

ISSN 1993-0135

ХВОЙНЫЕ

БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ



2022

Том XL
Номер 2

<http://www.sibsau.ru>

Красноярск

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

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XL
№ 2

Красноярск
2022

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XL, № 2

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

Выходит 6 раз в год

Главный редактор

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

Ответственный секретарь

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Нимц Петер, профессор (Институт строительных материалов и физики древесины (IfB)

Высшей швейцарской технической школы (ETH), Цюрих, Швейцария)

Огурцов Виктор Владимирович, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)

Онучин Александр Александрович, д.б.н., профессор (ИЛ СО РАН, Красноярск)

Пен Роберт Зусьевич, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)

Рязанова Татьяна Васильевна, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)

Сафин Руслан Рушанович, д.т.н., профессор (Казанский национальный исследовательский
технологический университет, Казань)

Селиховкин Андрей Витимович, д.б.н., профессор (СПбЛТА им. Кирова, Санкт-Петербург)

Стороженко Владимир Григорьевич, д.б.н. (Институт лесоведения РАН, Москва)

Субоч Георгий Анатольевич, д.х.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)

Суховольский Владислав Григорьевич, д.б.н., профессор (ИЛ СО РАН, Красноярск)

Усольцев Владимир Андреевич, д.с.-х.н., профессор (УГЛТУ, Екатеринбург)

Шевелев Сергей Леонидович, д.с.-х.н. профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)

Якубов Харис Галиулович, д.б.н., профессор (МГУ, Москва)

CONIFERS of the BOREAL AREA

Theoretical and Applied Research Journal

Volume XL, № 2

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

Issued 6 times a year

Editor-In-Chief

Dr. Natalia P. Bratilova, Professor

Executive secretary

Dr. Aleksandr A. Korotkov

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

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

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

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

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

Учредитель и издатель

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

Адрес учредителя и издателя

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

Адрес редакции

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

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

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

Подписано в печать 15.04.2022. Дата выхода в свет 22.06.2022. Формат 70×108/8.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 9,3. Уч.-изд. л. 12,4. Тираж 700 экз.
Заказ С 452/22. 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

Безруких В. А., Авдеева Е. В., Коротков А. А., Лигаева Н. А., Кузнецова О. А. Возможности аграрного природопользования бореальной зоны Приенисейской Сибири	101
Белова А. И., Хамитов Р. С., Хамитова С. М., Полякова Е. С. Рост лесных культур ели европейской созданных сеянцами с закрытой корневой системой	109
Выводцев Н. В., Бессонова Н. В., Приходько О. Ю. Закономерности роста насаждений ели в дальневосточном таежном лесном районе	114
Каштальянов П. А., Вайс А. А. Сбег нижней части стволов сосны в условиях Бирюсинского участкового лесничества	121
Попова С. В., Матвеева Р. Н., Ринчинов Б. Б. Изменчивость семян и сеянцев сосны кедровой сибирской с отселектированных деревьев бурятского происхождения	128
Тарасов П. А., Тарасова А. В. Оценка влияния на почву смены сосняков березняками в зеленой зоне Красноярска	135

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Зарипов Ш. Г., Корниенко В. А. Совершенствование управлением процесса сушки лиственничных пиломатериалов	145
Огурцов В. В., Каргина Е. В., Матвеева И. С. Общая постановка задачи оптимизации гибких поставок	153
Юртаева Л. В., Алашкевич Ю. Д. Способ получения микрокристаллической целлюлозы на основе биоповрежденной древесины	158

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Мацкевич И. В., Невзоров В. Н., Кох Ж. А. Исследование процессов дистилляции эфирного масла из древесной зелени можжевельника	164
Пен Р. З., Шапиро И. Л., Амбросович Ю. А., Пен В. Р. Окислительная делигнификация пшеничной соломы: пероксидная варка и щелочная экстракция	168

Авторская ссылка	173
-------------------------------	------------

Contents

BIOLOGY AND ECOLOGY, FORESTRY

Bezrukikh V. A., Avdeeva E. V., Korotkov A. A., Ligaeva N. A., Kuznetsova O. A. Opportunities for agricultural nature management in the boreal zone of the Yenisei Siberia	101
Belova A. I., Khamitov R. S., Khamitova S. M., Polyakova E. S. Growth of european spruce forest crops created by seedlings with a closed root system	109
Vyvodtsev N. V., Bessonova N. V., Prihodko O. Yu. Patterns of growth of spruce stands in the far eastern taiga forest area	114
Kashtalyanov P. A., Vais A. A. Runoff of the lower part of pine trunks in the conditions of Biryusinsky district forestry	121
Popova S. V., Matveeva R. N., Rinchinov B. B. Variability of seeds and seedlings of siberian cedar pine from selected trees of buryat origin	128
Tarasov P. A., Tarasova A. V. Assessment of the impact on the soil of the replacement of pine forests by birch forests in the green zone of Krasnoyarsk	135

TECHNOLOGY OF LOGGING AND MECHANICAL OPERATION OF WOOD

Zaripov Sh. G., Korniyenko V. A. Improving the management of the drying process of larch lumber	145
Ogurtsov V. V., Kargina E. V., Matveeva I. S. General statement of the optimization problem of flexible delivery	153
Yurtayeva L. V., Alashkevich Yu. D. A method for producing microcrystalline cellulose based on bio-damaged wood	158

CHEMICAL PROCESSING TECHNOGY

Matskevich I. V., Nevzorov V. N., Koch Zh. A. Study of essential oil distillation processes from juniper wood herbs	164
Pen R. Z., Shapiro I. L., Ambrosovich Y. A., Pen V. R. Oxidative delignification of wheat straw: peroxide cooking and alkaline extraction	168
Author's link	174

ВОЗМОЖНОСТИ АГРАРНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ

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

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

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

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

Возможности территориальной организации сельскохозяйственного природопользования является инструментом географического анализа региона, который дает возможность обеспечивать устойчивое развитие его фоновых, природообусловленных видов, позволяя учесть природную предопределенность формирования различного вида аграрного природопользования (методами физической географии и ландшафтоведения) и экономические возможности его эффективного функционирования. Анализ сложившихся региональных систем аграрного природопользования (региональный и топологический уровень) позволяет выявить не только особенности их формирования, но и предположить направления рационализации, а в дальнейшем – устойчивого развития в рамках природных и социально-экономических ограничений.

В Приенисейской Сибири хвойной бореальной зоны протянувшийся с севера на юг на 30°, формируются разнообразные зоны от тундры до степей и горных лесов. Природные экологические условия выделенных агроландшафтов благоприятны для производства ранне-, средне- спелых сортов сельскохозяйственных культур: яровой пшеницы, озимой ржи, овца, ячменя и корнеклубнеплодов. В агроландшафтах имеются перспективы расширения сельскохозяйственных возможностей в современных экономических условиях. В статье рассматриваются вопросы организации сельскохозяйственных территорий. Анализ структуры агропотенциала естественных ресурсов позволил выделить своеобразие состава, соотношение отдельных видов и природные предпосылки экономического развития хозяйственного комплекса зоны активного земледелия Приенисейской Сибири. В настоящей работе проанализированы и представлены методологические основы и подходы к оценке агроприродного потенциала территории и аграрного природопользования как эколого-экономической системы. С этой целью рассмотрена проблема территориальной организации аграрного природопользования. Устойчивое развитие Приенисейской Сибири опирается на комплексное развитие трех его составляющих – социальной, экологической и экономической. Важный учет экологического фактора, который определяется как экологический потенциал – резерв возможности территории удовлетворять потребности человека в сельхозпродукции, но противостоять при этом негативному антропогенному воздействию.

Ключевые слова: *территориальная организация, региональные системы аграрного природопользования, активное агроприродопользование, ландшафтная дифференциация, Приенисейская Сибирь, ландшафт, природные зоны.*

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 2, P. 101–108

OPPORTUNITIES FOR AGRICULTURAL NATURE MANAGEMENT IN THE BOREAL ZONE OF THE YENISEI SIBERIA

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

¹Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafiev
89, A. Lebedevoy St., Krasnoyarsk 660049, Russian Federation

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

³Siberian Federal University
79, Svobodnyi prospekt, Krasnoyarsk, 660099, Russian Federation

The possibilities of the territorial organization of agricultural nature management is a tool for geographical analysis of the region, which makes it possible to ensure the sustainable development of its background, nature-conditioned species, allowing to take into account the natural predetermination of the formation of various types of agrarian nature management (methods of physical geography and landscape science) and the economic opportunities for its effective functioning. An analysis of the existing regional systems of agrarian nature management (regional and topological levels) allows us to identify not only the features of their formation, but also to suggest directions for rationalization, and in the future – sustainable development within the framework of natural and socio-economic restrictions. In the Yenisei Siberia of the coniferous boreal zone stretching from north to south for 300, various zones are formed from the tundra to the steppes and mountain forests. The natural ecological conditions of the selected agrolandscapes are favorable for the production of early and mid-ripening varieties of agricultural crops: spring wheat, winter rye, sheep, barley and root crops. In agrolandscapes, there are prospects for expanding agricultural opportunities in today's economic conditions.

The article deals with the organization of agricultural territories. An analysis of the structure of the agro-potential of natural resources made it possible to identify the originality of the composition, the ratio of individual species and the natural prerequisites for the economic development of the economic complex of the zone of active agriculture in the Yenisei Siberia. This paper analyzes and presents the methodological foundations and approaches to assessing the agro-natural potential of the territory and agricultural nature management as an ecological and economic system. For this purpose, the problem of the territorial organization of agrarian nature management is considered. The sustainable development of the Yenisei Siberia is based on the integrated development of its three components – social, environmental and economic. It is important to take into account the environmental factor, which is defined as the ecological potential – the reserve of the territory's ability to satisfy human needs in agricultural products, but at the same time resist the negative anthropogenic impact.

Keywords: Territorial organization, regional systems of agrarian nature management, active agro-environment management, landscape differentiation, Yenisei Siberia, landscape, natural zones.

Возможности территориальной организации сельскохозяйственного природопользования является инструментом географического анализа региона, который дает возможность обеспечивать устойчивое развитие его фоновых, природообусловленных видов, позволяя учесть природную предопределенность формирования различного вида аграрного природопользования (АП) (методами физической географии и ландшафтоведения) и экономические возможности его эффективного функционирования. Анализ сложившихся региональных систем аграрного природопользования (региональный и топологический уровень) позволяет выявить не только особенности их формирования, но и предположить направления рационализации, а в дальнейшем – устойчивого развития в рамках природных и социально-экономических ограничений.

Региональные системы АП формируются в границах физико-географических провинций и выделения крупных ландшафтных комплексов осуществляется наложением широтных ландшафтных зон на систему «азональных» секторов. В результате ландшафтные провинции отражают внутризональные различия и являются крупной частью зональной области, которая обособляется под воздействием аazonальных факторов, рассматриваемых в связи с историей ландшафтов и их генезисом. Смене геолого-геоморфологических условий, как правило, сопутствуют и существенные климатические различия.

Формирование систем аграрного природопользования согласуется с учением о геосистемах В. Б. Сочавы, который рассматривал геосистему «как особый класс управляющих систем; земное пространство всех размерностей, где отдельные компоненты природы находятся в системной связи друг с другом и как определенная целостность взаимодействуют с космической

сферой и человеческим обществом» [6]. Геосистемный подход позволяет выделить границы региональных систем, которые имеют плавающий характер, но функционируют в рамках собственного инварианта развития. Согласно ландшафтно-экологического районирования России по А. Г. Исаченко (2001) территория Приенисейской Сибири расположена в пределах 3-х секторов: Западно-Сибирском, Средне-Сибирском и Южно-Сибирском, каждый из них представлен разным составом зон [5].

Аграрное природопользование развито практически во всех зонах за исключением арктической, субарктической и тундровой, в 2-х последних имеет место оленеводство. Активное АП, по мнению авторов, начинается с южной тайги и подтаежной зоны. К этой зоне условно можно отнести лишь 12 % территории Приенисейской Сибири, где проживает 83,6 % её населения Красноярского края. Лесостепи и степи в земледельческой зоне занимают 42 % территории, где проживает 84 % населения этой зоны. Если посмотреть по секторам, то на территории Южно-Сибирского сектора относится 53 % зоны активного природопользования, население составляет 67 % общих и 42,5 % сельских жителей. К Западно-Сибирскому сектору относится 45 % площадей зоны активного АП, здесь проживает 9 % всего и 13 % сельского населения. На долю Средне-Сибирского сектора приходится 25 % территории, где проживает 15 % общего и 16 % сельского населения зоны АП.

Наиболее важную роль в аграрном природопользовании занимают леса и степные ландшафты Южной и Западной Сибири, эти же территории отличаются и большим разнообразием природных условий. В Средней Сибири аграрное природопользование, в связи с суровыми природно-климатическими условиями имеет очаговый характер преимущественно животноводства.

водческого отгонного направления в Эвенкийском и Таймырском муниципальных районах. На юге сектора выделяются анклавы активного земледелия в Канской и Рыбинской котловинах, сельскохозяйственная освоенность которых составляет около 70 % с преобладанием доли пашни, сенокосов, пастбища; остепненные участки котловин, приуроченные к долинам рек и имеющие вытянутый лентообразный рисунок. Наряду с животноводческим направлением хозяйства развито земледелие, но оно, как правило, сконцентрировано вокруг крупных населенных пунктов и имеет пригородный характер, либо направлено на производство кормов. Продовольственное зерно и технические культуры выращиваются в недостаточном количестве.

В Приенисейской Сибири сохранились черты традиционного национально-этнического природопользования, что особенно характерно для северных регионов (Эвенкии и Таймыр). Годы советской власти с периодом сплошной коллективизации и индустриализации наложили некоторый отпечаток на характер АП, но в силу природно-климатических особенностей этих территорий и ментальности населения их народов в значительной мере сохранили свои традиции этнического природопользования и быстрее к ним вернулись, чем другие регионы. Долинные комплексы были распаханы; на смену традиционного регионам ячменя внедрились пшеница и рожь в полевые севообороты; высокая плотность скота привела к дигрессии пастбищ. И сегодня после существенного снижения поголовья скота процессы деградации пастбищ продолжаются. Навязанная извне смена видового состава зерновых сказалась не столько на продуктивности ограниченных участков пашни, сколько на структуре питания местных жителей.

Учитывая природные условия и высокую значимость АП в Западной и Южной Сибири, и весьма высокий уровень дифференциации рассмотрим формирование и функционирования региональных систем АП в данных регионах. Региональная система АП формируется в рамках конкретного провинциально-зонального таксона, определяется принадлежностью к той или иной зоне, но идентифицируются в зависимости от сочетания конкретных ландшафтных комплексов. Отсюда рациональный уровень ландшафтной дифференциации представлен провинциями, основными критериями их обособления служат видовой, в каждом случае индивидуальный, набор слагающих ландшафтов.

Подзона тайги (подзона мелколиственных лесов) выделяется как переходная ландшафтная часть от южной тайги к лесостепи.

Подтайга Западной Сибири в пределах Красноярского края занимает около 1,7 % его площади. Она ограничена на севере подзоной южной тайги, а на юге подзоной северной лесостепи. Рельеф равнинный, слабо волнистый, заметно расчлененный в южной и юго-восточной части. Абсолютные высоты не превышают 300 метров с постепенным понижением с юга на север. Слагающие территорию подзоны породы юрского, мелового и третичного возраста перекрыты более или менее мощными четвертичными толщами суглинков и глины.

Климат континентальный, при этом степень континентальности возрастает запада на восток. Средняя годовая температура $-1,1^{\circ}$, средняя температура воздуха в январе $-19,5^{\circ}$, а в июле $17,8^{\circ}$. Продолжительность безморозного периода около 100 дней. Сумма активных температур за вегетационный период 1600–1700°. Количество осадков за год около 400 мм. Ежегодно бывает поздние весенне-летние и ранние осенние заморозки. Подзона сильно залесена, преобладает смешанный лес, что затрудняет использование сельскохозяйственной техники [1]. Почвенный покров представлен преимущественно серыми лесными и дерново-слабоподзолистыми почвами, часто со вторым гумусовым горизонтом. Южной части подзоны заметную роль играют оподзоленные и выщелоченные черноземы. Широко распространены в различной степени заболоченные почвы и болота.

Наибольшую ценность для развивающегося земледелия имеют серые лесные почвы и черноземы. Эти почвы обычно богаты элементами пищи растений и обладают благоприятными физическими свойствами. Дерново-подзолистые и подзолистые почвы подтайги отличаются от аналогичных почв тайги меньшей степенью оподзоленности, большим содержанием гумуса и лучшими водно-воздушными свойствами.

Основным направлением в развитии сельского хозяйства в подзоне подтайги является животноводство со следующими ведущими отраслями: молочно-мясное скотоводство, свиноводство и пчеловодство. Повторяющиеся заморозки в весенний и раннеосенний периоды затрудняют возделывание яровых культур. Поэтому в зерновом хозяйстве преобладает озимые. В южных районах подтайги яровая пшеница дает хорошие урожаи, но и тут необходимо внедрять скороспелые и неполегающие сорта. Исторически здесь успешно возделывался лен-долгунец, что можно рекомендовать и настоящее время.

На обширной территории подтайги Западно-Сибирской равнины выделяются следующие природные агроландшафты: Приенисейский (долинный), Кетский, Кемчугский, Средне-Чулымский, Верхне-Кетский.

Кемчугский подтаежный агроландшафт имеет на юге холмисто-волнистый, сильно расчлененный, с плоскими вершинами рельеф, а на севере – равнинный, слабоэрозированный.

Среднегодовая температура от $-0,6^{\circ}$ до $-1,2^{\circ}$ °C, средняя температура января от $17,6^{\circ}$ до $19,0^{\circ}$ °C, средняя температура июля $17,8^{\circ}$ °C. Продолжительность вегетационного периода 145–146 дней, а безморозного – 103–107 дней. Количество осадков за год от 382 до 413 мм, из которых 289–336 мм выпадает в теплый период.

Для растительного покрова характерны березово-осиновые леса с участием хвойных, развивающихся на серых лесных и дерново-подзолистых почвах. Повышенные элементы рельефа с дерново-подзолистыми почвами покрыты обычно елово-пихтово-кедровыми лесами. По долинам рек широко распространены травяные болота.

Средне-Чулымский подтаежный агроландшафт в южной части представляет собой предгорную, а в северной – слабо расчлененную водно-аккумуля-

тивную равнину. Сложен породами четвертичного возраста. Только в южной части имеются породы мелового периода, прикрытые глинистыми и суглинистыми аллювиально-озерными отложениями.

Среднегодовая температура $-1,4^{\circ}\text{C}$, средняя температура января $-19,9^{\circ}\text{C}$, июля $17,3^{\circ}\text{C}$. Продолжительность вегетационного периода 143 дня, а безморозного – 88 дней. Количество осадков за год 442 мм, из которых 338 мм выпадает в теплый период.

Под сельское хозяйство освоена только южная часть и небольшие массивы на северо-западе агроландшафта. Здесь расположены подтаежные части Боготольского и Тухтетского районов. Верхне-Кетский агроландшафт характеризуется расчлененным возвышенным рельефом на юге и слабо расчлененным эрозионно-аккумулятивным – на севере. Сложен породами и мелового периода, перекрытыми делювиальными суглинками и глинами. Среднегодовая температура $-1,8^{\circ}\text{C}$, средняя температура января $-19,6^{\circ}\text{C}$, а июля $17,04^{\circ}\text{C}$. Продолжительность вегетационного периода 137 дней, а безморозного – 82 дня. Осадков за год выпадает 381 мм, из них 289 мм приходится на теплое время. Преобладают березовые и осиновые леса, которые перемежаются хвойными, лугами и болотами. Почвы преимущественно серые лесные, часто со вторым гумусовым горизонтом, а также дерново-подзолистые и болотные. Агроландшафт перспективен для развития сельского хозяйства. В пределах этого физико-географического округа расположены северная часть Больше-Муртинского, Пировского, часть Казачинского районов.

Зоны лесостепей. Лесостепи Красноярского края занимают предгорные прогибы и межгорные котловины. На западе расположена Ачинско-Боготольская лесостепь, которая на юге отделена хребтом Арга от Назаровской, а на востоке Кемчугским поднятием от Красноярской лесостепи. Южные отроги Енисейского кряжа отделяют Красноярскую лесостепь от Канской [4]. В пределах лесостепей и примыкающих к ним подтаежных массивов расположен Центрально-Красноярский экономический район, состоящий из трех подрайонов: Причулымского, Красноярского и Канского.

