твёрдую роговидную внешнюю плодовую оболочку (скорлупу или лужгу) и тонкую внутреннюю оболочку (плёнку), которая окружает белое маслянистое ядро, внутри которого находится зародыш и эндосперм.

Целью работы является совершенствование технологии производства жирного масла из ядра кедрового ореха с использованием нового технологического оборудования для двухэтапного холодного прессования.

В результате поставленной цели решались следующие задачи исследования:

1. Совершенствование технологии двухэтапного холодного прессования кедрового ореха для увеличения выхода кедрового масла.
2. Разработка нового технологического оборудования для холодного прессования ядер кедрового ореха с использованием шнекового и гидравлического прессов.
3. Проведение экспериментальных работ и обработка полученных результатов исследований по совершенствованной технологии двухэтапного холодного прессования.

Последовательность методов исследования объемов выхода по разработанной технологии комплексной переработки кедрового ореха с получением жирного кедрового масла представлена на рис. 1.

Метод практической реализации производственного цикла, представленный на рис. 1 реализован путем разработки нового технологического оборудования, кинематическая схема которого приведена на рис. 2, интеллектуальная собственность которой защищена патентом Российской Федерации № 192240 U1 [10].

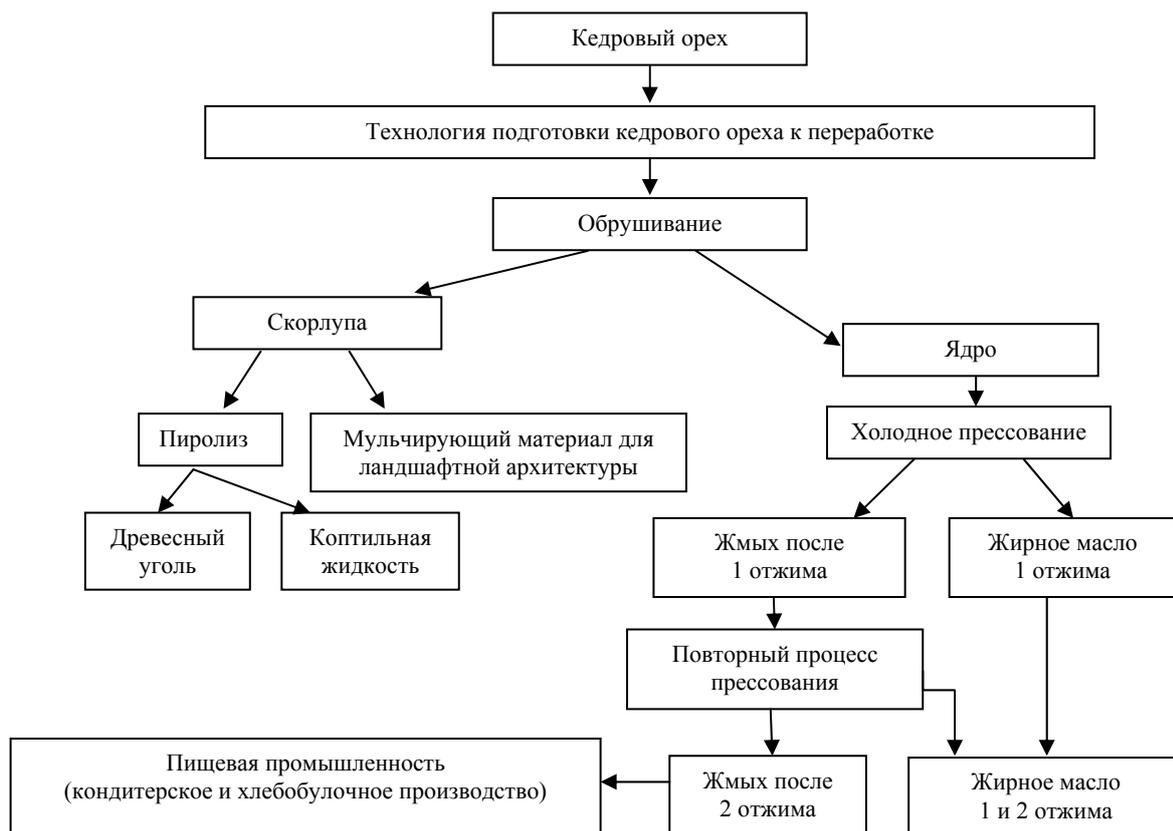


Рис. 1. Схема производственного цикла производства жирного кедрового масла

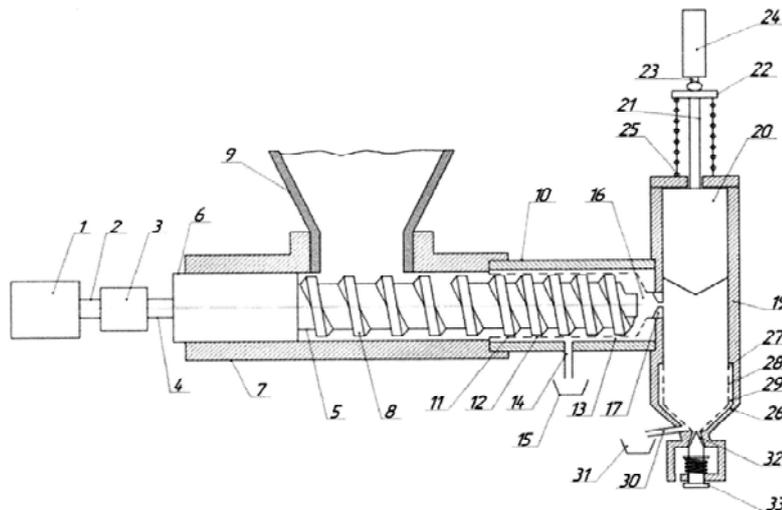


Рис. 2. Кинематическая схема установки для холодного прессования ядра кедрового ореха

Кинематическая схема установки для холодного прессования ядра кедрового ореха состоит из гидромотора 1, соединенного валом 2 с гидрораспределителем 3, установленным на приводном валу 4 шнека 5. Шнек 5 установлен в опоре 6 корпуса 7 и имеет винтовую навивку 8. На корпусе 7 установлен загрузочный бункер 9 для загрузки масличного сырья, и корпус 