Центрально-Красноярский район является важнейшим по производству продуктов сельского хозяйства. Здесь находится около 60 % пашен края, около 50 % сенокосов и более 40 % пастбищ. Основной сельскохозяйственной культурой является яровая пшеница. В северных районах выращивают озимую рожь и лён. Пригородное хозяйство занимается овощеводством и огородничеством.

В районе сосредоточено около 60 % рогатого скота и свиней. Животноводство имеет молочно-мясное направление. На долю Центрального Красноярского экономического района приходится около половины производства промышленной и около 60 % сельскохозяйственной продукции края. На относительно небольшой территории (около 7 %) проживает почти 60 % населения края.

На западе Центрально-промышленного района расположено Причулымье, в котором отчетливо выделяются Ачинско-Боготольская лесостепь, хр. Арга и

Назаровская лесостепь. Общая его площадь превышает 36,0 кв. км.

Ачинско-Боготольская лесостепь на западе уходит в пределы Кемеровской области, на юге ограничена хребтом Арга, а на востоке – Кемчугским поднятием. Большая часть ее находится в Боготольском и Ачинском административных районах и частично захватывает юг Больше-Улуйского. Поверхность лесостепи представляет денудационно-эрозионную равнину, наклоненную на север.

В геологическом строении агроландшафта преобладают породы юрского возраста, представленные аргиллитами, алевролитами, песчаниками, пестро окрашенными каолинизированными песками и брекчиями. Среднегодовая температура воздуха от $-0,2$ до $-0,6^{\circ}\text{C}$, средняя температура воздуха января от $-17,4$ до $-18,2^{\circ}\text{C}$, а июля от 18 до $17,8^{\circ}\text{C}$. Абсолютные минимальные температуры достигает -60°C , а максимальные 37°C . Число дней с температурами выше 5°C от 145 до 149, а с температурами выше 10°C от 104 до 111 дней. Сумма активных температур 1600 до 1700° . Последний заморозок весной бывает в конце мая – начале июня, а осенью – в первой половине сентября. Замерзание почвы начинается обычно до выпадения снега, что обуславливает растрескивание и глубокое промерзание ее (до 3 м). Глубокое зимнее промерзание и медленное оттаивание в теплый период способствует формированию горизонта длительной сезонной мерзлоты почвы, который удерживается до июля-августа и оказывает существенное влияние на гидротермический режим и биохимические процессы почв.

Количество осадков от 374 до 434 мм в год, из них около 75 % выпадает в теплый период (апрель–октябрь), а половина – в летние месяцы (июнь–август). Позднелетние осадки задерживают созревание сельскохозяйственных культур и затрудняют их уборку. Снежный покров появляется во второй половине октября, а разрушение его начинается в первой декаде апреля, сход – в конце апреля – начале мая. Продолжительность снежного покрова достигает 192 дня. Средняя годовая относительная влажность воздуха 74 %, а в наиболее сухой период (май) – 57 %. Господствующими являются ветры западных румбов. Зимой ветры сдувают снег в пониженные элементы рельефа и в колки, обнажая наветренные склоны, а весной сильно иссушают верхние слои почвы. Климат благоприятен для возделывания зерновых, кормовых и технических культур. Но при этом необходимо принимать меры для задержания снега и равномерного распределения по поверхности. Это сохраняет почву от глубокого промерзания и уменьшает вредное влияние слоя длительной сезонной мерзлоты на развитие растений.

Для лесостепи характерна густая гидрографическая сеть, относящаяся к системе бассейна р. Чулыма. Озера расположены в долинах рек и представляют собой старицы. Территория агроландшафта относится к Чулымскому артезианскому бассейну.

В пределах лесостепи имеются несколько группировок растительности. Переходными от подтайги к лесостепи являются березовые и осиновые леса

с пятнами хвойных пород с лугами и болотами. Распространены березовые и осиновые леса в сочетании с лугами. Здесь имеются хвойные, но их значительно меньше и приурочены они к более увлажненным местам и к долинам рек. В осваиваемых местах лугово-лесная растительность сменяется лугово-степной.

В соответствии с другими физико-географическими компонентами находится в почвенный покров. Как в растительном покрове, заметно выражена зональность; в южной части преобладают выщелоченные и оподзоленные черноземы, а, в северной – серые лесные почвы. Эти почвенные типы занимают большую часть площади. Здесь имеется большая возможность для расширения площадей под пашни, сенокосы и пастбища. В настоящее время под пашни используются главным образом черноземы и меньше – серые лесные почвы. Почвы обладают высоким потенциальным плодородием. Но для получения хороших урожаев необходимо введения травопольных, кормовых и лугового-пастбищных севооборотов, улучшение теплового режима почв, сохранение и рациональное использование влаги, рациональное использование удобрений.

На юге Ачинско-Боготольская лесостепь отделена от Назаровской лесостепи и хребтом Арга. Хребет в западной части имеет типичные лесостепные ландшафты. Однообразие обширных массивов нарушается небольшими колками, а равнинный рельеф – холмообразными поднятиями. Крутые склоны спускаются к широкой долине Чулыма, покрытой лесом, кустарниками, лугами и старицами. Лесостепная западная часть хребта довольно четко ограничена облесенными склонами. В составе леса преобладают сосна, образующая местами замечательные боры – брусничники и черничники. Плодородные серые лесные почвы равнинных лесостепных массивов хребта дают богатые урожаи сельскохозяйственных растений. Но вырубки леса и пожары способствуют развитию эрозии и обедняют природу этого замечательного уголка Причулымья. На юге от хр. Арга расположена Назаровская котловина. Она относится к Алтайско-Саянской горной стране, но экономически связаны с Причулымьем, входящим в Центрально-Красноярский экономический район. Поэтому природные условия Назаровской котловины следует рассмотреть в этой части нашей работы. Общая площадь котловины около 7 тыс. км². Она включает Назаровский, Шарыповский административные районы и северную часть Ужурского.

В геологическом строении этой территории принимали участие породы мезозойского и палеозойского возраста. Рельеф слаборасчлененный, с широкими полого опускающимися водоразделами с высотами от 270 до 300 м и только в отдельных местах – от до 350–400 м над уровнем моря. Средняя годовая температура: –1,0 °C, –1,2 °C, средняя температура января: от –18,3 до –21,2 °C, а июля: от 17,6 до 18,4 °C. Абсолютная минимальная температура: –54°, –55°, а абсолютная максимальная 37–38 °C. Продолжительность периодов с температурами выше 5 °C – 146–147 дней, а с температурами выше 10 °C от 103 до 114 дней. Средняя продолжительность безморозного периода от

98 до 107 дней. Сумма температур за май–август 1650°, а за безморозный период – 1554°. Среднее годовое количество осадков от 344 до 368 мм, но бывает годы, когда осадков выпадает от 219 до 604 мм. При этом на холодный период приходится всего 54–66 мм на теплый (апрель–октябрь) от 290 до 302 мм, а на летний (июнь–июль–август) от 162 до 179 мм.

Средняя годовая относительная влажность воздуха 72 %, а наименьший (в мае) – 60 %. Число дней со снежным покровом 182. Устойчивым он становится в третьей декаде октября, разрушается – в третьей декаде марта. Ветры преобладают восточные, южные и юго-западные. Почва промерзает за зиму на глубину до 170–180 см. Во второй-третьей декаде апреля она оттаивает на глубину 10 см, а в третьей декаде апреля начале – начале мая до 30 см.

По котловине протекает р. Чулым и его левые притоки, из которых наиболее крупными являются Серж, Березовка, Урюп. В южной и юго-западной части много озер, в том числе и такие крупные, как Белое, Инголь, Линево. Вся территория относится к северной лесостепи. В настоящее время здесь преобладают злаково-разнотравные ассоциации на водоразделах, а по логам и по долинам – ассоциации заболоченных лугов. Леса, главным образом березовые и березово-осиновые, сохранились на вершинах водоразделов и по некоторым северным склонам.

В почвенном покрове преобладают выщелоченные и реже оподзоленные черноземы. Они характерны для луговой степи и остепненных лугов. Под березовыми лесами развиты серые лесные почвы. По механическому составу – обычно суглинистые и глинистые, высоко гумусные, потенциально плодородны. Назаровская лесостепь имеет большое значение в крае, как район производства зерна и продуктов животноводства. В долинах рек на луговых, лугово-болотных и торфяно-болотных почвах распространены пастбищные и сенокосные угодья. Ачинско-Боготольская лесостепь на востоке отделяется от Красноярской лесостепи Кемчугской лесной возвышенностью.

Кемчугская возвышенность – это часть предгорной равнины северо-западных отрогов Восточного Саяна. Полого волнистая на севере равнина, с высотами около 300 м, к югу становится более расчлененной и высокой (до 500 м), что придает горный характер. Возвышенность сложена породами палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста, которые перекрыты глинистыми и супесчаными современными отложениями.

Среднегодовая температура здесь около –2 °C. Период с отрицательными температурами (225–230 дней) почти на 2 месяца больше, чем в лесостепи. Безморозный период относительно короткий (65–85 дней), а сумма активных температур (выше 10°) составляет от 1200 до 1300°. Вегетационный период длится около 100 дней. Осадков выпадает за год 480 мм. Снежный покров удерживается 190 дней, а мощность его местами достигает 70 см. Однако на распределение температур и осадков резко влияет не только высота, но и экспозиции склонов. Возвышенность пересекают реки Большой и Малый Кемчуг и их многочисленные притоки. Большая часть Кемчуг-

ской возвышенности занята лесом. В долинах рек и на тяжелых почвах растут пихтово-еловые и елово-кедровые леса, а на щебнистых и легких почвах высоких, правых берегов сосновые и сосново-березовые леса. Широко распространены также вторичные березово-осиновые массивы леса. На песчаных почвообразующих породах под сосновым лесом развиты в различной степени подзолистые почвы, а по избыточно увлажненным долинам – болотные и лугово-болотные. Земельные массивы Кемчугской возвышенности мало используются под земледелие, пока не организовано и правильное использование лесных богатств.

Красноярская лесостепь расположена на предгорной равнине на стыке Восточного Саяна, Западной Сибири и Средне-Сибирского плоскогорья. Общая площадь лесостепи и прилегающих к ней подтаежных местностей, тяготеющих к Красноярскому экономическому подрайону, около 40 тыс. кв². В северной и центральной частях лесостепи абсолютные высоты около 400 м, а относительные от 140 до 150 м. На юге Красноярская лесостепь ограничена Торгашинским хребтом и Куйсумскими горами; на востоке – долиной Енисея, на восьми террасах которого раскинулся г. Красноярск [3]. Южная часть территории сложена красноватыми породами девонского возраста (песчаники, конгломераты, аргиллиты, мергели и др.).

Современный рельеф образовался в результате эрозионных процессов на древней предельной равнине, которая была превращена в холмисто-увалистый рельеф, с грядами-междуречьями. На пологих склонах и на междуречьях суффозионными и мерзлотными процессами во многих местах был создан своеобразный бугристо-западинный рельеф. Наиболее сложный рельеф образовался на стыке девонских и юрских отложений в южной части лесостепи, где преобладают холмисто-увалистые куэстовые формы. Крутые левые склоны террас в долинах изрезаны сухими логами и оврагами.

Климат лесостепи резко-континентальный, средняя годовая температура 0,3 °С, средняя температура января –16,8 °С, июля 18,2 °С. Число дней с температурой выше 10 °С около 110–120°, а сумма активных температур (выше 10 °С от 1600 до 1700°). Безморозный период длится около 120 дней. Среднее количество осадков, 390 мм, из них теплый период (апрель–октябрь) выпадает 329 мм. Продолжительная зима малоснежна, поэтому почвы промерзают глубже 2 м, это способствует формированию горизонта длительной сезонной мерзлоты.

Реки, протекающие по лесостепи, не велики (Каца, Бужим, Бугач) за исключением Енисея. Они резко реагируют на выпадение осадков. Грунтовые воды имеются в рыхлых породах и используются для водоснабжения населенных пунктов. Межпластовые воды связаны с юрскими угленосными толщами.

В растительном покрове заметно выражена комплексность, что связано с рельефом, увлажнением, почвенным покровом и хозяйственной деятельностью человека. В наиболее остепненных местах, по склонам южных экспозиций и на солончатых отложениях девона, распространена ксерофильная растительность.

Остальная часть лесостепи характеризуется чередованием остепненных участков на обыкновенных и выщелоченных черноземах березово-осиновых колков, березовых и сосново-березовых перекрестков с лугово-разнотравным покровом на серых лесных почвах. Расчлененность рельефа создает благоприятные условия для продвижения степной растительности по южным склонам далеко на север, а лесов по северным склонам – на юг. В поймах на аллювиально-луговых почвах развиваются разнотравные луга. На террасах встречаются пятна солонцов, в долинах рек – карбонатные, а по днищам логов – лугово-черноземные почвы.

Красноярская лесостепь является наиболее густо населенной частью края. Здесь находится г. Красноярск с его пригородами, Емельяновский, Сухобузимский и Больше-Муртинский административные районы.

Канская лесостепь занимает восточную часть Красноярских островных лесостепей. На юге и востоке ее окаймляют предгорья Восточного Саяна, на западе она отделена от Красноярской лесостепи невысоким Енисейским кряжем, а на севере – постепенно переходит в Средне-Сибирское плоскогорье.

Вся эта обширная территория представляет холмисто-увалистую равнину в пределах Канско-Рыбинской котловины с высотами в южной части от 400 до 480 м, а в северной от 300 до 350 м. Расчлененность рельефа уменьшается в направлении с юга на север. Резко выражена его асимметричность. Среди элементов рельефа заметно выделяется своеобразный бугристо-западинный рельеф, обусловленный мерзлотными и суффозионными процессами. Современный рельеф Канской и других островных лесостепей, обусловлен новейшими дифференцированными движениями, с которыми связаны ускоренная эрозия поднимающихся элементов поверхности и аккумуляция продуктов разрушения в понижениях. Территорию лесостепи слагают палеозойские, мезозойские и кайнозойские породы. Палеозойские представлены песчаниками, сланцами, известняками, мергелями и другими породами девонского и пермокарбонового возраста. Широко распространены также юрского возраста (песчаники, аргиллиты, алевролиты и др.), в том числе и угленосные. Коренные породы прикрыты более или менее мощной толщей современных рыхлых, элювиального, элювиально-делювиального, делювиального и аллювиального происхождения.

Климат лесостепи резко континентальный. При этом заметны его изменения с запада на восток и с юга на север. Средняя годовая температура –0,6–0,2 °С; средняя температура воздуха в январе: от –19,7 до –22,0 °С, в июле: 19,4 °С. Продолжительность безморозного периода 106–114 дня. Сумма активных температур (выше 10 °С) от 1600 до 1800°. За год выпадает 325 мм осадков, а в предгорных и северных районах до 400 мм. По тепловому режиму Канскую лесостепь можно отнести к умеренно-теплой, где сеют ранние и среднеранние культуры, а по обеспеченности растений влагой – полусухой.

Территория лесостепи дренируется реками системы Кана и Усолки. Питание рек преимущественно

снеговое. В некоторые годы бывают сильные летне-осенние дождевые паводки. Почвы Канской лесостепи – плодородный серые лесные черноземные. Пологие склоны и плоские водоразделы покрыты луговыми степями с выщелоченными черноземами. Южные склоны и мелко-бугристые формы рельефа заняты типичной степью с обыкновенными черноземами.

Березово-осиновые и березово-сосновые леса с примесью лиственницы обычно растут на высоких элементах рельефа и по северным склонам, где серые лесные почвы, а иногда оподзоленные черноземы. Долины рек покрыты луговой растительностью на аллювиальных почвах. В распространении растительности и почв отмечается концентрическая поясность. Окраины лесостепи заняты подтайгой с серыми лесными почвами, часто имеющими второй гумусовый горизонт. Затем, ближе к центру лесостепи, распространены луговые степи с оподзоленными выщелоченными черноземами. Центр лесостепи вдоль р. Кана занят настоящими степями. Однако и в луговой, и настоящей степи имеются березовые колки и перелески.

По природным условиям Канской лесостепь, как и другие лесостепи Красноярского края, благоприятна для жизни людей и развития разнообразных отраслей хозяйства. Но работникам сельского хозяйства обязательно нужно учитывать конкретные местные условия: почвенные, рельеф, микроклимат и т. д. Канская лесостепь и тяготеющие к ней подтаежные места входят в состав районов Уярского, Рыбинского, Партизанского, Саянского, Ирбейского, Канского, Иланского и Дзержинского, а также Абанского, Долго-Мостовского и Нижне-Ингашского. Все они составляют восточный (Канский) подрайон Центрально-Красноярского экономического района, занимающего площадь более 64 тыс. кв. км. Южная часть Красноярского края входит в Алтайско-Саянскую физико-географическую страну. В пределах края находятся такие крупные части Алтайско-Саянской страны, как Кузнецкий Алатау, хр. Абаканский, Западный Саян, Восточный Саян, Минусинская впадина с составляющими ее котловинами: Южно-Минусинской, Сыдо-Ербинской, Чулымо-Енисейской и Назаровской.

В Алтайско-Саянской стране очень сложное сочетание компонентов природы, в которой заметно проявление горизонтальной зональности и вертикальной поясности. Кузнецкий Алатау протянулся с юго-востока на северо-запад почти на 350 км и отделяет Минусинскую впадину от Кузнецкой. В Красноярский край входят его восточные склоны, которые относятся к Шарыповскому административному району.

Минусинская впадина ограничена хребтами Восточного Саяна, Западного Саяна и Кузнецкого Алатау, а отроги их делят впадину на четыре хорошо выраженные котловины: Южно-Минусинскую, Сыдо-Ербинскую, Чулымо-Енисейскую и Назаровскую. Общая площадь Минусинской впадины около 70 тыс. км². Рельеф впадины неоднородный. Обширные озерно-аллювиальные и древне-аллювиальные равнины сменяют холмисто-сопочные формы и низкорья.

Климатические особенности различных частей впадины неодинаковы. Они изменяются от предгорий к пониженным элементам рельефа, и с юга на север.

Так на равнинах Южно-Минусинской, Сыдо-Ербинской и южной части Чулымо-Енисейской котловин, занятых степями, климат резко-континентальный, с небольшим количеством осадков, значительной сухостью воздуха и почвы. Средняя температура в январе изменяется от –19 до –21 °С, а средняя температура июля редко превышает 20 °С. Годовая амплитуда колебания температуры составляет 88 °С.

Вегетационный период продолжается 155–156 дней, а безморозный от 120 до 125 дней. Осадков в степной части выпадает 250–260 мм за год. Мало-мощный снежный покров (10–18 мм) ложится на сухую мерзлую почву и легко сдувается в понижения. Обнаженная почва глубоко промерзает (до 1,7–1,8 м) [1]. По окраинам котловин, в предгорьях расположены лесостепи. Они полностью покрывают Назаровскую котловину. Для лесостепей характерна меньшая амплитуда колебаний температур. Средняя годовая температура 0 °С, –1,2 °С, средняя температура воздуха самого холодного месяца от –18,3 до –21,2 °С, а самого теплого 17,6 °С, 18,4 °С. Продолжительность безморозного периода от 97 до 107 дней. Сумма активных температур около 1650–1700°. Заморозки случаются в июне, а начинается в конце августа – начале сентября. Количество осадков колеблется от 350 до 500 мм.

По Минусинской впадине протекает Енисей, Абакан, Туба и Чулым, имеющие большое хозяйственное значение. С созданием Красноярского водохранилища особенности рек котловин изменяются, как изменится и облик Чулыма после создания на реке системы водохранилищ. В котловинах много пресных и соленых озер. Некоторые из них имеют лечебные грязи и используются как курортные места. В реках и озерах водятся ценные породы рыб: стерлядь, таймень, ленок, хариус, чебак, налим и др. Почвенный и растительный покров котловин разнообразной, здесь имеются сухая степь, типичная степь и лесостепь. При этом растительность и почвы располагаются концентрическими поясами. Типичная степь занимает наибольшую площадь и распространена в Южно-Минусинской, Сыдо-Ербинской и Чулымо-Енисейской котловинах. Она покрыта ковыльно-типчаковой, ковыльно-полынной и овсо-ковыльной растительностью. На северных склонах много элементов лесной растительности, а на южных – сухой степи. В почвенном покрове преобладают обыкновенные черноземы.

Лесостепи покрыты луговой растительностью, березовыми и осиновыми колками, небольшими массивами березового леса по северным склонам, балкам и логам. Почти 80 % лесостепей покрыто обыкновенными и выщелоченными черноземами. Минусинская впадина является местом древнейшей культуры земледелия, животноводства, металлургии. В хозяйственном отношении на территории Минусинской впадины выделяются правобережная (восточная) и левобережная (западная) части. На правобережье находятся Ермаковский, Шушенский, Минусинский, Каратузский, Курагинский, Краснотуранский и Идринский административные районы. Каждый из них включает в себя не только степные и лесостепные ландшафты котловины, но и обширные горные территории, при-

мыкающие к впадине. Природные экологические условия выделенных агроландшафтов благоприятны для производства ранне-, средне- спелых сортов сельскохозяйственных культур: яровой пшеницы, озимой ржи, овца, ячменя и корнеклубнеплодов. В агроландшафтах имеются перспективы расширения сельскохозяйственных возможностей в современных экономических условиях.

ВЫВОДЫ

В настоящей работе на примере Приенисейской Сибири авторами проанализированы и представлены методологические основы и подходы к оценке агроприродного потенциала территории и аграрного природопользования как эколого-экономической системы. С этой целью рассмотрена проблема территориальной организации аграрного природопользования.

Устойчивое развитие Приенисейской Сибири опирается на комплексное развитие трех его составляющих – социальной, экологической и экономической. Важный учет экологического фактора, который определяется как экологический потенциал – резерв возможности территории удовлетворять потребности человека в сельхозпродукции, но противостоять при этом негативному антропогенному воздействию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Безруких В. А. Территориальная организация аграрного природопользования в условиях Приенисейской Сибири : монограф. / Краснояр. гос. пед. ун-т им. В. П. Астафьева. Красноярск, 2008. С. 126–145.
2. Безруких В. А. Агроприродный потенциал Приенисейской Сибири: оценка и использование : монограф. / Краснояр. гос. пед. ун-т им. В. П. Астафьева. Красноярск, 2010. 168 с.
3. Безруких В. А. Геолого-геоморфологические и почвенные условия окрестностей г. Красноярска : монограф. / Краснояр. гос. пед. ун-т им. В. П. Астафьева. Красноярск, 2015. 136 с.

4. Природопользование и экологические проблемы бореальной зоны Приенисейской Сибири в историческом аспекте / В. А. Безруких, Л. Г. Макарова, Н. А. Лигаева, Е. В. Авдеева // Хвойные бореальные зоны. 2019. Т. XXXVII, № 3-4. С. 204–209.

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

6. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск : Наука, 1978. 320 с.

REFERENCES

1. Bezrukikh V. A. Territorial organization of agrarian nature management in the conditions of the Yenisei Siberia: monograph. / Krasnoyarsk State Pedagogical University im. V. P. Astafieva. Krasnoyarsk, 2008. P. 126–145.
2. Bezrukikh V. A. Agro-natural potential of the Yenisei Siberia: assessment and use : monograph. / Krasnoyarsk State Pedagogical University im. V. P. Astafieva. Krasnoyarsk, 2010. 168 p.
3. Bezrukikh V. A. Geological-geomorphological and soil conditions of the environs of Krasnoyarsk : monograph. / Krasnoyarsk State Pedagogical University im. V. P. Astafieva. Krasnoyarsk, 2015. 136 p.
4. Nature management and ecological problems of the boreal zone of the Yenisei Siberia in the historical aspect / V. A. Bezrukikh, L. G. Makarova, N. A. Ligaeva, E. V. Avdeeva // Coniferous boreal zones. 2019. Vol. XXXVII, No. 3-4, pp. 204–209.
5. Isachenko A. G. Ecological geography of Russia. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg. University, 2001. 328 p.
6. Sochava V. B. Introduction to the doctrine of geosystems. Novosibirsk : Nauka, 1978. 320 p.

© Безруких В. А., Авдеева Е. В., Коротков А. А., Лигаева Н. А., Кузнецова О. А., 2022

РОСТ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ СОЗДАНЫХ СЕЯНЦАМИ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ

А. И. Белова, Р. С. Хамитов, С. М. Хамитова, Е. С. Полякова

¹Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н. В. Верещагина
Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2

²Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
Российская Федерация, 143050, Московская область, Одинцовский район,
р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, владение 5
E-mail: r.s.khamitov@mail.ru

Проведена оценка сохранности и роста культур ели, созданных сеянцами с закрытой корневой системой, а также изменчивости роста их апикального побега. Объектом исследований являются культуры ели европейской в Грязовецком районе Вологодской области в кислых условиях местопроизрастания. Лесные культуры созданы в 2014 и 2017 году одно- и двухлетними сеянцами ели европейской с закрытой корневой системой с улучшенными наследственными свойствами при одинаковой технологии обработки почвы. Состав исследуемых насаждений включает от 2 до 4 единиц культивируемой породы. Исследуемые культуры ели отличаются интенсивным ростом и хорошей сохранностью, что предопределяет эффективность использования данной технологии. Для всех обследуемых участков характерно снижение уровня вариации прироста апикального побега с возрастом. Корреляционное отношение ($\eta = 0,93$) указывает на очень высокую зависимость флуктуации прироста от возраста растений. Снижение уровня изменчивости прироста в фазе индивидуального роста обусловлено, прежде всего, отсутствием затенения древесной и травянистой растительностью, что, в свою очередь, обусловлено и высокой интенсивностью роста культур в сочетании со своевременными уходами. Данные исследования позволяют рекомендовать активизировать переход лесовосстановления на технологию создания культур ели с закрытой корневой системой.

Ключевые слова: ель европейская, лесные культуры, сеянцы с закрытой корневой системой.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 2, P. 109–113

GROWTH OF EUROPEAN SPRUCE FOREST CROPS CREATED BY SEEDLINGS WITH A CLOSED ROOT SYSTEM

A. I. Belova, R. S. Khamitov, S. M. Khamitova, E. S. Polyakova

¹Vologda State Dairy Farming Academy by N. V. Vereshchagin
2, Schmidt St., Molochnoye, Vologda city district, Vologda Region, 160555, Russian Federation

²All-Russian Research Institute of Phytopathology
5, Institute St., Bolshie Vyazemy, Odintsovo district, Moscow region, 143050, Russian Federation
E-mail: r.s.khamitov@mail.ru

The assessment of the preservation and growth of spruce crops created by seedlings with a closed root system, as well as their intraspecific variability of apical shoot growth, was carried out. The object of research is the European spruce crops in the Gryazovetsky district of the Vologda region in acidic conditions of the place of growth. Forest crops were created in 2014 and 2017 by one- and two-year-old seedlings of European spruce with a closed root system with improved hereditary properties with the same tillage technology. The composition of the studied plantings includes from 2 to 4 units of cultivated rock. The studied spruce crops are characterized by intensive growth and good preservation, which determines the effectiveness of using this technology. A decrease in the level of variation in the growth of the apical shoot with age is characteristic for all the surveyed areas. The correlation ratio ($\eta = 0.93$) indicates a very high dependence of the fluctuation of growth on the age of plants. The decrease in the level of variability of growth in the phase of individual growth is primarily due to the absence of shading by woody and herbaceous vegetation, which, in turn, is also due to the high intensity of crop growth in combination with timely care. These studies allow us to recommend activating the transition of reforestation to the technology of creating spruce crops with a closed root system.

Keywords: european spruce, forest crops, seedlings with a closed root system.

ВВЕДЕНИЕ

Для успешного лесовосстановления требуется качественный посадочный материал с оптимальным потенциалом роста. В этой связи, питомникам необходимо производить сеянцы с такими характеристиками, которые обеспечивают успешный рост корней после посадки на лесокультурную площадь [1]. Лесовосстановление в таежной зоне Европейского севера России в последние годы вышло на качественно иной уровень в связи с внедрением технологии выращивания сеянцев с закрытой корневой системой (ЗКС), эффективность которой признана во всем мире. Данный вид посадочного материала, как правило, выращивается в течение одного года [2]. Посадка таких сеянцев может осуществляться в течение всего вегетационного сезона, что связано со снижением уровня послепосадочного стресса [3; 4]. Корневые системы сеянцев в контейнерах окружены питательной средой, которая защищает их от повреждений при пересадке. Эти сеянцы имеют хорошо развитую корневую систему с большим количеством всасывающих корней, которые способствуют поглощению питательных веществ и воды после пересадки, что увеличивает рост и приживаемость сеянцев [5; 6]. В более сухих почвенных условиях сеянцы, выращенные в контейнерах, имеют более высокую приживаемость, в первую очередь из-за того, что субстрат, окружающий корневую систему сеянцев, выращиваемых в контейнерах, может содержать значительное количество влаги. Кроме того, у сеянцев, формирующихся в контейнерах, обычно более низкое соотношение надземных органов и корней, что предопределяет быстрый рост корней после посадки [7; 8].

Вместе с этим, стоимость сеянцев с закрытой корневой системой существенно выше, чем с открытой. В этой связи, при создании культур сеянцами с ЗКС для уменьшения затрат густоту их посадки снижают до 2,0 тыс. шт./га. Использование этого приема, а также усилия по увеличению объемов выращивания таких сеянцев в Вологодском селекцентре позволили значительно повысить долю создания культур сеянцами с ЗКС (18 % от ежегодно закультивированной площади) и общие объемы искусственного лесовосстановления в Вологодской области. Кроме того, применение точечного посева при выращивании таких сеянцев способствовало увеличению доли выращиваемого посадочного материала с улучшенными наследственными свойствами, использование которого необходимо для повышения производительности и устойчивости лесных культур [9]. Использование селекционного посадочного материала, максимально соответствующего местным лесорастительным условиям для создания насаждений искусственного происхождения является одним из путей сохранения генофонда и повышения биологического разнообразия лесных экосистем [10]. Значительная площадь производственных культур созданных по данной технологии и достигших возраста 5–7 лет позволяет осуществить детальную оценку этого опыта. В этой связи актуальна оценка роста и сохранности культур, созданных сеянцами с закрытой корневой системой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью настоящих исследований является оценка роста и состояния культур ели европейской, созданных сеянцами с закрытой корневой системой.

Объектом исследований являются культуры ели европейской в Грязовецком районе Вологодской области в кисличных условиях местопроизрастания.

Лесные культуры были созданы в 2014 и 2017 году одно- и двухлетними сеянцами ели европейской с закрытой корневой системой с улучшенными наследственными свойствами. Почва была обработана механически сплошным способом. Вспашку производили с помощью плуга лесного двухотвального ПЛ-1 в агрегате с трактором ТДТ-55. Между рядами расстояние составляет: 4,5 м (участок № 1), 3,5 м (участок № 2) и 3 м (участки № 3 и № 4). Расстояние между посадочными (посевными) местами по линии ряда составляет 1,4; 1,6 и 2,1 м соответственно. Посадка сеянцев ели европейской с ЗКС осуществлялась ручным способом посадочной трубой «Pottiputki».

Для измерения таксационных параметров лесных культур, производили закладку пробных площадей. Размер пробной площади определялся таким образом, чтобы на исследуемом участке было представлено не менее 400 растений основного элемента леса. На пробных площадях кроме текущих растений, были произведены измерения высоты самосева и подроста ели и сосны, которые учитывались в составе древостоя. Кроме того, были произведены замеры высот лиственных древесных растений на учетных площадках площадью 10 м².

При определении жизнеспособности культивируемых растений руководствовались следующим. К благонадежным растениям относили особи, имеющие густое охвоение, зеленую или темно-зеленую окраску хвои, заметно выраженную мутовчатость, островершинную или конусообразную симметричную крону, протяженностью не менее одной трети длины ствола в группах и одной второй – у отдельных особей, а также прирост вершинного побега не менее прироста боковых ветвей верхней половины кроны.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В искусственных насаждениях семилетнего возраста доля ели достигает четырех единиц, а в пятилетних культурах состав насаждения варьирует от 2 до 4 единиц. Естественное возобновление лиственных пород расположено большей частью в междурядьях и, к настоящему времени, не затеняет культивируемые растения (табл. 1).

Одним из основных показателей качества является сохранность лесных культур [1]. На временных пробных площадях был произведен сплошной пересчет растений, в результате которого установлено, что сохранность лесных культур варьирует от 68 до 98 %. Наибольшая сохранность наблюдается у пятилетних культур на пробной площади № 4 (98 %), а наименьшая у семилетних культур ели на площади № 1 (68 %).

Таблица 1
Характеристика посадок ели европейской

№ п/п	Год создания лесных культур	Площадь участка, га	Возраст сеянцев при посадке, лет	Исходная густота, тыс. шт./га	Состав насаждения
1	2014	8,6	1	2000	4Е3Ос2Олс1Б
2	2017	8,7	2	2042	4Е1Е*1С3Ос1Б +Ив
3	2017	14,8	2	2081	2Е1Е*5Б1Ив1Олс
4	2017	15,0	2	2081	4Е5Ив1Б

Примечание. * – ель естественного происхождения (самосев).

У семилетних культур средняя высота составляет 139 см, а средний диаметр 2,2 см. Искусственные насаждения достигли высоты более 1,2 м, что соответствует первому уровню качества, определяемому в возрасте 8 лет (табл. 2).

Наибольшая средняя высота лесных культур пятилетнего возраста наблюдается на пробной площади № 3 (84 см), а наименьшая на участке № 4 (57 см). Значение диаметра растений варьирует от 1,0 до 1,4 см. Наибольшее значение среднего диаметра отмечается на пробной площади № 2 (1,4 см), а наименьшее на участке № 4 (1,0 см). В обследованных насаждениях наблюдается тенденция увеличения ежегодного прироста апикального побега, свидетельствующая об отсутствии затруднений в росте культивируемых растений. Наибольшие значения прироста наблюдаются в 2021 году, а наименьшие в 2017.

Исследуемые культуры были оценены по степени их жизнеспособности (рис. 2).

Количество благонадежных растений варьирует от 88 до 100 %. Наибольшее количество жизнеспособных экземпляров отмечено в семилетних культурах, а наименьшее в пятилетних. Жизнеспособность растений обусловлена интенсивностью прироста культур по их высоте. В целом данные об увеличении благонадежности культивируемых растений с возрастом подтверждаются оценкой изменчивости их высоты и диаметра, а также прироста апикального побега (табл. 3).

Наибольшая вариация по высоте растений отмечается в семилетних культурах ($C = 36\%$), а наименьшая в пятилетних – на участке № 2 ($C = 32\%$). В целом уровень изменчивости по шкале С. А. Мамаева высокий. На пробной площади № 1 наблюдается наибольшая изменчивость по диаметру лесных культур ($C = 37\%$), а на участке № 2 наименьшая ($C = 20\%$). Следует отметить, что при наибольшей флуктуации высоты и диаметра растений на пробной площади № 1 отмечается их низкая сохранность (68 %) и, наоборот, на пробных площадях № 2, 4 высокая (82 и 98 %).

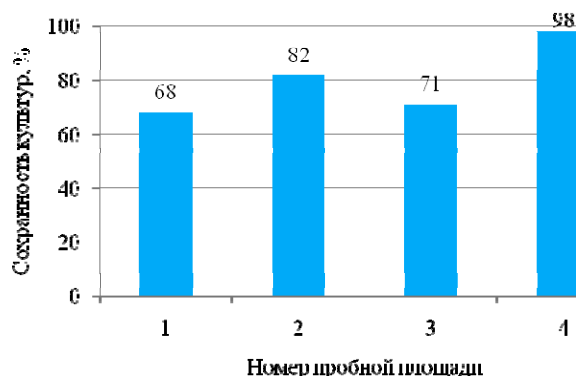


Рис. 1. Сохранность растений в исследуемых насаждениях

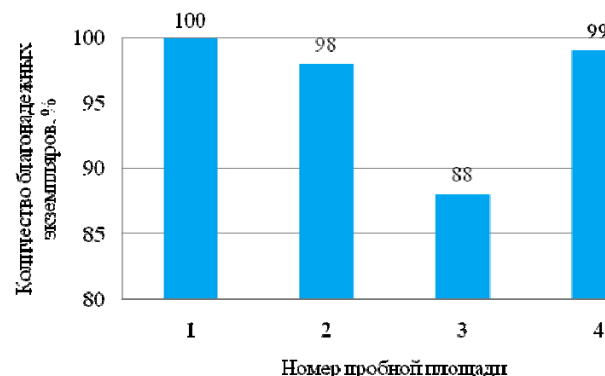


Рис. 2. Жизнеспособность ели в культурах

Таблица 2
Биометрические показатели ели в культурах

№ п/п	Возраст лесных культур, лет	Средние		Прирост растений в высоту по годам, см				
		высота ствола, см	диаметр ствола, см	2017	2018	2019	2020	2021
1	7	139±3	2,2±0,2	14,1±1,4	17,6±1,7	20,3±1,7	26,5±2,4	32,5±2,7
2	5	79±1	1,4±0,1	8,5±0,7	11,7±0,8	15,8±1,0	25,8±1,0	24,4±1,2
3	5	84±2	1,3±0,1	6,9±0,8	11,1±0,8	14,9±1,2	23,3±1,7	27,4±1,8
4	5	57±1	1,0±0,1	3,8±0,3	7,0±0,5	9,7±0,8	17,3±1,0	18,3±1,0

Наибольшая вариация прироста апикального побега по высоте за 2017 год у растений выражена на пробной площади № 3 ($C = 57\%$), а наименьшая на участке № 4 ($C = 32\%$). Максимальная изменчивость по приросту за 2018 год у лесных культур на пробной площади № 2 ($C = 50\%$), а минимальная – на участке № 4 ($C = 36\%$). Наибольшая изменчивость прироста за 2019 года также на втором участке ($C = 45\%$), а наименьшая – на первом ($C = 41\%$). Напротив, в 2020 году максимальная величина этого показателя характерна для пробной площади № 1 ($C = 43\%$), а минимальная – на участке № 2 ($C = 26\%$). Наибольшая

изменчивость прироста за 2021 год лесных культур отмечается на пробной площади № 1 ($C = 41\%$), а наименьшая на участке № 4 ($C = 26\%$). Вариация интенсивности прироста свидетельствует о значительном влиянии проводимых рубок осветления, а также об успешной адаптации высаженных растений на лесокультурной площади.

Для всех обследуемых участков характерно снижение уровня флуктуации прироста апикального побега с возрастом. Влияние возраста на изменчивость прироста оценено с помощью дисперсионного анализа (табл. 4).

Таблица 3

Изменчивость биометрических показателей лесных культур созданных сеянцами с закрытой корневой системой ($C, \%$)

Номер пробной площади	Средняя высота ствола	Диаметр ствола у шейки корня	Изменчивость прироста в высоту по календарным годам				
			2017	2018	2019	2020	2021
1	36	37	48	46	41	43	41
2	32	24	53	50	45	26	36
3	34	29	57	37	42	37	34
4	33	20	32	36	42	29	26

Таблица 4

Влияние возраста растений на изменчивость прироста по высоте ствола

Источник вариации	Сумма квадратов отклонений, SS	Степень свободы, df	Варианса, MS	Критерий Фишера	
				F_{05}	$F_{крит.}$
Между группами	5258,71	5	1051,74	23,34	2,77
Внутри групп	811,25	18	45,07	–	–
Итого	6069,96	23	–	–	–

Влияние фактора возраста на изменчивость достоверно ($F_{05} > F_{крит.}$), при этом его доля в общей вариации показателя составляет 87 % ($\eta^2 = 0,87$). Корреляционное отношение ($\eta = 0,93$) указывает на очень высокую зависимость флуктуации прироста от возраста растений. Снижение уровня изменчивости прироста в фазе индивидуального роста обусловлено, прежде всего, отсутствием затенения древесной и травянистой растительностью, что, в свою очередь, обусловлено и высокой интенсивностью роста культур в сочетании со своевременными уходами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования особенностей роста и состояния культур ели, созданных сеянцами с закрытой корневой системой, позволяют заключить, что некоторое снижение сохранности культур к семилетнему возрасту компенсируется повышением благонадежности культивируемых растений. Уменьшение изменчивости величины прироста свидетельствует о преодолении послепосадочного стресса к возрасту 5–7 лет.