7 неподвижно соединен с корпусом первичного прессования 10, в котором установлено решето 11 с отверстиями 12, и выполнен канал 13 для выхода масла через патрубок 14 в маслосборник 15. На выходе из корпуса первичного прессования 10 для создания давления в камере первичного прессования 16 установ-

лено сменное запорное кольцо 17 с отверстиями 18. Корпус первичного прессования 10 неподвижно соединен с корпусом вторичного прессования 19, в верхней части которого установлен конусообразный плунжер 20 соединенный штоком 21 через опорную пяту 22 со штоком 23 гидроцилиндра 24. Между корпусом вторичного прессования 19 и опорной пятой 22 установлена пружина растяжения 25. Нижняя часть корпуса вторичного прессования 19 выполнена в форме конуса 26, в стенках которого установлено решето 27 с отверстиями 28 для выхода масла по каналу 29 через патрубок 30 в маслосборник 31, а для выхода жмыха в нижней части конуса 26 выполнено отвер-

стие 32 с установленным регулировочным механизмом 33. Процесс извлечения жирного кедрового масла холодного отжима на опытном образце универсального масло-пресса происходит в соответствии с разработанной технологией двухэтапного холодного прессования.

Повышение производительности и улучшение качества отжима жирного кедрового масла достигается за счет конструкции устройства, корпус с загрузочным бункером для сырья и корпус первичного прессования, соединенный с корпусом вторичного прессования отверстием для прохода жмыха. В корпусе первичного прессования установлен шнек и решето с отверстиями для выхода масла через масляный канал по патрубку в маслосборник. В корпусе вторичного прессования установлен конусный плунжер, соединенный с гидроцилиндром. Корпус вторичного прессования в нижней части выполнен конусообразным и имеет решето с отверстиями и масляный канал для выхода масла в маслосборник. Для регулирования степени сжатия жмыха и отжима масла в корпусе вторичного прессования установлено регулировочное устройство.