Таким образом, исследуемые культуры ели, созданные сеянцами с закрытой корневой системой, отличаются интенсивным ростом и хорошей сохранностью, что предопределяет эффективность использования данной технологии, предусматривающей также и

снижение густоты посадки до 2,0 тыс. шт./га. Данные исследования позволяют рекомендовать активизировать переход лесовосстановления на технологию создания культур ели сеянцами с закрытой корневой системой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- Grossnickle S. C., MacDonald J. E. Why seedlings grow: influence of plant attributes // *New Forests*, 2018, No. 49, Pp. 1–34.
- Morkovina S. et al. Comparative Analysis of Economic Aspects of Growing Seedlings with Closed and Open Root Systems // *The Experience of Russia*, 2021, No. 1, Pp. 19–26.
- Repáč I. et al. Planting time, stocktype and additive effects on the development of spruce and pine plantations in Western Carpathian Mts. // *New Forests*, 2021, No. 52, Pp. 449–472.
- Banach J. et al. Growth of *Fagus sylvatica* L. and *Picea abies* (L.) Karst. seedlings grown in hiko containers in the first year after planting // *Sustainability*, 2020, No. 12(17), Pp. 7155.
- Wilson E. R., Vitols K. C. Park A. Root characteristics and growth potential of container and bare-root seedlings of red oak (*Quercus rubra* L.) in Ontario, Canada // *New Forests*, 2007, No. 34, Pp. 163–176.

6. Won S.-J. et al. Biological control of leaf blight disease caused by *pestalotiopsis maculans* and growth promotion of *Quercus acutissima* carruth container seedlings using *Bacillus velezensis* CE 100 // Int. J. Mol. Sci., 2021, No. 22, Pp. 11296.
7. Harayama H. et al. Enhanced summer planting survival of Japanese larch container-grown seedlings // Forests, 2021, No. 12, Pp. 1115.
8. Grossnickle S. C., El-Kassaby Y. A. Bareroot versus container stocktypes: a performance comparison // New Forests, 2016, No. 47, Pp. 1–51.
9. Братилова Н. П. Влияние числа семядолей на рост 25-летнего кедра сибирского в плантационных культурах // Лесной журнал, 2007, № 6, С. 56–60.
10. Матвеева Р. Н. Буторова О. Ф., Братилова Н. П. Биоразнообразие, отбор и размножение кедровых сосен в плантационных культурах зеленой зоны Красноярск // Хвойные бореальной зоны, 2007, Т. XXIV, № 2-3, С. 243–247.
1. Grossnickle S. C., MacDonald J. E. Why seedlings grow: influence of plant attributes // New Forests, 2018, No. 49, Pp. 1–34.
2. Morkovina S. et al. Comparative Analysis of Economic Aspects of Growing Seedlings with Closed and Open Root Systems // The Experience of Russia, 2021, No. 1, Pp. 19–26.
3. Repac I. et al. Planting time, stocktype and additive effects on the development of spruce and pine plantations in Western Carpathian Mts. // New Forests, 2021, No. 52, Pp. 449–472.
4. Banach J. et al. Growth of *Fagus sylvatica* L. and *Picea abies* (L.) Karst. seedlings grown in hiko containers in the first year after planting // Sustainability, 2020, No. 12(17), Pp. 7155.
5. Wilson E. R., Vitols K. C. Park A. Root characteristics and growth potential of container and bare-root seedlings of red oak (*Quercus rubra* L.) in Ontario, Canada // New Forests, 2007, No. 34, Pp. 163–176.
6. Won S.-J. et al. Biological control of leaf blight disease caused by *pestalotiopsis maculans* and growth promotion of *Quercus acutissima* carruth container seedlings using *Bacillus velezensis* CE 100 // Int. J. Mol. Sci., 2021, No. 22, Pp. 11296.
7. Harayama H. et al. Enhanced summer planting survival of Japanese larch container-grown seedlings // Forests, 2021, No. 12, Pp. 1115.
8. Grossnickle S. C., El-Kassaby Y. A. Bareroot versus container stocktypes: a performance comparison // New Forests, 2016, No. 47, Pp. 1–51.
9. Bratilova N. P. Vliyaniye chisla semyadolej na rost 25-letnego kedra sibirskogo v plantacionnyh kul'turah // Lesnoj zhurnal, 2007, №6, S. 56–60.
10. Matveeva R. N. Butorova O. F., Bratilova N. P. Bioraznoobrazie, otbor i razmnozhenie kedrovyyh sosen v plantacionnyh kul'turah zelenoj zony Krasnoyarska // Hvojnye boreal'noj zony, 2007, T. XXIV, № 2-3, S. 243–247.

REFERENCES

© Белова А. И., Хамитов Р. С.,
Хамитова С. М., Полякова Е. С., 2022

Поступила в редакцию 12.11.2021
Принята к печати 01.04.2022

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА НАСАЖДЕНИЙ ЕЛИ В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ ТАЕЖНОМ ЛЕСНОМ РАЙОНЕ

Н. В. Выводцев¹, Н. В. Бессонова¹, О. Ю. Приходько²

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

²Приморская государственная сельскохозяйственная академия
Российская Федерация, 692510, Уссурийск, ул. Блюхера, 44
E-mail: 004193@pnu.edu.ru

В статье излагается алгоритм построения таблицы хода роста модальных еловых насаждений, произрастающих в Дальневосточном таежном лесном районе. Особенностью методики является то, что она базируется на использовании массового материала с постоянных пробных площадей, заложенных при проведении государственной инвентаризации лесов. Этим массовым материалом являлись модельные деревья ели. В анализ включены деревья, относящиеся к категории деловых, полуделовых и дровяных.

По модельным деревьям изучена связь высоты, диаметра, товарности с возрастом, найдены параметры регрессионных уравнений связи, установлены проценты выхода деловой и дровяной древесины. Привлечение массового материала исключало подбор естественного ряда развития. Он заменен на усредненные линии высот и диаметров. Эти два показателя являются базовым при определении продуктивности насаждений любой породы. Число стволов определено через постоянную изреживания, установленную по таблицам хода роста нормальных еловых насаждений В. В. Загребеева и средний диаметр.

Остальные показатели определены по известным в таксации формулам. Методика построения таблицы хода роста по своей сущности близка методике построения разрядных шкал объемов. Отличие состоит в том, что разрядные шкалы объемов характеризуют динамику отдельных деревьев по ступеням толщины, а таблица хода роста множества деревьев, но по классам возраста.

В таблице отражена динамика товарной структуры древостоев, определен максимум среднего прироста деловой древесины, на основе которого сделан вывод о целесообразности повышения возраста рубки в еловых насаждениях до 160 лет. На основе таблицы хода роста разработана стандартная таблица сумм площадей сечений и запасов. Проведено сравнение с известными нормативами. Разработанная стандартная таблица практически совпадает с аналогичной стандартной таблицей, построенной для нормальных еловых насаждений III класса бонитета, растущих в европейской части страны. Сделан вывод, что массовые материалы инвентаризации позволили вскрыть общую закономерность в формировании продуктивности еловых насаждений.

Ключевые слова: ель, таблица хода роста, таксационный показатель, государственная инвентаризация лесов, сортиментная структура.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 2, P. 114–120

PATTERNS OF GROWTH OF SPRUCE STANDS IN THE FAR EASTERN TAIGA FOREST AREA

N. V. Vyvodytsev¹, N. V. Bessonova¹, O. Yu. Prikhodko²

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

²Primorsky State Agricultural Academy
44, Blucher Str., Ussuriysk, 692510, Russian Federation
E-mail: 004193@pnu.edu.ru

The article describes an algorithm for constructing a table of the course of growth of modal spruce plantations growing in the Far Eastern taiga forest region. A feature of the technique is that it is based on the use of bulk material from permanent sample plots laid down during the state forest inventory. This mass material was spruce model trees. The analysis includes trees belonging to the category of business, semi-business and woody. The relationship of height, diameter, commodity with age was studied using model trees, the parameters of the regression equations of the relationship were found, the percentages of output of industrial and firewood were established. The attraction of mass material excluded the selection of the natural series of development. It is replaced with averaged lines of heights and diameters. These two indicators are basic in determining the productivity of plantings of any species. The number of trunks was determined through a constant thinning established according to V. V. Zagrebeyeva and average diameter. The remaining indicators are determined by the formulas known in the taxation. The method of constructing a growth

progress table is essentially similar to the method of constructing bit scales of volumes. The difference is that the discharge scales of volumes characterize the dynamics of individual trees by thickness steps, and the table of the course of growth of many trees, but by age classes. The table shows the dynamics of the commodity structure of stands, the maximum of the average growth of business wood is determined, on the basis of which it is concluded that it is advisable to increase the age of felling in spruce stands to 160 years. Based on the growth progress table, a standard table of the sums of cross-section areas and stocks has been developed. A comparison with known standards has been made. The developed standard table practically coincides with a similar standard table constructed for normal spruce plantations of the III class of bonitet growing in the European part of the country. It is concluded that mass inventory materials allowed to reveal a general pattern in the formation of productivity of spruce plantations.

Keywords: fir-tree, table of motion of height, fixing the price index, state taking of inventory of the forests, sortiment structure.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

На Дальнем Востоке ель является одной из основных лесообразующих пород. В оптимальных условиях произрастания может продуцировать до 650 м³/га, доживает до 250 лет и более [4; 10]. Биологическая особенность вида – замедленный рост в начальных возрастах, может расти в поймах рек, на склонах разной экспозиции, высоко в горах (1000 м и более), на заболоченных участках, на вершинах гольцов принимает карликовые, стелющиеся формы. Ель типичный представитель горных темнохвойных лесов, структура которых обусловлена длительной сезонной мерзлотой, морозоустойчива, тенелюбива, корневая система поверхностная. Чаще всего образует чистые насаждения с незначительной примесью пихты белокорой, березой каменной, березой плосколистной и березой ребристой [4]. В определенных условиях произрастания тесно контактирует с лиственничниками [1; 3] и кедровниками [2; 11]. Особенности роста этой породы в Приморье изучены А. Г. Шавниным, в Низовьях Амура – И. Т. Дуплищевым [8]. Этими авторами в 60-е г. прошлого столетия, используя методику ЦНИИЛХ, были построены таблицы хода роста для модельных елово-пихтовых насаждений. Таблицы характеризуют зеленомошную и папоротниковую группу типов леса с вариациями по условиям произрастания (горные, долинные, заболоченные) и возрастной структуре (условно-однообразные и разновозрастные). Цель нашей работы – разработать таблицу хода роста для еловых насаждений, произрастающих в Дальневосточном таежном районе независимо от типов леса, типов роста [3] и типов возрастной структуры, т. е. создать усредненный цифровой норматив, не привязанный ни к какой классификации, опираясь только на модельные деревья с постоянных пробных

площадей (далее – ППП), и сравнить его с известными аналогами с целью поиска общих закономерностей в росте этой древесной породы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлись еловые насаждения средней производительности, произрастающие в Дальневосточном таежном районе. Экспериментальным материалом послужили модельные деревья ели с ППП, заложенных при проведении государственной инвентаризации лесов (далее – ГИЛ). Таким образом, ППП размером 500 м² принята за первичную единицу выборки из генеральной совокупности еловой формации в Дальневосточном таежном районе. Попавшие на площадку деревья ели отнесены к средневозрастным, приспевающим и спелым насаждениям. На ППП у деревьев ели определены основные таксационные показатели: возраст, высота, диаметр, товарность. В ходе работы просмотрено более 500 паспортов пробных площадей, на которых отобрано 1591 модельное дерево ели. Из этого количества 318 деревьев отнесены к категории сухостой. Изменения таксационных показателей с возрастом (ход роста) определяли с помощью регрессионных уравнений связи. Число стволов находили через константу изреживания, формула расчета которой приведена в работах [2; 7; 9]. Ряд других показателей (сумма поперечных сечений, наличный запас, средний и текущий прирост) находили по общеизвестным в лесной таксации формулам. Динамика запасов в таблице хода роста сопряжена с разработанной упрощенной сортиментной таблицей. Товарные характеристики деревьев ели по категориям технической годности показана в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1
Распределение деревьев ели по ступеням толщины и категориям технической годности

Категории технической годности	Степень толщины											Итого, шт. %
	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	
Деловые	19	32	59	141	218	179	125	67	42	19	7	<u>908</u> 71
Полуделовые	10	35	45	51	58	46	23	23	9	5	1	<u>306</u> 24
Дровяные	10	16	13	6	8	2	2	0	1	1	0	<u>59</u> 5
Итого	<u>39</u> 3,1	<u>83</u> 6,5	<u>117</u> 9,1	<u>198</u> 15,6	<u>284</u> 22,3	<u>227</u> 17,8	<u>150</u> 11,8	<u>90</u> 7,1	<u>52</u> 4,1	<u>25</u> 2,0	<u>8</u> 0,6	<u>1273</u> 100

Общее распределение модельных деревьев ели по ступеням толщины соответствует обобщенному нормальному распределению Грамма–Шарлье. Из общего количества деревьев ели (1273 шт.) 71 % – деловые, 24 % – полуделовые, 5 % – дровяные. Полуделовые деревья распределялись в группу деловых и дровяных поровну. Процент отходов у деловых стволов принят 10 %, у дровяных – 20 %. Расчеты проводились по формуле

$$G = K \times V, \quad (1)$$

где G – процент деловой или дровяной древесины; K – коэффициент отходов (0,9 для деловой, 0,8 для дровяной); V – процент деловой или дровяной древесины из табл. 1.

Новое распределение стволов ели по категориям технической годности и ступеням толщины показано в табл. 2.

Проценты распределения деловой и дровяной древесины описаны регрессионными уравнениями в зависимости от возраста.

Выход дровяной древесины определялся по уравнению:

$$G_{dr} = 0,0039x^2 - 1,1314x + 89,7, R^2 = 0,94, \quad (2)$$

где G_{dr} – выход дровяной древесины, %; x – возраст, лет.

Выход деловой древесины определялся по уравнению:

$$G = -0,0042x^2 + 1,24x - 9,4, R^2 = 0,94, \quad (3)$$

где G – выход деловой древесины, %; x – возраст, лет.

Зависимость возраста (A) от диаметра ($d_{1,3}$) на высоте 1,3 м предается параболой 2-го порядка:

$$A = -0,0634d_{1,3}^2 + 6,5712d_{1,3} - 4,69, R^2 = 0,62. \quad (4)$$

С помощью полученных регрессий рассчитывалась динамика деловой и дровяной древесины, определялась техническая спелость [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Корреляционные матрицы распределения высот и диаметров модельных деревьев ели по классам возрастам (рис. 2, 3) свидетельствуют, что анализируемая выборка характеризует разновозрастные насаждения. По отдельным классам возраста варьирование высот достигает 20 м. В начальных возрастах (40 лет) средняя высота соответствует II классу бонитета, в 100-летнем возрасте – IV классу бонитета [5]. Средние значения высот и диаметров, описаны параболой второго порядка. Коэффициенты детерминации подобранных регрессий варьируют от 0,45 (высота) до 0,58 (диаметр). Подобранные уравнения регрессии использованы для расчета средних значений высот и диаметров в таблице хода роста (табл. 3).

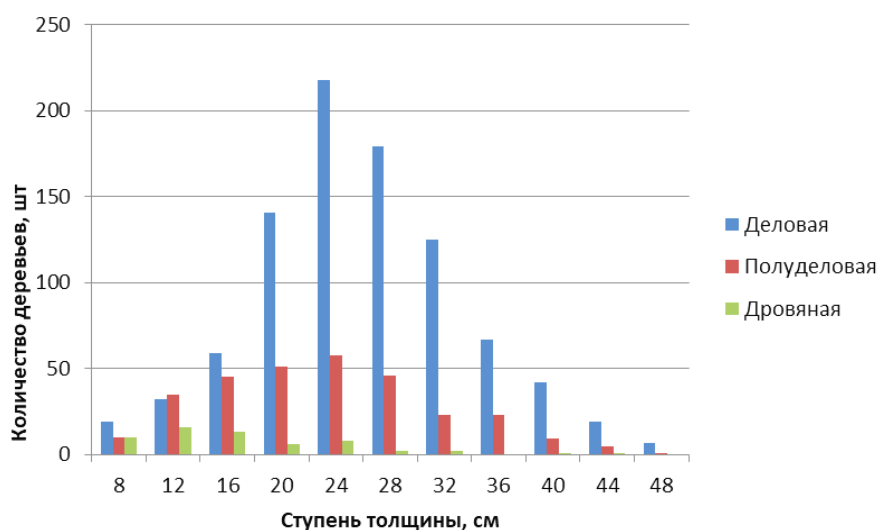


Рис. 1. Распределение растущих деревьев ели по ступеням толщины и категориям технической годности в Дальневосточном таежном районе

Таблица 2

Процент деловой и дровяной древесины у растущих древостоев ели по ступеням толщины

Категории технической годности	Ступень толщины										
	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48
Дел	61,5	59,6	69,7	84,1	87,0	89,0	91,0	87,2	89,4	86,0	93,8
Дров	38,5	40,4	30,3	15,9	13,0	11,0	9,0	12,8	10,6	14,0	6,2
Итого	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
G_d	55,4	53,6	62,7	75,7	78,3	80,1	81,9	78,5	80,5	77,4	84,4
G_{dr}	30,8	32,3	24,2	12,7	10,4	8,8	7,2	10,2	8,5	11,2	5,0
Итого	85,2	85,9	86,9	88,4	88,7	88,9	89,1	88,7	89,0	88,6	89,4

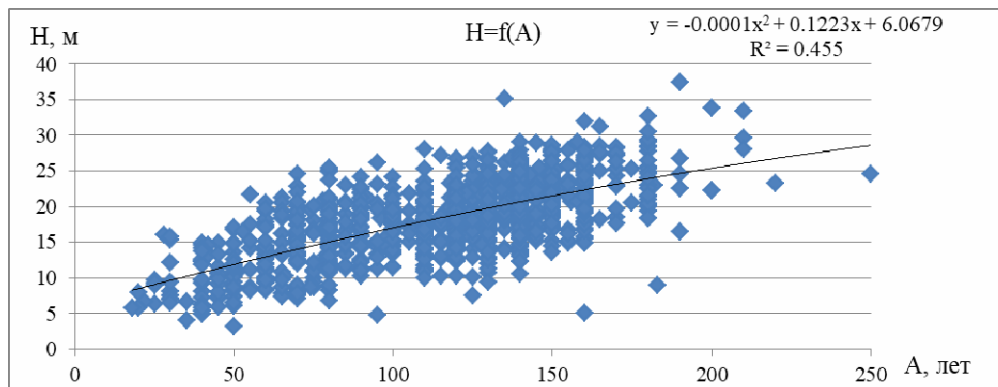


Рис. 2. График зависимости высоты (h) от возраста (A) ели

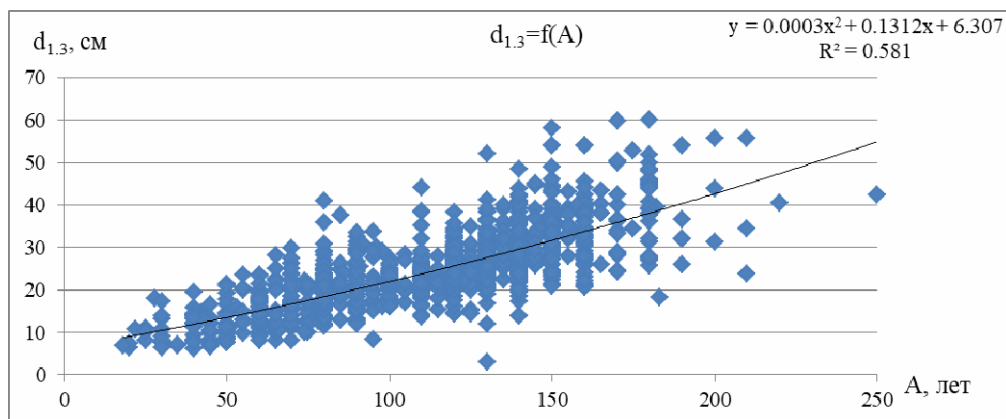


Рис. 3. График зависимости диаметра (d) от возраста (A) ели

Количество стволов рассчитано через постоянную изреживания [7; 9], которую находили по таблицам хода роста В. В. Загребеева [5]. В высших классах бонитета она оказалась равной 100137 см, или 10 м² на 1 дерево независимо от возраста. В начальных и конечных возрастах постоянная изреживания имела меньшие значения. Количество стволов на гектаре определено по формуле

$$N = \frac{C}{D \cdot \sqrt{D}} = \frac{100137}{D \cdot \sqrt{D}}, \quad (2)$$

где N – количество стволов на 1 га, шт.; D – средний диаметр древостоя в определенном возрасте, см; C – постоянная изреживания.

Сумма поперечных сечений рассчитана по формуле

$$G = \frac{3,14 \cdot D^2}{4} = \frac{N}{10000}, \quad (3)$$

где G – сумма площадей сечений, м²/га.

Наличный запас является произведением видовой высоты на сумму поперечных сечений. Видовые числа брали из таблиц хода роста нормальных еловых насаждений [5].

Они имеют близкие значения с ельниками дальневосточного региона [8].

Разработанная таблица хода роста ельников характеризует средние значения основных таксационных показателей (высота, диаметр, наличный запас) в интервале 40–160 лет. Наличный запас дифференциро-

ван на деловую и дровяную древесину. Показана динамика процентов отходов, что важно при заготовке древесины. Дифференциация запасов по категориям крупности позволяет наглядно отслеживать товарные характеристики насаждений в течение всего жизненного цикла. Таблица построена по принципу разрядной шкалы, усреднив высоты и диаметры модельных деревьев ели. Эти два показателя и определили поведение всех остальных как по характеру роста, так и по абсолютным величинам. Нельзя не отметить высокий запас ельников в Дальневосточном таежном районе. В возрасте 160 лет ельники имеют максимальный средний и текущий приросты деловой древесины. Процент выхода деловой древесины более 80 % у ельников наблюдается после 130 лет. Дровяная древесина максимальное значение имеет в 40 лет (44 %), минимальное – в 140 лет (9 %). У деловой древесины максимальный выход наблюдается в 160 лет (82 %). В этой связи логично поднять возраст рубки еловых насаждений в Дальневосточном таежном районе до 160 лет как минимум.

Высота, диаметр, наличный запас в разработанной таблице хода роста существенно различаются от данных III класса бонитета (наиболее близкие абсолютные значения показателей по сравнению с другими классами бонитета) нормальных еловых насаждений В. В. Загребеева [5]. По высоте, диаметру, наличному запасу средние для возрастного ряда систематические ошибки соответственно: –7,8 %, +4,5 %, –8,8 % (табл. 4).

Таблица 3

Таблица хода роста ели, составленная по данным ГИЛ

Возраст насаждения, лет	Растущая часть насаждения															
	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Видовое число (0,001)	Сумма площадей сечений, м²/га	Число стволов, шт./га	Запас стволовой древесины, м³/га	Деловая		Дровяная		Товарная		Отходы		Изменение запаса, м³/га *	
							м³	%	м³	%	м³	%	м³	%	среднее	текущее
40	10,8	12,0	576	25,9	2288	161	66	41	71	44	137	85	24	15	1,6	
50	11,9	13,6	539	28,5	1960	183	86	47	69	38	155	85	27	15	1,7	2,2
60	13,0	15,3	517	31,1	1695	209	113	54	67	32	179	86	30	14	1,9	2,7
70	14,1	17,0	504	32,1	1413	228	134	59	62	27	196	86	32	14	1,9	1,9
80	15,2	18,7	495	34,7	1265	261	167	64	60	23	227	87	34	13	2,1	3,3
90	16,3	20,5	489	36,3	1102	290	200	69	55	19	255	88	35	12	2,2	2,8
100	17,3	22,4	485	37,9	961	318	232	73	51	16	283	89	35	11	2,3	2,8
110	18,3	24,4	482	39,3	841	347	264	76	45	13	309	89	38	11	2,4	2,9
120	19,3	26,4	480	41,5	758	384	300	78	42	11	342	89	42	11	2,5	3,7
130	20,3	28,4	478	41,7	658	404	323	80	40	10	363	90	41	10	2,5	2,0
140	21,2	30,6	477	43,3	589	438	355	81	39	9	394	90	44	10	2,5	3,4
150	22,2	32,7	476	44,5	531	471	386	82	42	9	428	91	43	9	2,6	3,3
160	23,1	35,0	475	45,9	477	504	413	82	45	9	458	91	46	9	2,6	3,3

Примечание. * – Изменение запаса среднего и текущего рассчитано для деловой древесины.

Таблица 4

Сравнение разработанной таблицы хода роста с данными В. В. Загребва [5]

Возраст, лет	Высота, м			Диаметр, см			Запас, м3		
	*	**	Отклон., %	*	**	Отклон., %	*	**	Отклон., %
40	10,8	7,9	+27	12,0	8,6	+28	161	103	+36
50	11,9	10,6	+11	13,6	11,4	+16	183	154	+16
60	13,0	13,2	-1	15,3	14,1	+7	209	210	0
70	14,1	15,6	-9	17,0	16,7	+2	228	266	-14
80	15,2	17,7	-14	18,7	19,2	-2	261	318	-18
90	16,3	19,5	-16	20,5	21,5	-4	290	366	-20
100	17,3	21,0	-18	22,4	23,5	-4	318	407	-21
110	18,3	22,2	-17	24,4	25,3	-4	347	442	-21
120	19,3	23,2	-16	26,4	26,9	-2	384	471	-19
130	20,3	24,0	-15	28,4	28,2	0	404	494	-19
140	21,2	24,7	-13	30,6	29,3	+4	438	514	-15
150	22,2	25,3	-11	32,7	30,2	+7	471	532	-12
160	23,1	25,9	-10	35,0	31,0	+11	504	548	-8

Примечание. * – Высота, диаметр, запас из табл. 3. ** высота, диаметр, запас из справочника [5].

Для еловых насаждений, произрастающих на Дальнем Востоке, разработано несколько стандартных таблиц сумм площадей поперечных сечений и запасов. Привязаны они к определенным регионам [8]. Учитывая массовый материал, участвовавший в разработке таблицы хода роста, была разработана стандартная таблица сумм площадей поперечных сечений и запасов для ельников Дальневосточного та-

ежного района. В настоящей работе приведены только запасы.

Связь запасов с высотой передается регрессионным уравнением с высоким коэффициентом детерминации (0,99):

$$M = -157,3 + 27,99 H, \quad (5)$$

где M – запас еловых насаждений (табл. 4), м³/га; H – средняя высота из табл. 4, м.

Таблица 5

Сравнение запасов еловых насаждений, рассчитанных по уравнению (5) и запасов из справочников [5; 8]

Показатели	Высота, м									
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Запас по урав. (5), м ³	123	179	238	291	347	403	459	515	571	627
Запас по [5], м ³	142	183	227	275	326	380	436	493	551	608
Отклонения, %	-13	-2	+4	+5	+6	+6	+5	+4	+5	+3
Запас по урав. (5), м ³	123	179	238	291	347	403	459	515	571	627
*Запас по [8]	136	178	225	278	336	400	469	544	625	711
Отклонение, %	-10	0	+5	+4	+3	+1	-2	-5	-9	-12
Запас по урав. (5), м ³	123	179	238	291	347	403	459	515	571	627
**Запас по [8], м ³	138	183	228	274	319	364	409	454	499	544
Отклонение, %	-11	-2	+4	+6	+8	+10	+11	+12	+13	+14
Запас по урав. (5), м ³	123	179	238	291	347	403	459	515	571	627
***Запас по [8], м ³	119	153	189	229	272	317	364	415	468	535
Отклонение, %	+3	+15	+21	+21	+22	+23	+21	+19	+18	+15

Примечание. * – Стандартные запасы ельников Приморья; ** – стандартные запасы ельников Приамурья; *** – стандартные запасы ельников Прочие.

Проверка стандартизованного ряда (табл. 5) показала, что запасы разработанной стандартной таблицы и стандартной таблицы запасов нормальных еловых насаждений III класса бонитета, составленные для европейской части страны, практически не различаются между собой. Систематическая ошибка при определении запаса насаждений для всего диапазона высот составила +2,3 %. Сравнение с другими нормативами также показало на невысокие систематические ошибки. По ельникам Приморья отклонение составило -2,5 %, по ельникам Низовья Амура – +6,5 %, по прочим ельникам – +17,8%. Из четырех сравниваемых стандартных таблиц минимальные отклонения запасов наблюдаются у ельников европейской части страны и Приморья. Систематическая ошибка находится в пределах $\pm 2,5$ %. Это достаточно высокое соответствие данных, полученных разными способами на разном экспериментальном материале.

Таким образом, проведенные исследования показали, что массовые материалы ГИЛ вполне можно использовать для проверки действующих и составление новых нормативов. Да, разработанная таблица хода роста не соответствует классическому представлению о ходе роста древостоев одного естественного ряда, описывающегося S кривой. Но если опустить эти тонкости, массовый материал позволил объективно подобрать средние линии высот и диаметров в интервале 40–160 лет и представить современное состояние еловых насаждений в Дальневосточном таежном районе. Как следствие, разработать другой норматив – стандартизованный ряд запасов еловых насаждений практически совпадающий со своим аналогом, составленным для ельников европейской части страны. По существу, массовый материал позволил вскрыть общую закономерность, присущую росту еловых насаждений. Разработанная стандартная таблица сумм площадей сечений и запасов рекомендует-ся производству для внедрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Еловые насаждения являются важнейшей частью экологического каркаса Дальневосточного региона. Они выполняют ряд важнейших экологических функ-

ций, которые нельзя реализовать другими лесобразующими породами. В оптимальных условиях произрастания, несмотря на замедленный рост в начальных возрастах, показывают высокую продуктивность и долгожительство (250 лет и более). В этой связи оценка экологических и продукционных характеристик ельников должна осуществляться по нормативам, соответствующим природе этих лесов. Оценку запасов можно осуществлять по разработанной стандартной таблице сумм площадей сечений и запасов. Разработанная таблица хода роста, по нашему мнению, соответствует выше указанным требованиям. В ней показана динамика не только общего запаса, но и его товарная дифференциация. Заслуживает внимание предложение о смещении возраста рубки в ельниках к 160 г. Близкие значения запасов из разных стандартных таблиц указывают на наличие общих закономерностей, присущих росту еловых насаждений, и их следует учитывать в производственной таксации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Выводцев Н. В. Общие закономерности роста лиственничников Дальнего Востока : автореф. дис. ...канд. наук. Красноярск, 1984. 20 с.
2. Выводцев Н. В. Общие закономерности роста насаждений сосны корейской [Электронный ресурс]. DOI 10.24419/LNI.2304-3083.2020.3.07 // Лесхоз. информ. : электрон. сетевой журн. 2020. № 3. С. 81–88. URL: <http://lhi.vniilm.ru/> (дата обращения: 20.08.2021).
3. Выводцев Н. В., Выводцева А. Н. Лиственничники Дальнего Востока. Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. 201 с.
4. Манько Ю. И. Ель аянская. Л., 1987. 280 с.
5. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В. В. Загребов [и др.]. М. : Колос, 1992. 495 с.
6. Об установлении возрастов рубок : Приказ Рослесхоза от 09.04.2015 № 105 (ред. от 02.07.2015). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. Савинов Е. П. Взаимосвязь густоты и среднего диаметра древостоев // Лесное хозяйство, 1978. № 6. С. 57–59.

8. Справочник для таксации лесов Дальнего Востока / отв. сост. и ред. В. Н. Корякин ; ДальНИИЛХ. Хабаровск, 1990. 526 с.

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

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

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

REFERENCES

1. Vyvodtsev N. V. General patterns of growth of larch trees of the Far East : abstract. dis. ...candidate of Sciences. Krasnoyarsk, 1984. 20 p.

2. Vyvodtsev N. V. General patterns of growth of Korean pine plantations [Electronic resource]. DOI-10.24419/LHI.2304-3083.2020.3.07 // Logging company. inform. : electron. network Journal 2020. No. 3. P. 81–88. URL: <http://lhi.vniilm.ru> (date of reference: 08.20.2021).

3. Vyvodtsev N. V., Vyvodtseva A. N. Larch trees of the Far East. Khabarovsk : Publishing House of the Pacific State University, 2013. 201 p.

4. Manko Yu. I. El ayanskaya. L., 1987. 280 p.

5. All-Union standards for forest taxation / V. V. Zagreev [et al.]. M. : Kolos, 1992. 495 p.

6. On the establishment of logging ages: Roslekhhoz Order No. 105 dated 09.04.2015 (ed. dated 02.07.2015). Access from help.-legal system “ConsultantPlus”.

7. Savinov E. P. Interrelation of density and average diameter of stands // Forestry, 1978. No. 6. P. 57–59.

8. Handbook for forest taxation of the Far East / rel. comp. and ed. by V. N. Koryakin ; Dalniil. Khabarovsk, 1990. 526 p.

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

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

11. Vyvodtsev N. V. Forest resource potential of cedar in the Far East. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 670, Iss. 1.

© Выводцев Н. В., Бессонова Н. В.,
Приходько О. Ю., 2022

Поступила в редакцию 23.12.2021
Принята к печати 01.04.2022

СБЕГ НИЖНЕЙ ЧАСТИ СТВОЛОВ СОСНЫ В УСЛОВИЯХ БИРЮСИНСКОГО УЧАСТКОВОГО ЛЕСНИЧЕСТВА

П. А. Каштальянов, А. А. Вайс

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский Рабочий», 31
E-mail: vais6365@mail.ru

Форма древесного ствола зависит от различных биологических свойств данной породы и множества факторов внешней и внутренней среды, которые действуют в различных направлениях и не всегда учитываются. Изучение формы и полнодревесности стволов по различным регионам в зависимости от таксационной характеристики древостоев позволяет решить многие задачи, связанные с точностью учёта прироста деревьев и их объема.

Цель работы – на основе измерений модельных деревьев на территории Бирюсинского участкового лесничества оценить форму деревьев, определить средний коэффициент формы и сбега стволов сосны обыкновенной.

При проведении анализа и определении таксационных показателей установлена средняя форма деревьев по группам высот, подобраны образующие нижней части модельных деревьев, установлены коэффициенты формы и сбега ствола сосны обыкновенной. Составлены диаграммы, демонстрирующие связь коэффициентов формы и высот от основания дерева. Для вычисленных показателей (абсолютных диаметров и коэффициентов формы) составлены единые таблицы без разделения по условиям произрастания.

Исследование показало незначительные отличия в средних значениях коэффициентов формы, что подтверждает однородность насаждений, произрастающих в одних и тех же условиях. Все уравнения характеризовались высокой степенью адекватности.

Составлена итоговая таблица сбега нижней части стволов деревьев сосны обыкновенной. Наблюдалось уменьшение сбежистости при увеличении среднего диаметра.

В таблице сбега отражен объём однометровых отрезков, что необходимо при нахождении объема и запаса древесины. Определение объема деревьев с помощью коэффициентов формы значительно упрощает таксацию древостоя.

Ключевые слова: сосна, сбег, коэффициент формы, таблица, группа высот.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 2, P. 121–127

RUNOFF OF THE LOWER PART OF PINE TRUNKS IN THE CONDITIONS OF BIRYUSINSKY DISTRICT FORESTRY

P. A. Kashtalyanov, A. A. Vais

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: vais6365@mail.ru

The shape of a tree trunk depends on the various biological properties of a given breed and many factors of the external and internal environment, which act in different directions and are not always taken into account. The study of the shape and full-woodiness of trunks in different regions, depending on the taxation characteristics of stands, allows us to solve many problems related to the accuracy of accounting for the growth of trees and their volume.

The aim of the work is to evaluate the shape of trees on the basis of measurements of model trees on the territory of the Biryusinsky district forestry, to determine the average shape coefficient and the run-off of the trunks of scots pine.

During the analysis and determination of taxation indicators, the average shape of trees by height groups was established, the forming parts of the lower parts of model trees were selected, and the coefficients of the shape and run-off of the trunk of scots pine were established. Diagrams showing the relationship between the coefficients of shape and height from the base of the tree are compiled. For the calculated indicators (absolute diameters and shape coefficients), unified tables are compiled without separation by growing conditions.

The study showed slight differences in the average values of the shape coefficients, which confirms the uniformity of plantings growing in the same conditions. All equations were characterized by a high degree of adequacy.

The final table of the run-off of the lower part of the tree trunks of scots pine is compiled. A decrease in fluidity was observed with an increase in the average diameter.

The run-off table shows the volume of one-meter sections, which is necessary when finding the volume and stock of wood. Determining the volume of trees using shape coefficients greatly simplifies the taxation of the stand.

Keywords: pine, runoff, shape coefficient, table, height group.

ВВЕДЕНИЕ

Форма древесного ствола зависит от различных биологических свойств данной породы и множества факторов внешней и внутренней среды, которые действуют в различных направлениях и не всегда учитываются. Изучение формы и полнодревесности стволов по различным регионам в зависимости от таксационной характеристики древостоев позволяет решить многие задачи, связанные с точностью учёта прироста деревьев и их объема [2–5; 7–10; 12; 14].

В практике инвентаризации приходится сталкиваться с большим объёмом единиц параметров, которые необходимо изучить и характеризовать на основе сплошного перечёта. В таком случае приходится отбирать для измерений ограниченное количество единиц (деревьев, пробных площадей), характеризующих изучаемую совокупность с заданной точностью. Результатом такого метода (выборочного) является получение средних таксационных показателей по измерениям на пробных площадях, закладываемых на территории объекта исследований, на основе требований математической статистики [11; 13].

Наиболее исчерпывающий анализ исследования формы стволов выполнил В. К. Захаров. Он писал, что старое видовое число является функцией двух переменных, то есть второго коэффициента формы и высоты дерева. В случае постоянной высоты и увеличении коэффициента формы видовое число возрастает. И при одинаковых коэффициентах формы видовое число находится в обратной зависимости от высоты. Важнейшим и довольно сложным в определении морфологическим признаком является форма ствола. Она представляет собой состав и последовательность элементарных отрезков древесного ствола самой различной толщины, площади сечения, объёме при перемещении от комлевой части ствола к вершине деревьев. Главным показателем, определяющим, форму ствола является, сбег на различных его участках, а также общий объём ствола и выход деловых сортиментов. Количественная характеристика – объём, качественная – сортиментная структура, доля коры в древесном запасе и продуктивность [6].

Пытаясь объяснить особенности формообразования стволов в разное время, предлагалось множество теорий, но они все являются односторонними и не охватывают множество факторов влияющих на эту особенность [7].

Можно констатировать, что для определения объёма ствола растущего дерева существует множество методов и в частности наиболее распространенным является применение коэффициентов формы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель работы – на основе измерений модельных деревьев на территории Бирюсинского участкового лесничества оценить форму деревьев, определить средний коэффициент формы и сбег стволов сосны обыкновенной.

Решение программных вопросов проводились в следующих направлениях:

- по данным измерения модельных деревьев оценить форму нижней части стволов деревьев сосны;
- выполнить статистический анализ различных показателей, определяющих закономерности изменения коэффициента формы;
- смоделировать образующую нижней части ствола сосны;
- составить таблицы характеризующие статистики моделей;
- определить характер изменения средних диаметров по высотам от основания дерева;
- составить таблицу сбega для нижней части ствола сосны обыкновенной по группам высот.

Объектом исследований являлись насаждения сосны обыкновенной на территории Бирюсинского участкового лесничества Емельяновского лесничества Красноярского края. В качестве моделей использовались деревья различных возрастов, диаметров и высот.

Древесные растения произрастают на склонах в одинаковых условиях местопроизрастания. Насаждения здоровые имеют примесь пихты сибирской. Для таксационной оценки насаждения проводился выборочный пере́чет деревьев. Закладывались пробные площади в 23 квартале, в шести выделах.

Обмер деревьев проводился с целью определения зависимости коэффициентов формы от диаметров и высот деревьев. Замеры осуществлялись с помощью мерной вилки, мерного шеста и высотомера.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве исходных данных использовались материалы измерений диаметров растущих деревьев сосны на различных высотах (0,0; 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5; 1,8; 2,1; 2,4; 2,7 м).

Для оценки формы нижней части стволов деревьев сосны, применялись следующие показатели: диаметр на высоте 1,3 м; высота дерева которую получали путём прямых измерений; диаметр на 1/10 высоты ствола дерева ($d_{0,1}$).