Определение кислотного числа проводили согласно ГОСТ 31933–2012 «Масла растительные. Методы определения кислотного числа» [11]. Определение кислотного числа заключается в титровании навески жира (растворенной в нейтрализованной смеси спирта с диэтиловым эфиром) спиртовым или водным раствором гидроксида калия в присутствии фенолфталеина. Органолептические показатели масла определяли согласно ГОСТ 5472–50 «Масла растительные. Определение запаха, цвета и прозрачности» [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании полученных результатов проведенных экспериментальных исследований по изучению метода холодного прессования ядер кедрового ореха с использованием совершенствованной технологии двухэтапного прессования кедрового ореха и разработка нового технологического оборудования для холодного прессования ядер кедрового ореха с использованием шнекового и гидравлического прессов было определено, что вид прессующего устройства

влияет на выход кедрового масла. В основу технологии двукратного прессования холодным способом положено использование двух ступеней прессования. Материал перерабатывается в максимально щадящем режиме, поэтому полученное жирное кедровое масло обладает всеми свойствами масла холодного отжима. Выход жирного кедрового масла первого отжима с использованием шнекового пресса из ядра кедрового ореха приведен в табл. 3.

После первого этапа холодного прессования образующийся в шнековом прессе жмых первого отжима по загрузочному желобу поступает в силовой цилиндр гидравлического пресса для второго этапа прессования. Работа гидравлической системы осуществляется при постепенном увеличении давления в системе и постепенном воздействии поршня гидравлического пресса на прессуемый жмых ядра кедрового ореха. Извлечение жирного кедрового масла начинается при давлении 7 МПа. Выход жирного кедрового масла при втором отжиме жмыха после первого отжима ядра кедрового ореха гидравлическим прессованием представлен в табл. 4.

По результатам анализа табл. 3 и 4 выход жирного кедрового масла первого отжима с использованием шнекового пресса ниже, чем выход кедрового масла после прохождения силового цилиндра гидравлического пресса. При переработке жмыха, полученного при работе прессующего шнека, наблюдается увеличение времени гидравлического воздействия на жмых и показателя конечного давления в гидросистеме. Увеличение выхода масла при переработке жмыха, полученного при работе прессующего шнека, обосновано меньшим количеством выхода масла при первом этапе прессования и повышенным содержанием масла в жмыхе.

Кедровое жирное масло является конечным продуктом процесса прессования и в тоже время может, является сырьём для других производств. В связи с этим необходимо знать органолептические и физико-химические характеристики масла, необходимые для проведения технологического процесса. В таблице 5 представлены физико-химические показатели полученного в ходе проведенного эксперимента жирного кедрового масла.

Таблица 3

Выход жирного кедрового масла первого отжима с использованием шнекового пресса из ядра кедрового ореха

Этапы отжима	Количество ядра кедрового ореха, кг	Выход масла, %	Выход жмыха, %	Температура, °С	
				масла	жмыха
<i>Первый отжим</i> Переработка ядра кедрового ореха в шнековом прессе	100	10,75	89,25	38,9	53,4

Таблица 4

Выход жирного кедрового масла при втором отжиме жмыха первого отжима гидравлическим прессованием

Этапы отжима	Количество жмыха, кг	Выход масла, %	Выход жмыха, %	Температура, °С	
				масла	жмыха
<i>Второй отжим</i> Прессование жмыха в гидравлическом цилиндре	89,25	17,12	72,13	40,6	54,6

Таблица 5
Физико-химические показатели жирного кедрового масла

Физико-химические показатели	Нерафинированное масло, холодное прессование		
	ОСТ 3670	С использованием совершенствованной технологии двухэтапного прессования	
		Первого отжима	Второго отжима
Цвет	светло-желтый	светло-желтый	золотисто-желтый
Запах и вкус	Свойственный кедровому маслу холодного прессования, без посторонних запаха или вкуса, а также привкуса горечи	Свойственный кедровому маслу холодного прессования, без посторонних запаха или вкуса, а также привкуса горечи	
Прозрачность	После отстаивания в течение 24 ч при температуре 20 °С масло должно быть прозрачным	После отстаивания в течение 24 ч при температуре 20 °С масло прозрачное	
Неомыляемые вещества, %	не более 1	0,25	
Показатель преломления (при 20 °С)	0,927–0,930	0,928	0,930
Кислотное число, мг КОН/г	не более 1,0	0,7	0,9
Йодное число, % йода	148–165	149	152
Число омыления	188–194	190	191
Выход жирного кедрового масла, %	11	10,75	17,12

Анализ табл. 5 показывает что проведенный сравнительный анализ физико-химических показателей жирного кедрового масла полученных экспериментальных данных с данными приведенными в нормативной документации представленные в табл. 5, позволяет сделать вывод о том, что полученное холодным способом двукратным прессованием кедровое масло соответствует требованиям нормативной документации и обеспечивает увеличение общего выхода жирного кедрового масла на 16,87 % по сравнению с общепринятой технологией по извлечению жирного кедрового масла холодным способом прессования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования было установлено, что технология двухэтапного холодного прессования кедрового ореха разработана с использованием патента РФ № № 192240 U1 (Гидравлический пресс для масличного сырья), что обеспечивает увеличение выхода кедрового масла и составляет 27,87 %. Проведен сравнительный анализ физико-химических показателей жирного кедрового масла, полученного холодным способом двукратным прессованием, установлено, что полученное жирное кедровое масло соответствует требованиям нормативной документации и обеспечивает увеличение общего выхода кедрового масла по сравнению с общепринятой технологией на 16,87 % и обосновывает использование шнекового и гидравлического прессов, так как вид прессующего устройства влияет на выход кедрового масла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Субботина М.А., Т Лобова.В. Совершенствование технологии подготовки кедровых орехов к извлечению масла // Масла и жиры. 2016. № 1-2. С. 28–30.
2. Субботина М.А. Биохимический состав и технологические свойства семян сосны сибирской. Кемерово, 2005. 140 с.

3. Судачкова Н.Е. Семена кедрового сибирского. Новосибирск, 1985. 129 с.

4. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 024/2011 «Технический регламент на масложировую продукцию». Текст: непосредственный.

5. Забродина С. В., Гончаров Д. А., Ефремов А. А. Научные подходы к комплексной переработке недревесной продукции сосны сибирской (кедра) // Вестник КрасГАУ. 2006. № 10. С. 318–327.

6. Ефремов А. А., Ефремов Е. А. Инновационные продукты при комплексной переработке кедровой сосны сибирской // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья : материалы VII Всероссийской конференции с международным участием, Барнаул, 24–28 апреля 2017 года. Барнаул : Алтайский государственный университет, 2017. С. 151–153.

7. Веревкин И. О., Долголюк И. В. Подготовка семян сосны сибирской кедровой к извлечению масла // Пищевые инновации и биотехнологии : сборник тезисов VIII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Кемерово, 25–27 мая 2020 года / под общ. ред. А. Ю. Просекова. Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2020. С. 20–21.

8. Ефремов А. А., Мюнх С., Родионов Е. Т. Основные закономерности получения, физико-химические и потребительские свойства кедрового масла // Питание в профилактике социально-значимых заболеваний : Материалы Симпозиума с международным участием, Красноярск, 24–25 ноября 2009 года. Красноярск : Краснояр. гос. мед. ун-т им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, 2009. С. 54–56.

9. Холопов В. Н., Невзоров В. Н., Лабзин В. А. Концепция машины для заготовки и транспортировки лесного недревесного растительного сырья // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. 31, № 1-2. С. 149–154.

10. Пат. 192240 U1 Российская Федерация. Гидравлический пресс для масличного сырья / В. Н. Нев-

зоров, В. Н. Холопов, И. В. Мацкевич, А. В. Коломейцев; заявл. 01.07.2019, опублик. 09.09.2019. 6 с.

11. ГОСТ 31933–2012 «Масла растительные. Методы определения кислотного числа». Текст : непосредственный.

12. ГОСТ 5472–50 «Масла растительные. Определение запаха, цвета и прозрачности». Текст : непосредственный.

REFERENCES

1. Subbotina M.A., Lobova T.V. Improvement of pine nuts preparation technology for oil extraction // *Oils and Fats*. 2016. № 1-2. С. 28–30.

2. Subbotina M.A. Biochemical composition and technological properties of Siberian pine seeds. Kemerovo, 2005. 140 с.

3. Sudachkova N.E. Seeds of Siberian pine. Novosibirsk, 1985. 129 с.

4. Technical Regulation of the Customs Union TR CU 024/2011 “Technical Regulations on Oil and Fat Products”. Text: direct.

5. Zabrodina S. V., Goncharov D. A., Efremov A. A. Scientific approaches to integrated processing of non-timber products of Siberian pine (cedar) // *Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2006. № 10. С. 318–327.

6. Efremov A. A., Efremov E. A. Innovative products in the complex processing of Siberian pine // *New advances in chemistry and chemical technology of plant raw materials : materials of the VII All-Russian Conference with international participation, Barnaul,*

April 24–28, 2017. Barnaul: Altai State University, 2017. С. 151–153.