Коэффициенты формы определялись следующим образом:

Нулевой коэффициент формы:

$$q_0 = \frac{d_0}{d_{1,3}}, \quad (1)$$

где q_0 – нулевой коэффициент формы; d_0 – диаметр ствола у шейки корня, см; $d_{1,3}$ – диаметр на высоте 1,3 м, см.

Коэффициент наплыва (по Н. П. Анучину) [1]:

$$q_n = \frac{d_{1,3}}{d_{0,1}}, \quad (2)$$

где q_n – коэффициент наплыва; $d_{1,3}$ – диаметр на высоте 1,3 м, см; $d_{0,1}$ – диаметр на 1/10 высоты дерева, см.

По измерениям и вычисленным данным выполнен статистический анализ указанных выше показателей. Все статистики по лесным участкам сведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные статистики формы ствола и морфологических признаков деревьев (фрагмент)

Статистики	Показатели				
	q_0	$d_{1,3}$	$d_{0,1}$	H	q_n
лесной участок 23-4					
Среднее	1,22	23,2	24,5	18,8	1,04
Стандартная ошибка	0,017	2,56	2,77	1,34	0,011
Минимум	1,10	5,3	5,0	5,3	0,94
Максимум	1,45	42,2	46,0	25,3	1,18
Коэффициент варьирования, %	6,8	55,0	56,6	35,9	5,1
Точность опыта, %	1,4	11,0	11,3	7,2	1,0
лесной участок 23-28					
Среднее	1,18	27,6	30,1	21,3	1,08
Стандартная ошибка	0,009	2,14	2,38	0,84	0,011
Минимум	1,10	9,5	9,5	13,3	0,10
Максимум	1,31	49,1	55,5	26,6	1,25
Коэффициент варьирования, %	4,3	43,3	44,0	21,9	5,7
Точность опыта, %	0,8	7,8	7,9	3,9	1,0

Примечание: q_0 – нулевой коэффициент формы; $d_{0,1}$ – диаметр на 0,1 Н, см; $d_{1,3}$ – диаметр на 1,3 см; H – высота дерева, м; q_n – коэффициент наплыва. Все статистические оценки достоверны и получены при уровне доверительной вероятности 95,4 %.

Морфологические признаки деревьев ($d_{0,1}$; $d_{1,3}$; H) характеризуются достаточно высокой изменчивостью 4,9–56,6 %. При этом точность опыта не превышает 15 %, что можно считать приемлемым для средних оценок. Коэффициенты формы (q_0 , q_n) имеют низкое варьирование от 2,7 до 9,8 %, что по шкале Н. Д. Дворецкого [11] считается слабой изменчивостью. Точность опыта для коэффициентов формы не превысила 3 %.

По данным измерений построены диаграммы 2-х типов: зависимость абсолютных диаметров и высот от основания дерева; связь коэффициентов формы и высот от основания дерева.

Коэффициенты формы определялись по формуле

$$q_i = \frac{d_i}{d_{1,3}}, \quad (3)$$

где q_i – коэффициент формы ствола; d_i – диаметр на различной высоте от основания дерева, см; $d_{1,3}$ – диаметр на высоте груди, см.

Полученные образующие диаметров и коэффициентов формы нижней части стволов деревьев аппроксимировались полиномом 3-го порядка следующего вида

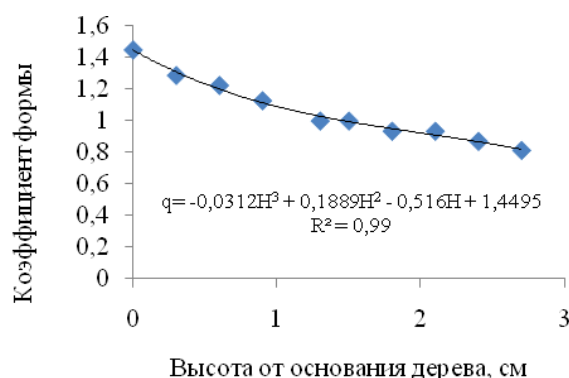
$$q_i = a \cdot H_i^3 + b \cdot H_i^2 + c \cdot H_i + d, \quad (4)$$

где d_i – диаметр ствола дерева, см; H_i – высота от основания дерева, см; a , b , c , d – коэффициенты полинома 3-го порядка.

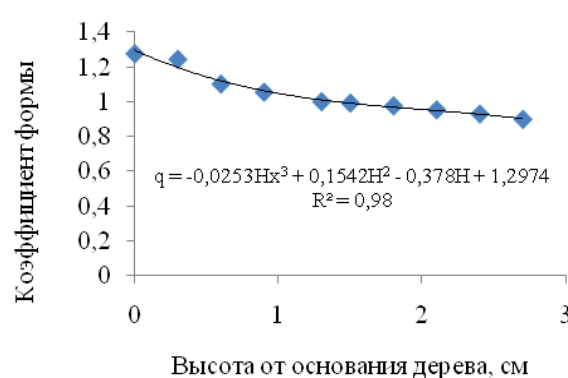
$$d_i = a \cdot H_i^3 + b \cdot H_i^2 + c \cdot H_i + d, \quad (5)$$

где q_i – коэффициент формы ствола; H_i – высота от основания дерева, см; a , b , c , d – коэффициенты полинома 3-го порядка.

В качестве примера приведены диаграммы связи $q_i = f(H_i)$ и $d_i = f(H_i)$ для участка 23-4 по ступеням толщины (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Связь коэффициента формы и высоты от основания дерева: а – ступень 8 см; б – ступень 32 см

Все выравнивающие полиномы 3-го порядка сведены в единую таблицу (табл. 2 и 3).

Для дальнейшей работы абсолютные диаметры (d_i) и коэффициенты формы (q_i) сведены в таблицы. Затем все модели без разделения по лесным участкам (участки располагаются в идентичных условиях) группировались по категориям высот:

5,1–10,0 м;
10,1–15,0 м;
15,1–20,0 м;
20,1–25,0 м;
25,1–30 м.

Для каждой группы и высоты от основания определен средний диаметр ($d_{i\text{cp}}$) и средний коэффициент формы ($q_{i\text{cp}}$) (табл. 3). Кроме средних диаметров ($d_{i\text{cp}}$)

и средних коэффициентов формы ($q_{i\text{cp}}$) по группам высот приведены минимальные и максимальные значения параметров.

С целью построения таблицы сбega по группам высот данные изображались на диаграммах изменения средних диаметров по высотам от основания деревьев (рис. 2).

В табл. 4 представлены уравнения образующих нижней части стволов дерева сосны (полиномы 3-го порядка). Все уравнения характеризуются высокой степенью адекватности $R^2 \square 0,99$.

На основании уравнений (табл. 4) составлена итоговая таблица сбega ствола сосны по группам высот (табл. 5).

Таблица 2

Параметры полиномиальных уравнений вида $d_i = a \cdot H_i^3 + b \cdot H_i^2 + c \cdot H_i + d$

и $q_i = a \cdot H_i^3 + b \cdot H_i^2 + c \cdot H_i + d$ (фрагмент)

Высота дерева, м	Степень толщины, см	Коэффициенты уравнения				Коэффициент детерминации
		a	b	c	d	
$d_i = a \cdot H_i^3 + b \cdot H_i^2 + c \cdot H_i + d$						
лесной участок 23-4						
5,3	4	0,07	0,51	0,11	5,69	0,95
12,3	8	-0,24	1,47	-3,99	11,23	0,99
12,8	12	-0,57	2,59	-4,37	13,58	0,97
23,9	16	-0,45	2,59	-5,21	20,22	0,98
18,2	20	-0,65	3,42	-7,69	25,80	0,94
24,3	24	-0,38	2,77	-7,94	30,05	0,99
22,9	28	-1,16	6,59	-14,25	38,67	0,99
22,5	32	-0,79	4,87	-11,99	41,18	0,98
24,4	36	-0,41	2,21	-6,36	38,69	0,91
24,0	40	-1,29	6,67	-12,72	45,89	0,99
25,3	44	0,05	0,69	-6,19	52,69	0,98
лесной участок 23-28						
13,3	8	-0,12	0,63	-2,34	11,67	0,99
14,0	12	0,24	-0,55	-2,27	13,82	0,99
14,5	20	-0,27	2,34	-6,94	25,23	0,92
20,8	24	-0,60	2,89	-6,80	27,58	0,99
26,2	28	-0,31	1,65	-5,25	31,33	0,99
26,3	32	0,02	1,43	-9,46	40,93	0,96
24,3	36	-0,73	2,67	-5,22	36,51	0,84
24,7	40	-0,71	2,96	-8,85	48,98	0,94
24,8	44	-0,59	4,60	-11,99	53,21	0,94
24,5	48	0,07	0,11	-5,32	52,95	0,99
25,6	56	0,87	-1,86	-8,56	68,76	0,99
$q_i = a \cdot H_i^3 + b \cdot H_i^2 + c \cdot H_i + d$						
лесной участок 23-4						
5,3	4	0,01	-0,99	-0,02	1,08	0,95
12,3	8	-0,03	0,19	-0,52	1,45	0,99
12,8	12	-0,05	0,24	-0,39	1,24	0,97
23,9	16	-0,03	0,16	-0,31	1,22	0,98
18,2	20	-0,03	0,16	-0,36	1,19	0,94
24,3	24	-0,02	0,12	-0,33	1,27	0,99
22,9	28	-0,04	0,24	-0,51	1,37	0,99
22,5	32	-0,03	0,15	-0,38	1,29	0,98
24,4	36	-0,01	0,06	-0,18	1,09	0,91
24,0	40	-0,03	0,17	-0,32	1,19	0,99
25,3	44	0,00	0,01	-0,13	1,15	0,98
лесной участок 23-28						
13,3	8	-0,01	0,07	-0,25	1,23	0,99
14,0	12	0,02	-0,05	-0,22	1,32	0,99

Окончание таблицы 2

Высота дерева, м	Степень толщины, см	Коэффициенты уравнения				Коэффициент детерминации
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	
14,5	20	–0,01	0,11	–0,33	1,20	0,92
20,8	24	–0,03	0,13	–0,30	1,23	0,99
26,2	28	–0,01	0,06	–0,19	1,18	0,99
26,3	32	0,00	0,04	–0,29	1,24	0,96
24,3	36	–0,02	0,08	–0,16	1,12	0,84
24,7	40	–0,02	0,07	–0,22	1,18	0,94
24,8	44	–0,01	0,11	–0,27	1,19	0,94
24,5	48	0,00	0,01	0,12	1,15	0,99
25,6	56	0,02	–0,04	–0,15	1,24	0,99

Таблица 3

Статистики средних диаметров ($d_{i\text{cp}}$) и средних коэффициентов формы ($q_{i\text{cp}}$) по категориям высот

Статистики	Высота дерева, м	Показатели									
		0,1	0,3	0,6	0,9	1,3	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7
Средние диаметры ($d_{i\text{cp}}$)											
категория высоты 5,1–10,0 м											
Среднее	5,9	5,8	5,4	5,1	4,8	4,2	4,3	4,1	3,9	3,2	3,1
Минимум	4,6	4,3	4,0	4,0	4,0	3,3	3,3	2,8	3,0	2,3	2,0
Максимум	9,2	6,8	6,3	5,8	5,8	5,8	5,5	5,2	4,6	3,9	3,8
категория высоты 10,1–15,0 м											
Среднее	13,5	13,7	12,8	12,2	11,9	11,6	11,3	11,0	10,6	10,2	9,9
Минимум	12,3	8,5	7,8	7,3	6,8	6,8	6,8	6,8	6,5	6,3	5,3
Максимум	14,9	25,5	23,5	21,5	21,0	21,0	19,0	18,8	18,3	18,0	18,5
категория высоты 15,1–20,0											
Среднее	17,9	23,5	22,1	20,9	20,0	19,3	19,0	18,5	18,1	17,6	16,8
Минимум	15,2	13,3	12,0	10,8	10,3	9,5	9,5	9,3	9,0	8,5	8,3
Максимум	19,9	40,5	38,0	36,8	35,8	35,3	34,8	34,3	34,5	35,5	33,8
категория высоты 20,1–25,0											
Среднее	22,9	36,9	35,0	33,6	32,3	31,3	30,9	30,3	29,8	29,3	28,3
Минимум	20,3	19,5	18,0	17,3	16,0	15,3	15,5	15,8	15,5	15,3	14,8
Максимум	25,0	52,8	51,8	49,8	48,3	46,3	45,3	44,3	43,3	43,0	42,5
категория высоты 25,1–30,0											
Среднее	26,6	45,3	43,0	41,5	40,1	38,6	38,4	37,5	36,8	36,1	35,4
Минимум	25,3	31,5	29,5	28,3	28,0	25,0	26,3	25,3	24,5	24,3	23,0
Максимум	30,8	68,5	66,5	63,5	59,5	55,5	55,3	53,5	50,3	48,8	49,5
Средние коэффициенты формы ($q_{i\text{cp}}$)											
категория высоты 5,1–10,0 м											
Среднее	5,9	1,25	1,15	1,11	1,04	1,00	0,93	0,87	0,83	0,67	0,66
Минимум	4,6	1,09	1,07	1,00	0,94	1,00	0,88	0,79	0,75	0,60	0,62
Максимум	9,2	1,47	1,29	1,24	1,23	1,00	1,00	0,94	0,93	0,82	0,77
категория высоты 10,1–15,0 м											
Среднее	13,5	1,22	1,13	1,08	1,04	1,00	0,98	0,96	0,93	0,89	0,86
Минимум	12,3	0,71	0,73	0,78	0,79	1,00	0,89	0,87	0,83	0,79	0,76
Максимум	14,9	1,48	1,36	1,23	1,13	1,05	1,15	1,06	1,04	0,97	0,97
категория высоты 15,1–20,0											
Среднее	13,5	1,23	1,16	1,09	1,05	1,00	0,99	0,96	0,94	0,91	0,87
Минимум	12,3	1,13	1,05	0,98	1,00	1,00	0,91	0,87	0,86	0,83	0,77
Максимум	14,9	1,39	1,28	1,19	1,11	1,00	1,02	1,00	1,00	1,02	1,02
категория высоты 20,1–25,0											
Среднее	22,9	1,19	1,12	1,08	1,03	0,99	0,99	0,97	0,95	0,93	0,90
Минимум	20,3	1,02	0,99	0,97	0,94	0,93	0,92	0,89	0,87	0,85	0,78
Максимум	25,0	1,45	1,38	1,15	1,09	1,01	1,09	1,03	1,05	1,02	1,02
категория высоты 25,1–30,0											
Среднее	26,6	1,18	1,12	1,08	1,04	1,00	0,99	0,97	0,95	0,94	0,92
Минимум	25,3	1,09	1,05	1,02	0,96	1,00	0,92	0,86	0,83	0,79	0,80
Максимум	30,8	1,49	1,30	1,21	1,12	1,00	1,07	1,05	1,06	1,05	1,02

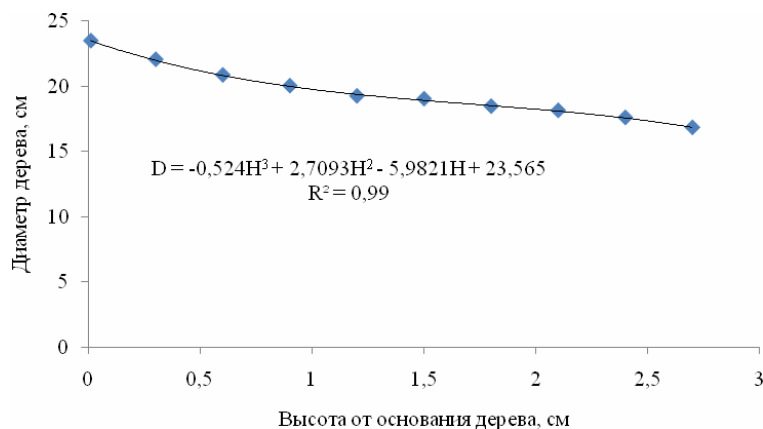


Рис. 2. Изменения средних диаметров по высотам от основания дерева (категория высоты 15,1–20,0 м)

Таблица 4

Уравнения образующих стволов деревьев сосны по группам высоты вида $d_i = a \cdot H_i^3 + b \cdot H_i^2 + c \cdot H_i + d$

Группы высоты, м	Коэффициенты уравнения				Коэффициент детерминации
	a	b	c	d	
5,1–10,0	–0,08	0,27	–1,17	5,74	0,99
10,1–15,0	–0,28	1,32	–2,95	13,63	0,99
15,1–20,0	–0,52	2,71	–5,98	23,57	0,99
20,1–25,0	–0,63	3,38	–7,79	37,06	0,99
25,1–30,0	–0,54	3,21	–8,44	45,39	0,99

Таблица 5

Сбег ствола сосны по группам высот

Высота от основания, м	Диаметр, см				
	группа высоты, м				
	5,1–10,0	10,1–15,0	15,1–20,0	20,1–25,0	25,1–30,0
0,0	5,7	13,6	23,5	37	45,3
0,5	5,2	12,4	21,2	33,9	41,9
1,0	4,8/0,002	11,7/0,013	19,8/0,037	32/0,093	39,6/0,142
1,5	4,3	11,2	18,9	30,9	38,1
2,0	3,9/0,001	10,8/0,010	18,2/0,028	30/0,075	37/0,115
2,5	3,3	10,2	17,4	28,9	35,9
3,0	2,5/0,001	9,1/0,008	15,9/0,023	27,2/0,064	34,3/0,100

Примечание: $\frac{d_i}{v_i}$ – числитель – абсолютный диаметр, см; знаменатель – объём однометрового отреза, м³.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования получены следующие выводы.

При проведении анализа и определении таксационных показателей посредством вычисления различных формул установлена средняя форма древостоя по группам высот, образующие нижней части модельных деревьев, коэффициенты формы и сбег ствола сосны обыкновенной.

Построены диаграммы, отражающие связи коэффициентов формы и высот от основания дерева.

Все рассчитанные показатели (абсолютные диаметры и коэффициенты формы) объединены в единые таблицы без разделения по условиям произрастания. Исследование показало незначительные отличия в средних значениях коэффициентов формы, что под-

тверждает однородность насаждений произрастающих в одних и тех же условиях. Все уравнения обладают высокой степенью адекватности. Точность опыта так же является приемлемой.

Представлена итоговая таблица сбega нижней части стволов деревьев сосны обыкновенной. Можно отметить уменьшение сбегистости при увеличении среднего диаметра. Таблица сбega отражает объём однометровых отрезков, что необходимо при определении объема и запаса древесины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Анучин Н. П. Лесная таксация : учебник для вузов. 5-е изд., доп. М. : Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
2. Багинский В. Ф. Таксация леса : учеб. пособие. Гомель : ГТУ им Ф. Скорины, 2012. 548 с.

3. Верхунов П. М., Черных В. Л. Таксация леса : учеб. пособие. 2-е изд., стереотип. Йошкар-Ола : Марийский гос. техн. ун-т, 2009. 349 с.
4. Вайс А. А. Форма стволов, конкуренция и горизонтальная структура на уровне растущего дерева в сосновых насаждениях Восточной Сибири // Вестник КрасГАУ. 2006. № 140. С. 140–145.
5. Гурский А. А. Форма стволов сосны в молодых и средневозрастных древостоях ленточных боров Казахстана : сб. реф. и докл. Алма-Ата, 1970. С. 58–66.
6. Захаров В. К. Лесная таксация : учебник для вузов. М. : Высшая школа, 1961. 359 с.
7. Кофман Г. Б. Рост и форма деревьев : учебник для вузов. Новосибирск : Наука, 1986. 211 с.
8. Лебков В. Ф., Каплина Н. Ф. Закономерности вертикальной структуры массы стволов деревьев сосны обыкновенной : учебник для вузов. Успенское Московской обл. : Лесное хозяйство, 2005. С. 24–26.
9. Орлов М. М. Лесная таксация : учебник для вузов. 3-е изд. Ленинград : Лесное хоз-во и лесн. пром-сть, 1929. 530 с.
10. Вайс А. А. Моделирование видовых чисел на основе морфолого-пространственных признаков деревьев // Вестник Моск. гос. ун-та – Лесной вестник. 2007. № 1. С. 42–46.
11. Павлов Н. С., Смольянов А. С., Вайс А. А. Математические методы в лесном хозяйстве : учеб. пособие / СибГТУ. Красноярск, 2005. 191 с.
12. Вайс А. А., Воробьева И. А. Форма нижней части деревьев основных лесообразующих пород Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2015. Т. XXXI, № 1-2. С. 7–12.
13. Шевелёв С. Л. Таксация леса : учеб. пособие / СибГАУ. Красноярск, 2016. 265 с.
14. Цай С. И., Пискун А. Т., Кузьменков М. В. Сосновые и лиственничные леса Бурятской АССР: таксационный очерк. Улан-Удэ, 1981. 159 с.
2. Baginskiy V. F. Taksatsiya lesa : ucheb. posobiye. Gomel' : GGU im F. Skoriny, 2012. 548 s.
3. Verkhunov P. M., Chernykh V. L. Taksatsiya lesa : ucheb. posobiye. 2-e izd., stereotip. Yoshkar-Ola : Mariyskiy gos. tekhn. un-t, 2009. 349 s.
4. Vays A. A. Forma stvolov, konkurentsia i gorizontalnaya struktura na urovne rastushchego dereva v sosnovykh nasazhdeniyakh Vostochnoy Sibiri // Vestnik KrasGAU. 2006. № 140. S. 140–145.
5. Gurskiy A. A. Forma stvolov sosny v molodykh i srednevozrastnykh drevostoyakh lentochnykh borov Kazakhstana : sb. ref. i dokl. Alma-Ata, 1970. S. 58–66.
6. Zakharov V. K. Lesnaya taksatsiya : uchebnik dlya vuzov. M. : Vysshaya shkola, 1961. 359 s.
7. Kofman G. B. Rost i forma derev'yev : uchebnik dlya vuzov. Novosibirsk : Nauka, 1986. 211 s.
8. Lebkov V. F., Kaplina N. F. Zakonomernosti vertikal'noy struktury massy stvolov derev'yev sosny obyknovennoy : uchebnik dlya vuzov. Uspenskoye Moskovskoy obl. : Lesnoye khozyaystvo, 2005. S. 24–26.
9. Orlov M. M. Lesnaya taksatsiya : uchebnik dlya vuzov. 3 e izd. Leningrad : Lesnoye khoz-vo i lesn. prom-st', 1929. 530 s.
10. Vays A. A. Modelirovaniye vidovykh chisel na osnove morfologo-prostranstvennykh priznakov derev'yev // Vestnik Mosk. gos. un-ta – Lesnoy vestnik. 2007. № 1. S. 42–46.
11. Pavlov N. S., Smol'yanov A. S., Vays A. A. Matematicheskiye metody v lesnom khozyaystve : ucheb. posobiye / SibGTU. Krasnoyarsk, 2005. 191 s.
12. Vays A. A., Vorob'yeva I. A. Forma nizhney chasti derev'yev osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Sibiri // Khvoynyye boreal'noy zony. 2015. T. XXXI, № 1-2. S. 7–12.
13. Shevel'ev S. L. Taksatsiya lesa : ucheb. posobiye / SibGAU. Krasnoyarsk, 2016. 265 s.
14. Tsay S. I., Piskun A. T., Kuz'menkov M. V. Sosnovyye i listvennichnyye lesa Buryatskoy ASSR: taksatsionnyy ocherk. Ulan Ud-e, 1981. 159 s.

REFERENCES

1. Anuchin N. P. Lesnaya taksatsiya : uchebnik dlya vuzov. 5-e izd., dop. M. : Lesn. prom-st', 1982. 552 s.

© Каштальянов П. А., Вайс А. А., 2022

Поступила в редакцию 20.06.2021
Принята к печати 01.04.2022

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СЕМЯН И СЕЯНЦЕВ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ С ОТСЕЛЕКТИРОВАННЫХ ДЕРЕВЬЕВ БУРЯТСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

С. В. Попова, Р. Н. Матвеева, Б. Б. Ринчинов

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский Рабочий», 31
E-mail: zujlrf11@yandex.ru

Приводятся данные об изменчивости семенного потомства отселектированных по урожайности деревьев под номером 1, 2 и 5, произрастающих в Курумканском лесничестве Бурятии. Деревья имеют возраст 170–180 лет, высоту 20–22 м, диаметр ствола 28–32 см. Установлен уровень изменчивости семян по размерам и зрелости, показателям однолетних и двухлетних сеянцев. Наибольшие биометрические показатели по крупности и зрелости семян были у потомства дерева № 2. Значительная теснота связи установлена между количеством семядолей и длиной первичной хвои; длиной семядолей и длиной первичной хвои; количеством и длиной первичной хвои. Умеренная связь установлена между высотой, количеством, длиной семядолей и длиной первичной хвои; количеством и длиной семядолей. Установлена изменчивость по форме семядолей. Наибольшее количество сеянцев с серповидными семядолями было у потомства деревьев № 5 и № 1, с прямыми – № 2. Сеянцы, выращенные из семян, собранных с дерева № 1 имеют превышение по высоте однолетних и двухлетних сеянцев, длине первичной хвои, количеству и длине семядолей. Среди семенного потомства дерева № 1 были отселектированы быстрорастущие сеянцы и экземпляры, отличающиеся развитием ассимиляционного аппарата, включающего количество, длину семядолей и первичной хвои. За данными экземплярами наблюдения будут продолжены с целью проведения многократного отбора для выращивания селекционного посадочного материала.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, семена, сеянцы, изменчивость, отбор.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 2, P. 128–134

VARIABILITY OF SEEDS AND SEEDLINGS OF SIBERIAN CEDAR PINE FROM SELECTED TREES OF BURYAT ORIGIN

S. V. Popova, R. N. Matveeva, B. B. Rinchinov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: zujlrf11@yandex.ru

The data on the variability of seed progeny of trees selected by yield numbers 1, 2 and 5 growing in the Kurumkan forestry of Buryatia are presented. The trees are 170–180 years old, height is 20–22 m, trunk diameter is 28–32 cm. The level of variability of seeds in size and maturity, indicators of annual and biennial seedlings has been established. The greatest biometric indicators for the size and maturity of seeds were in the offspring of tree No. 2. A significant closeness of the relationship is established between the number of cotyledons and the length of the primary needles; the length of cotyledons and the length of the primary needles; the number and length of primary needles. A moderate relationship has been established between the height, number, length of cotyledons and the length of primary needles; the number and length of cotyledons. Variability in the shape of cotyledons has been established. The largest number of seedlings with sickle-shaped cotyledons were in the offspring of trees No. 5 and No. 1, with straight ones – No. 2. Seedlings grown from seeds collected from tree No. 1 have an excess in height of annual and biennial seedlings, the length of primary needles, the number and length of cotyledons. Among the seed progeny of tree No. 1, fast-growing seedlings and specimens were selected, differing in the development of the assimilation apparatus, including the number and length of cotyledons and primary needles. Observations of these specimens will be continued in order to conduct multiple selection for the cultivation of breeding planting material.

Keywords: Siberian cedar pine, seeds, seedlings, variability, selection.

ВВЕДЕНИЕ

Изменчивость показателей семенного потомства изучается с целью отбора экземпляров по хозяйственно ценным признакам для последующего их исполь-

зования в лесокультурном производстве Р. Н. Матвеева и др. [5; 9] и В. Л. Черепнин [13].

Н. П. Братилова и др. [1; 2] отразили изменчивость всходов и сеянцев сосны кедровой сибирской в зави-

симости от географического происхождения в условиях юга Средней Сибири. Была установлена вариабельность всходов по числу семядолей (от 6 до 15 штук), показателей роста сеянцев. Отсекалированы в каждом потомстве разных климатипов экземпляры по высоте и числу семядолей.

Изменчивость показателей семян и сеянцев сосны кедровой сибирской алтайского происхождения показана в работе Р. Н. Матвеевой и др. [8]. Семена отличались по длине (11,0–13,7 мм), ширине (7,3–9,5 мм), степени зрелости (отношение длины зародыша к длине семенного канала) от 61,3 до 80,7 %. Установлена высокая теснота связи между длиной семян и их шириной; высотой сеянцев и длиной семядолей и значительная теснота связи между высотой сеянцев и длиной первичной хвои.

Проведены исследования Н. Н. Лихенко и др. [3] по изучению изменчивости показателей шишек и семян клонов плюсовых деревьев сосны кедровой сибирской аттестованных по семенной продуктивности. Были отсекалированы экземпляры по крупности и выходу семян из шишек.

Ю. Е. Щерба и др. [14; 15] установлена изменчивость шишек и семян клонового потомства плюсовых деревьев сосны кедровой сибирской на гибридно-семенной плантации, где размещены рамы разного географического происхождения, а также однолетних сеянцев с отсекалированных по урожайности деревьев местного (бирюсинского) 8-36 и алтайского (5-34) происхождения. Установлено проявление индивидуальной изменчивости в зависимости от географического происхождения материнских деревьев.

Изменчивость клонового потомства плюсовых деревьев новосибирского происхождения, произрастающего на плантации в Караульном лесничестве Учебно-опытного лесхоза СибГУ им М. Ф. Решетнева, приведена в работах Р. Н. Матвеевой и др. [6; 7], С. В. Поповой и др. [11].

Исследования по изменчивости семенного потомства сосны обыкновенной были проведены А. А. Мордась и др. [10]. Они установили наличие связи между показателями сеянцев. Изменчивость семян данного вида приведена в монографии В. Л. Черепнина [13].

Изменчивость семян и сеянцев сосны обыкновенной, наличие связи между показателями, приведены в работах зарубежных авторов R. S. Mukherjee и др. [16], N. B. Sheeraz Saleem Bhat и др. [17], H. Tranvan, M. Thomas [18], Xu Liang [19].

Целью наших исследований явилось изучить изменчивость семян и сеянцев от деревьев сосны кедровой сибирской, выделенных по семенной продуктивности в условиях Бурятии.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований были семена, однолетние и двухлетние сеянцы сосны кедровой сибирской с отсекалированных деревьев бурятского происхождения, которые произрастают в Курумканском лесничестве Бурятии в кварталах номер 47 и 29. Показатели отсекалированных деревьев, с которых были собраны шишки, приведены в табл. 1.

Из приведенных данных видно, что материнские деревья имели возраст 170–180 лет, высоту – 20–22 м. Диаметр ствола в среднем составил 30,3 см.

Шишки были собраны с деревьев осенью 2017 г. После стратификации семян был проведен их посев в 2018 году. Сопоставили показатели семян: длину, ширину, зрелость. У однолетних сеянцев определили высоту, количество и длину первичной хвои и семядолей, у двухлетних – высоту и длину пучковой хвои. Полученные данные обработаны статистически с использованием программы *Microsoft Excel*. Изменчивость показателей оценивали по шкале С. А. Мамаева [4]. Тесноту корреляционной связи устанавливали по таблице Э. Н. Фалалеева, А. С. Смольянова [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показатели семян сосны кедровой сибирской с отсекалированных деревьев, которые были использованы для выращивания сеянцев, приведены в табл. 2.

Средняя длина семени составила – 11,4 мм; ширина – 7,3 мм; длина зародыша – 6,2 мм, зрелость семян по опыту – 70,9 %. Уровень изменчивости по длине семени низкий и средний, ширине семени – от низкого до повышенного; длине зародыша – средний и повышенный; зрелости семян – средний. Наименьшие показатели по длине, ширине семени были у дерева № 1, длине зародыша и зрелости семян – № 5 ($t_{\phi} > t_{05}$). Установлена значительная теснота связи между длиной и шириной семени ($r = 0,540$),

Показатели однолетних сеянцев, выращенных из семян с отсекалированных деревьев, приведены в табл. 3.

У однолетних сеянцев от разных деревьев средняя высота варьирует от 3,3 до 4,7 см. Среднее количество первичной хвои от 7,1 до 8,0 шт., длина первичной хвои – 1,0–1,5 см. Наибольшее количество семядолей отмечено у дерева № 1. Средняя длина семядолей по опыту равна 3,4 см. Уровень варьирования сеянцев с отсекалированных деревьев средний и повышенный по высоте; повышенный и высокий по количеству первичной хвои; средний и высокий по длине первичной хвои; низкий и повышенный по количеству семядолей и низкий и средний по их длине.

Таблица 1
Расположение и характеристика отсекалированных деревьев

Номер			Возраст, лет	Высота		Диаметр ствола	
дерева	квартал	выдел		м	%, к $X_{\text{ср}}$	см	%, к $X_{\text{ср}}$
1	47	1	170	21	100,0	32	105,6
2	47	2	180	22	104,8	31	102,3
5	29	9	180	20	95,2	28	92,4
Среднее значение			176,6	21	100,0	30,3	100,0

Таблица 2

Показатели семян сосны кедровой сибирской бурятского происхождения

Номер дерева	Хср.	$\pm\delta$	$\pm m$	V, %	P, %	t_{ϕ} при $t_{05} = 2,03$	Уровень изменчивости
Длина семени, мм							
1	10,7	1,30	0,41	12,1	3,8	2,07	средний
2	11,5	0,97	0,31	8,5	2,7	0,78	низкий
5	11,9	1,30	0,41	10,9	3,5	–	низкий
Ширина семени, мм							
1	6,6	1,30	0,41	19,7	6,2	2,40	средний
2	7,7	0,65	0,21	8,4	2,7	–	низкий
5	7,5	1,62	0,51	21,6	6,8	0,36	повышенный
Длина зародыша, мм							
1	7,2	1,62	0,51	22,5	7,1	–	повышенный
2	6,3	1,30	0,41	20,6	6,5	1,37	повышенный
5	5,0	0,97	0,31	19,5	6,2	3,67	средний
Зрелость семян, %							
1	75,4	14,61	4,62	19,4	6,1	0,28	средний
2	77,2	13,96	4,41	18,1	5,7	–	средний
5	60,2	10,84	3,43	18,0	5,7	3,04	средний

Таблица 3

Показатели однолетних сеянцев сосны кедровой сибирской

Номер дерева	Хср.	$\pm\delta$	$\pm m$	V, %	P, %	t_{ϕ} при $t_{05} = 2,03$	Уровень изменчивости
Высота, см							
1	4,7	0,76	0,15	16,2	3,2	–	средний
2	3,5	0,85	0,23	24,3	6,5	4,39	повышенный
5	3,3	0,43	0,08	13,2	2,3	8,22	средний
Количество первичной хвои, шт.							
1	8,0	1,77	0,35	22,2	4,4	–	повышенный
2	7,2	2,69	0,75	37,4	10,4	0,97	высокий
5	7,1	2,42	0,43	34,0	6,0	1,62	высокий
Длина первичной хвои, см							
1	1,5	0,25	0,05	16,9	3,4	–	средний
2	1,0	0,36	0,10	35,9	10,0	4,47	высокий
5	1,2	0,39	0,07	32,2	5,7	3,53	высокий
Количество семядолей, шт.							
1	11,8	1,27	0,25	10,7	2,1	–	низкий
2	10,2	1,20	0,33	11,7	3,3	3,83	низкий
5	10,3	2,42	0,43	23,5	4,1	3,02	повышенный
Длина семядолей, см							
1	4,0	0,33	0,07	8,2	1,6	–	низкий
2	3,0	0,33	0,09	11,0	3,0	8,88	низкий
5	3,3	0,51	0,09	15,4	2,7	6,29	средний

Наибольшими показателями отличалось потомство дерева № 1. Было выявлено, что сеянцы сосны кедровой сибирской имели прямую и серповидную форму семядолей (см. рисунок).

Наибольшее количество сеянцев (43 % и 40 %) с серповидными семядолями было в вариантах № 5 и № 1.

Коэффициенты корреляции между показателями однолетних сеянцев приведены в табл. 4.

Значительная степень тесноты связи сеянцев отмечена по таким показателям как количество семядолей и длина первичной хвои; длина семядолей и длина первичной хвои; количество и длина первичной хвои. Умеренная связь установлена между высотой, коли-

чеством, длиной семядолей и длиной первичной хвои; количеством и длиной семядолей.

В двухлетнем возрасте сеянцы имели средние показатели по высоте – 4,9–6,0 см, длине хвои – 4,1–4,4 см (табл. 5).

Среди потомства дерева № 1 были отобраны экземпляры по количеству, длине семядолей и первичной хвои однолетних сеянцев. Превышение над средним значением составило более чем на 10 %.

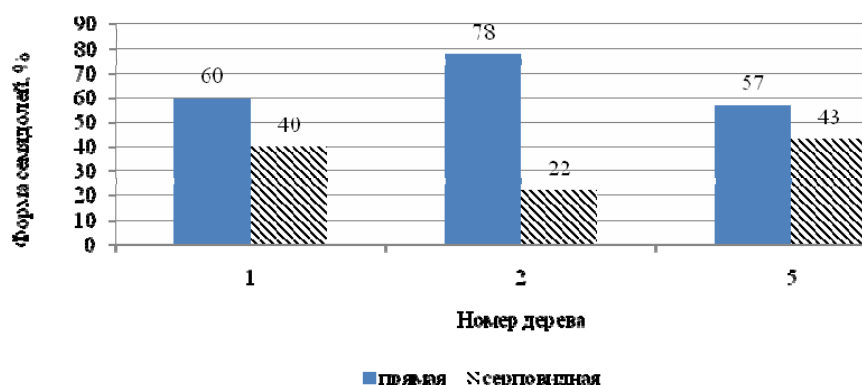
Отобранные экземпляры среди однолетних сеянцев приведены в табл. 6.

Выделены сеянцы, отличающиеся наибольшими показателями по развитию ассимиляционного аппарата. Превышение количества первичной хвои у сеян-

ца № 4 составило 62,2 %, её длине – 50,0 %, длине семядолей – 32,4 %; № 5 – по количеству первичной хвои на 48,6 %, длине первичной хвои на 66,7 %, длине семядолей на 23,5 %; № 11 – по длине первичной хвои на 41,7 %, длине семядолей на 35,3 %, количеству

в первичной хвои на 21,6 %. Наибольшее превышение по количеству семядолей было у сеянцев № 17 и № 21.

В табл. 7 приведены отобраненные по высоте двухлетние сеянцы.