7. Verevkin I. O., Dolgolyuk I. V. Preparation of Siberian cedar pine seeds for oil extraction // *Food innovation and biotechnology : collection of theses of the VIII International Scientific Conference of students, graduate students and young scientists, Kemerovo, 25–27 May 2020 / Under general ed. by A. Prosekov. Kemerovo: Kemerovo State University, 2020. С. 20–21.*

8. Efremov A. A., Muench S., Rodionov E. T. Basic regularities of obtaining, physical, chemical and consumer properties of cedar oil // *Nutrition in the prevention of socially significant diseases : Proceedings of the Symposium with international participation, Krasnoyarsk, November 24–25, 2009. V.F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Medical University, 2009. С. 54–56.*

9. Kholopov V. N., Nevzorov V. N., Labzin V. A. The concept of a machine for harvesting and transportation of forest non-timber plant raw materials // *Coniferous boreal zone*. 2013. Т. 31. № 1-2. С. 149–154.

10. Pat. 192240 U1 Russian Federation. Hydraulic press for oil-bearing raw material / V. N. Nevzorov, V. N. Kholopov, I. V. Matskevich, A. V. Kolomeitsev; Application. 01.07.2019, publ. 09.09.2019. 6 с.

11. GOST 31933–2012 “Vegetable oils. Methods of determination of the acid number”. Text : direct.

12. GOST 5472–50 “Vegetable oils. Determination of odor, color and transparency”. Text : direct.

© Невзоров В. Н., Кох Ж. А.,
Мацкевич И. В., Холопов В. Н., 2022

Поступила в редакцию 08.07.2022
Принята к печати 01.09.2022

АВТОРСКАЯ ССЫЛКА

- Бабич А. Н.**, см. Глинушкин А. П.
Барлекова П. Д. см. Вайс А. А.
Братилова Н. П. Влияние субстрата на рост и развитие сеянцев сосны кедровой сибирской с закрытой корневой системой, с. 347–352
Братилова Н. П., см. Вайс А. А.
Буторова О. Ф., см. Матвеева Р. Н.
Вайс А. А. Горизонтальная форма крон и деревьев в кедровых плантациях пригородной зоны города Красноярска, с. 353–360
Варенцова Е. Ю., см. Николаева М. А.
Глинушкин А. П. Влияние условий произрастания сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) на процессы фотосинтеза и транспирации, с. 361–368
Голубев И. В., см. Невзоров В. Н.
Данилин И. М., см. Усольцев В. А.
Думачева Е. В., см. Глинушкин А. П.
Ибе А. А., см. Щерба Ю. Е.
Иванова Ю. Д., см. Суховольский В. Г.
Ковалев А. В., см. Суховольский В. Г.
Коновалова Д. А., см. Братилова Н. П.
Копченко Д. Е., см. Щерба Ю. Е.
Коротков А. А., см. Братилова Н. П.
Кох Ж. А., см. Невзоров В. Н.
Кох Ж. А., см. Невзоров В. Н.
Криворотова А. И. Исследование способов и режимов переработки шишки сосны сибирской при изготовлении декоративного композиционного материала, с. 421–428
Кузнецова Г. В. Межпопуляционная изменчивость размера шишек и массы семян сосны сибирской кедровой (*pinus sibirica* du tour), с. 369–373
Матвеева Р. Н. Исследования по выращиванию сосны кедровой сибирской за многолетний период, с. 374–380
Мацкевич И. В., см. Невзоров В. Н.
Мацкевич И. В., см. Невзоров В. Н.
Межина К. М., см. Николаева М. А.
Невзоров В. Н. Разработка оборудования для калибровки и сортировки кедрового ореха, с. 429–433
Невзоров В. Н. Совершенствование технологии и оборудования производства кедрового масла, с. 434–439
Николаева М. А. Оценка сохранности и состояния *pinus sibirica* du tour в географических культурах Ленинградской области, с. 381–387
Пестовский Е. И., см. Глинушкин А. П.
Сметанников А. П., см. Глинушкин А. П.
Сухих Т. В., см. Щерба Ю. Е.
Суховольский В. Г. Рост насаждений кедровой сосны *pinus sibirica* du tour разных бонитетов: оценка влияния регулирующих факторов, с. 388–394
Танцырев Н. В. Начальная фаза формирования послепожарных горных кедровников на Северном Урале, с. 395–403
Титов Е. В. История выращивания и перспективы плантационного ореховодства кедровых сосен в Восточной Европе, с. 404–409
Усольцев В. А. Прогнозирование биомассы кедровых сосен Северной части Азии при изменении климата, с. 410–414
Федченко А. С., см. Глинушкин А. П.
Хамитов Р. С., см. Глинушкин А. П.
Хамитова С. М., см. Глинушкин А. П.
Холопов В. Н., см. Невзоров В. Н.
Щепордей И. С., см. Усольцев В. А.
Шелер М. А., см. Щерба Ю. Е.
Щерба Ю. Е. Результаты анализа ДНК для генетической идентификации рамет на гибридно-семенной плантации сосны кедровой сибирской, с. 415–420
Эскин В. Д., см. Криворотова А. И.

AUTHOR'S LINK

- Babich A. N.**, see Glinushkin A. P.
Barlekova P. D., see Vais A. A.
Bratilova N. P. The effect of the substrate on the growth and development of seedlings of siberian cedar pine with a closed root system, p. 347–352
Bratilova N. P., see Vais A. A.
Butorova O. F., see Matveeva R. N.
Danilin I. M., see Usoltsev V. A.
Dumacheva E. V., see Glinushkin A. P.
Eskin V. D., see Krivorotova A. I.
Fedchenko E. I., see Glinushkin A. P.
Glinushkin A. P. Influence of the growing conditions of siberian cedar pine (*Pinus Sibirica*) on the processes of photosynthesis and transpiration, p. 361–368
Golubev I. V., see Nevzorov V. N.
Ibe A. A., see Shcherba Iu. E.
Ivanova Yu. D., see Soukhovolsky V. G.
Khamitov R. S., see Glinushkin A. P.
Khamitova S. M., see Glinushkin A. P.
Kholopov V. N., see Nevzorov V. N.
Konovalova D. A., see Bratilova N. P.
Kopchenko D. E., see Shcherba Iu. E.
Korotkov A. A., see Bratilova N. P.
Kovalev A. V., see Soukhovolsky V. G.
Koch Zh. A., see Nevzorov V. N.
Koch Zh. A., see Nevzorov V. N.
Krivorotova A. I. Investigation of methods and modes of processing siberian pine cones in the manufacture of decorative composite material, p. 421–428
Kuznetsova G. V. Interpopulation variability of the size of cones and seed weight of siberian pine (*pinus sibirica* du tour), p. 369–373
Matskevich I. V., see Nevzorov V. N.
Matskevich I. V., see Nevzorov V. N.
Matveeva R. N. Research on the cultivation of siberian cedar pine for a long period, p. 374–380
Mezhina K. M., see Nikolaeva M. A.
Nevzorov V. N. Development of equipment for calibration and sorting of pine nuts, p. 429–433
Nevzorov V. N. Improvement of technology and equipment cedar oil production, p. 434–439
Nikolaeva M. A. Assessment of the preservation and condition of *pinus sibirica* du tour in provenance trials of Leningrad region, p. 381–387
Pestovsky A. S., see Glinushkin A. P.
Shcherba Iu. E. The results of DNA analysis for genetic identification of ramets on a hybrid seed plantation of siberian cedar pine, p. 415–420
Sheller M. A., see Shcherba Iu. E.
Smetannikov A. P., see Glinushkin A. P.
Soukhovolsky V. G. Growth of stands of cedar pine *pinus sibirica* du tour of different growth types: assessment of the influence of regulatory factors, p. 388–394
Sukhikh T. V., see Shcherba Iu. E.
Tantsyrev N. V. The initial phase of the formation of post-fire siberian stone pine mountain forests in the Northern Urals, p. 395–403
Titov E. V. History of cultivation and prospects of planting pine pine nuts in Eastern Europe, p. 404–409
Tsepordey I. S., see Usoltsev V. A.
Usoltsev V. A. Forecasting the biomass of cedar pines in Northern Asia under climate change, p. 410–414
Vais A. A. Horizontal form of crown and trees in cedar plantations of the suburban zone of Krasnoyarsk, p. 353–360
Varentsova E. Yu., see Nikolaeva M. A.