Распределение сеянцев по форме семядолей

Таблица 4

Коэффициенты корреляции и степень тесноты связи между показателями

Показатель	<i>r</i>	Степень тесноты связи
Высота и количество семядолей	0,377	умеренная
Высота и длина семядолей	0,446	умеренная
Высота и длина первичной хвои	0,428	умеренная
Количество и длина семядолей	0,482	умеренная
Количество семядолей и длина первичной хвои	0,516	значительная
Длина семядолей и длина первичной хвои	0,599	значительная
Количество и длина первичной хвои	0,543	значительная

Таблица 5

Изменчивость показателей двухлетних сеянцев сосны кедровой сибирской с отобраненных деревьев

Номер дерева	Хср.	$\pm\delta$	$\pm m$	V, %	P, %	t_{ϕ} при $t_{05}=2,03$	Уровень изменчивости
Высота, см							
1	6,0	0,69	0,18	11,5	3,0	–	низкий
2	5,5	0,72	0,19	13,1	3,4	1,94	средний
5	4,9	0,66	0,17	13,5	3,5	4,45	средний
Длина хвои, см							
1	4,4	0,72	0,19	16,4	4,2	–	средний
2	4,1	0,84	0,22	20,4	5,3	1,05	средний
5	4,3	0,66	0,17	15,4	4,0	0,40	средний

Таблица 6

Отобраненные экземпляры по показателям семядолей, первичной хвои

Номер сеянца	Показатель	% к Хср.	Номер сеянца	Показатель	% к Хср.
Количество семядолей, шт.					
2	13,0	120,4	15	13,0	120,4
4	12,0	111,1	16	13,0	120,4
5	12,0	111,1	17	14,0	129,6
8	12,0	111,1	20	12,0	111,1
11	12,0	111,1	21	14,0	129,6
13	12,0	111,1	24	13,0	120,4
14	13,0	120,4	25	12,0	111,1
Среднее значение по опыту				10,8	100,0

Окончание таблицы 6

Номер сеянца	Показатель	% к Хср.	Номер сеянца	Показатель	% к Хср.
Длина семядолей, см					
1	4,3	126,5	12	4,0	117,6
3	4,1	120,6	13	4,1	120,6
4	4,5	132,4	15	4,0	117,6
5	4,2	123,5	16	4,1	120,6
6	4,0	117,6	17	3,8	111,8
8	4,3	126,3	18	4,1	120,6
9	4,5	132,4	21	4,1	120,6
10	4,4	129,4	23	4,0	117,6
11	4,6	135,3	24	4,0	117,6
			25	4,2	123,5
Среднее значение по опыту				3,4	100,0
Количество первичной хвои, шт.					
3	10,0	135,1	11	9,0	121,6
4	12,0	162,2	12	10,0	135,1
5	11,0	148,6	19	9,0	121,6
6	9,0	121,6	20	10,0	135,1
8	9,0	121,6	21	10,0	135,1
9	9,0	121,6			
Среднее значение по опыту				7,4	100,0
Длина первичной хвои, см					
1	1,6	133,3	11	1,7	141,7
2	1,5	125,0	12	1,5	125,0
3	1,6	133,3	15	1,5	125,0
4	1,8	150,0	17	1,6	133,3
5	2,0	166,7	18	1,5	125,0
6	1,5	125,0	19	1,5	125,0
8	1,7	141,7	21	1,8	150,0
9	1,5	125,0	23	1,6	133,3
10	1,5	125,0	25	1,5	125,0
Среднее значение по опыту				1,2	100,0

Таблица 7
Отселектированные двухлетние сеянцы по высоте

Номер сеянца	Высота		Номер сеянца	Высота	
	см	% к Хср.		см	% к Хср.
2	7,7	151,0	9	5,8	113,7
3	6,0	117,6	10	6,0	117,6
4	6,1	119,6	11	6,2	121,6
6	6,5	127,5	12	5,9	115,7
7	6,1	119,6	14	5,8	113,7
8	5,9	115,7	15	6,0	117,6
Среднее значение по опыту				5,1	100,0

Наибольшее превышение по высоте отмечено у сеянцев № 2, № 6 и № 11 в сравнении со средним значением по опыту. Превышение по высоте составило 51,0 %, 27,5 % и 21,6 %, соответственно.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований было установлено проявление индивидуальной изменчивости показателей семян, однолетних и двухлетних сеянцев в семенном потомстве отселектированных деревьев. Индивидуальная изменчивость показателей семян от низкой до повышенной, показателей однолетних сеянцев от низкой до высокой, двухлетних от низкой

до очень высокой. Семена от дерева № 2 имеют наибольшие показатели по их крупности и зрелости. Индивидуальная изменчивость показателей однолетних сеянцев варьирует от низкой до высокой, двухлетних сеянцев по высоте и длине хвои низкая и высокая. Отселектированы однолетние и двухлетние сеянцы по показателям роста и развитию ассимиляционного аппарата. Корреляционный анализ данных показал, что между длиной и шириной семени; количеством семядолей и длиной первичной хвои; длиной семядолей и длиной первичной хвои; количеством и длиной первичной хвои наблюдается значительная теснота связи. Потомство дерева № 1 имеет наибольшее количество

отселектированных сеянцев по интенсивности роста и развитию ассимиляционного аппарата. Наблюдения за отселектированными экземплярами будут продолжены с целью выращивания селекционного посадочного материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Братилова Н. П. Изменчивость кедра сибирского в плантационных культурах юга Средней Сибири в зависимости от формового разнообразия всходов и сеянцев / СибГТУ. Красноярск, 2005. 116 с.
2. Братилова Н. П., Орешенко С. А. Рост сеянцев сосны кедровой сибирской различного географического происхождения // Вестник КрасГАУ, 2010. № 1. С. 62–65.
3. Лихенко Н. Н., Чудная А. П., Капко Т. Н. Изменчивость шишек и семян клонов сосны кедровой сибирской (*pinus sibirica* Du Tour) в Краснообске // Генофонд и селекция растений. Новосибирск, 2020. С. 188–192.
4. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М. : Наука, 1973. 284 с.
5. Матвеева, Р. Н. Буторова О. Ф. Генетика, селекция, семеноводство кедр сибирского. Красноярск : СибГТУ, 2000. 243 с.
6. Матвеева Р. Н., Колосовская Ю. Е., Бажина И. А., Шутова Н. Ю., Колосовский Э. В. Изменчивость двухлетних сеянцев сосны кедровой сибирской от привитых клонов, произрастающих на гибридно-семенной плантации // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. Красноярск : СибГТУ, 2013. С. 99–101.
7. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф., Щерба Ю. Е., Попова С. В. Изменчивость показателей однолетних сеянцев кедр сибирского – потомств клонов плюсовых деревьев 100/64 и 104/68 // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений ; СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2019. С. 120–122.
8. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф., Дырдин С. Н., Попова С. В., Чувазов П. А., Митюшина Е. В. Изменчивость семян, однолетних сеянцев из отселектированных шишек сосны кедровой сибирской алтайского происхождения // Хвойные бореальной зоны, 2019. Т. XXXVII, № 3-4. С. 229–234.
9. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф., Щерба Ю. Е., Попова С. В. Повышение эффективности восстановления кедр сибирского с использованием отселектированных сеянцев [Электронный ресурс] // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : материалы IV науч.-техн. конф. С.-Петербург : Политех-Пресс, 2019. С. 134–136. <http://spbftu.ru/wp-content/uploads/2019/05/Sbornik-Lesa-Rossii-2019.pdf> (дата обращения: 05.11.2021).
10. Мордась А. А., Раевский Б. В., Данилова Е. В. Изменчивость и взаимосвязь морфологических признаков и биометрических показателей сеянцев сосны обыкновенной // Лесной вестник. 2006. № 6. С. 26–33.
11. Попова С. В., Сизых Е. С., Щерба Ю. Е., Матвеева Р. Н. Изменчивость двухлетних сеянцев сосны кедровой сибирской – потомство рамет плюсового дерева 91/55 // Современные технологии «Наука и просвещение». 2019. С. 172–176.
12. Фалалеев Э. Н., Смольянов А. С. Математическая статистика. Красноярск, КГПУ 1981. 128 с.
13. Черепнин В. Л. Изменчивость семян сосны обыкновенной. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1980. 180 с.
14. Щерба Ю. Е., Попова С. В., Сарама Ч. М. Изменчивость шишек и семян клонов плюсовых деревьев сосны кедровой сибирской на ГСП (урожай 2016 г.) // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений : материалы XX Междунар. науч. конф. Красноярск. 2017. С. 244–246.
15. Щерба Ю. Е., Митюшина Е. В., Иванов А. С. Изменчивость однолетних сеянцев сосны кедровой сибирской с отселектированных по урожайности деревьев 8-36 и 5-34 // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений : материалы XXI Междунар. науч. конф. Красноярск, 2018. С. 299–301.
16. Mukherjee R. S. Thapliyal R. C., Phartyal S. S. Seed source variation in cone, seed and seedling characteristic across the natural distribution of Himalayan low level pine *Pinus roxburghii* Sarg // *Silvae genet.* 2004. T. 53, No. 3. Pp. 116–123.
17. Sheeraz Saleem Bhat, Singh N. B., Sankhyan H. P., Sharma K. R. Variability studies for needle and wood traits of different half sib progenies of *Pinus roxburghii* Sargent [Электронный ресурс] // *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2016. T. 22, Pp. 231–239. URL: <https://www.researchgate.net/publication/303978343> (дата обращения: 05.11.2021).
18. Tranvan H., Thomas M. Aptitudes morphogenetiques des plantules et des fragments de plantules du *Pinus silvestris* L. en culture in vitro // *Bull.Soc.bot. France. Actual. bot*, 1981. T. 128. No. 3. Pp. 151–163.
19. Xu Liang, Bao Weikai, He Yonghua. Морфологические признаки и географическая изменчивость шишек и семян в четырех популяциях *Cupressus chengiana* S. Y. // *Yingyong yu huanjing shegwxuebao* = *Chin. J. Appl. and Environ. Biol.*, 2004. T. 10, No. 6. Pp. 707–711.

REFERENCES

1. Bratilova N. P. Izmenchivost' kedra sibirskogo v plantatsionnykh kul'turakh yuga Sredney Sibiri v zavisimosti ot formovogo raznoobraziya vskhodov i seyantsev / SibGTU. Krasnoyarsk, 2005. 116 s.
2. Bratilova N. P., Oreshenko S. A. Rost seyantsev sosny kedrovoy sibirskoy razlichnogo geograficheskogo proiskhozhdeniya // Vestnik KrasGAU, 2010. № 1. S. 62–65.
3. Likhenko N. N., Chudnaya A. P., Kapko T. N. Izmenchivost' shishek i semyan klonov sosny kedrovoy sibirskoy (pinus sibirica Du Tour) v Krasnoobске // Genofond i selektsiya rasteniy. Novosibirsk, 2020. S. 188–192.
4. Mamayev S. A. Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy. M. : Nauka, 1973. 284 s.
5. Matveyeva R. N. Butorova O. F. Genetika, selektsiya, semenovodstvo kedra sibirskogo. Krasnoyarsk : SibGTU, 2000. 243 s.
6. Matveyeva R. N., Kolosovskaya Yu. E., Bazhina I. A., Shutova N. Yu., Kolosovskiy E. V. Izmenchivost' dvukhletnikh seyantsev sosny kedrovoy sibirskoy ot privitykh klonov, proizrastayushchikh na gibridno-

semennoy plantatsii // Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy. Krasnoyarsk : SibGTU, 2013. S. 99–101.

7. Matveyeva R. N., Butorova O. F., Shcherba Yu. E., Popova S. V. *Izmenchivost' pokazateley odnoletnikh seyantsev kedra sibirskogo – potomstv klonov plyusovykh derev'yev 100/64 i 104/68* // Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy ; SibGU im. M. F. Reshetneva. Krasnoyarsk, 2019. S. 120–122.

8. Matveyeva R. N., Butorova O. F., Dyrdin S. N., Popova S. V., Chuvashov P. A., Mityushina E. V. *Izmenchivost' semyan, odnoletnikh seyantsev iz otselektirovannykh shishek sosny kedrovoy sibirskoy altayskogo proiskhozhdeniya* // Khvoynyye boreal'noy zony, 2019. T. XXXVII, № 3-4. S. 229–234.

9. Matveyeva R. N., Butorova O. F., Shcherba Yu. E., Popova S. V. *Povysheniye effektivnosti vosstanovleniya kedra sibirskogo s ispol'zovaniyem otselektirovannykh seyan-tsev* [Elektronnyy resurs] // Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniye : materialy IV nauch.-tekhn. konf. S.-Peterburg : Politekh-Press, 2019. S. 134–136. <http://spbftu.ru/wp-content/uploads/2019/05/Sbornik-Lesa-Rossii-2019.pdf> (data obrashcheniya: 05.11.2021).

10. Mordas' A. A., Rayevskiy B. V., Danilova E. V. *Izmenchivost' i vzaimosvyaz' morfologicheskikh priznakov i biometricheskikh pokazateley seyantsev sosny obyknovennoy* // Lesnoy vestnik. 2006. № 6. S. 26–33.

11. Popova S. V., Sizykh E. S., Shcherba Yu. E., Matveyeva R. N. *Izmenchivost' dvukhletnikh seyantsev sosny kedrovoy sibirskoy – potomstvo ramet plyusovogo dereva 91/55* // Sovremennyye tekhnologii «Nauka i prosveshcheniye». 2019. S. 172–176.

12. Falaleyev E. N., Smol'yanov A. S. *Matematicheskaya statistika*. Krasnoyarsk : КГПУ, 1981. 128 s.

13. Cherepnin V. L. *Izmenchivost' semyan sosny obyknovennoy*. Novosibirsk : Nauka, Sib. otd-niye, 1980. 180 s.

14. Shcherba Yu. E., Popova S. V., Sarama Ch. M. *Izmenchivost' shishek i semyan klonov plyusovykh derev'yev sosny kedrovoy sibirskoy na GSP (urozhay 2016 g.)* // Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy : materialy XX Mezhdunar. nauch. konf. Krasnoyarsk. 2017. S. 244–246.

15. Shcherba Yu. E., Mityushina E. V., Ivanov A. S. *Izmenchivost' odnoletnikh seyantsev sosny kedrovoy sibirskoy s otselektirovannykh po urozhaynosti derev'yev 8-36 i 5-34* // Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy : materialy XXI Mezhdunar. nauch. konf. Krasnoyarsk, 2018. S. 299–301.

16. Mukherjee R. S., Thapliyal R. C., Phartyal S. S. *Seed source variation in cone, seed and seedling characteristic across the natural distribution of Himalayan low level pine Pinus roxburghii Sarg* // Silvae genet. 2004. T. 53, № 3. S. 116–123.

17. Sheeraz Saleem Bhat, Singh N. B., Sankhyan H. P., Sharma K. R. *Variability studies for needle and wood traits of different half sib progenies of Pinus roxburghii Sargent* [Elektronnyy resurs] // Physiology and Molecular Biology of Plants, 2016. T. 22, S. 231–239. URL: <https://www.researchgate.net/publication/303978343> (data obrashcheniya: 05.11.2021).

18. Tranvan H., Thomas M. *Aptitudes morhagene-tiques des plantues et des fragments de plantules du Pinus silvestris L. en culture in vitro* // Bull.Soc.bot. France. Actual. bot, 1981. T. 128. № 3. S. 151–163.

19. Xu Liang, Bao Weikai, He Yonghua. *Morfologicheskiye priznaki i geograficheskaya izmenchivost' shishek i semyan v chetyrekh populyatsiyakh Cupressus chengiana S. Y.* // Yingyong yu huanjing shegwuxuebao = Chin. J. Appl. and Environ. Biol., 2004. T. 10, № 6. S. 707–711.

© Попова С. В., Матвеева Р. Н.,
Ринчинов Б. Б., 2022

Поступила в редакцию 08.12.2021
Принята к печати 01.04.2022

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НА ПОЧВУ СМЕНЫ СОСНЯКОВ БЕРЕЗНЯКАМИ
В ЗЕЛЕННОЙ ЗОНЕ КРАСНОЯРСКА****П. А. Тарасов, А. В. Тарасова**

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

В целом ряде работ отмечается положительное влияние на почву в результате смены хвойных пород березой. Однако, по мнению М. Е. Ткаченко, характер этого влияния может быть различным, в зависимости от климатических и почвенно-топографических условий, а также других факторов. Исходя из этого, основная цель работы заключалась в оценке характера и степени влияния смены сосны березой на свойства почв в условиях зеленой зоны Красноярск. Для достижения данной цели были проведены сравнительные исследования типичных бескарбонатных среднесуглинистых темных буроземов в близких по возрасту (60–65 лет) мертвопокровном сосняке искусственного происхождения и естественном осочково-разнотравном березняке, сформировавшихся на месте вырубленных в конце 40-х годов прошлого века коренных сосновых древостоев.

Анализ полученных результатов выявил почвоулучшающий эффект березняка, проявившийся в большем содержании и запасах гумуса, углерода и азота, что, главным образом, обусловлено более высокими темпами биологического круговорота веществ. Однако, различия в содержании и запасах фосфора и калия, определяемых минералогическим составом почв исследуемых насаждений, выражены очень слабо.

В то же время, бурозем в березняке содержат больше поглощенных оснований, что в сочетании с лучшей гумусированностью, обусловило некоторое улучшение почвенной структуры. Это, в свою очередь, определило несколько меньшую плотность и большую общую пористость почвы, в сравнении с сосняком.

Таким образом, в условиях зеленой зоны насаждения березы обладают почвоулучшающим эффектом. Кроме того, учитывая состояние атмосферы в Красноярске и интенсивное рекреационное использование лесов его зеленой зоны, насаждения березы являются весьма перспективными, поскольку данная древесная порода более устойчива как к загрязнению воздуха, так и уплотнению почвы.

Ключевые слова: сосняк мертвопокровный, березняк осочково-разнотравный, бурозем темный, лесная подстилка, содержание и запасы гумуса и биогенных элементов, структура, физико-химические и общие физические свойства почв.

*Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 2, P. 135–144***ASSESSMENT OF THE IMPACT ON THE SOIL OF THE REPLACEMENT
OF PINE FORESTS BY BIRCH FORESTS IN THE GREEN ZONE OF KRASNOYARSK****P. A. Tarasov, A. V. Tarasova**

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

In a number of works, a positive effect on the soil is noted as a result of the replacement of coniferous species by birch. However, according to M. E. Tkachenko, the nature of this influence may be different, depending on climatic and soil-topographical conditions, as well as other factors. Based on this, the main aim of the work was to assess the nature and extent of the impact of pine-birch replacement on soil properties in the green zone of Krasnoyarsk. To achieve this aim, comparative studies of typical carbonate-free medium-loamy dark brown soils in close age (60–65 years) were conducted in a dead-cover pine of artificial origin and a natural sedge-grass birch, formed on the site of a native pine trees cut down in the late 40s of the last century.

The analysis of the obtained results revealed the soil-improving effect of birch forests, manifested in a higher content and reserves of humus, carbon and nitrogen, which is mainly due to higher rates of biological circulation of substances. However, the differences in the content and reserves of phosphorus and potassium, determined by the mineralogical composition of the soils of the studied plantings, are very poorly expressed.

At the same time, brown soils in birch forests contain more absorbed bases, which, combined with better humus content, led to some improvement in the soil structure. This, in turn, determined a slightly lower density and greater overall porosity of the soil, in comparison with pine forest.

Thus, in the conditions of the green zone, birch plantations have a soil-improving effect. In addition, taking into account the state of the atmosphere in Krasnoyarsk and the intensive recreational use of forests in its green zone, birch plantations are very promising, since this tree species is more resistant both to air pollution and soil compaction.

Keywords: *dead-cover pine, sedge-mixed birch, dark burozem, forest duff, content and reserves of humus and biogenic elements, structure, physico-chemical and general physical properties of soils.*

ВВЕДЕНИЕ

Расшифровка сложных связей и многообразных взаимоотношений в системе лес–почва является одной из приоритетных задач лесной биогеоценологии. Ее решение представляет интерес как в общебиологическом плане, так и с точки зрения практических вопросов генезиса и классификации почв, почвенно-геоботанического районирования, дистанционной индикации почвенного покрова и др. [20; 21; 23; 24]. Кроме того, положительное влияние древесных растений на почву является важным лесохозяйственным фактором, который может быть использован для повышения производительности почв путем смены пород или введения в состав насаждений почвоулучшающих видов арборифлоры [34; 36; 37].

В результате многолетнего применения сплошных рубок в сибирских регионах наблюдается активная смена коренных хвойных древостоев производными мелколиственными. Так, лишь в одном Приангарье только за 15-летний период на рубеже XX–XXI веков площадь сосновых насаждений сократилась почти на 214 тыс. га, тогда как занятая березняками, напротив, увеличилась на 60 тыс. га [9].

Столь масштабная по своим размерам смена сосны березой, заметно отличающейся по характеру и степени своего влияния на почву [12; 13; 37], определили актуальность оценки данного процесса с точки зрения лесного почвоведения. При этом в целом ряде работ [14; 31; 34; 38; 40] отмечается улучшение важнейших почвенных характеристик в результате смены хвойных пород березой. Главным образом, это обусловлено более высокой биологической активностью почвы, определяющей усиление гумусово-аккумулятивного процесса в насаждениях березы, вследствие чего в них возрастают почвенные запасы гумуса, подвижных форм азота, фосфора и калия [12; 25; 26].

Вместе с тем, М. Е. Ткаченко [37], подчеркивал, что «Одна и та же порода... при разных климатических и почвенно-топографических условиях и в зависимости от других обстоятельств будет оказывать на почву различное воздействие». Более поздние исследования подтвердили правомерность данного высказывания, в связи с чем разделение древесных пород на улучшающие и ухудшающие почву было признано весьма условным [24; 31; 42]. Исходя из этого, основная цель работы заключалась в оценке характера и степени влияния смены сосны березой на свойства почв в условиях зеленой зоны Красноярска.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на территории Городского лесничества г. Красноярска, относящейся к Среднесибирскому подтаежно-лесостепному району [28]. Объекты исследования были представлены бере-

зовым и сосновым насаждениями, произрастающими неподалеку от главного корпуса Сибирского федерального университета.

Первое из них имеет естественное семенное происхождение и сформировалось на месте вырубленного в конце 40-х годов прошлого века коренного сосняка. К моменту исследований средний возраст березняка составил около 70 лет, полнота – 0,7, средние высота и диаметр – соответственно 18 м и 20 см, класс бонитета – II. Данное насаждение относится к осочково-разнотравному типу, а его хорошо развитый живой напочвенный покров негативно влияет на лесовозобновительные процессы и развитие подлеска. Вследствие этого подрост в березняке практически отсутствует, а единичные экземпляры подлеска представлены, преимущественно, черемухой и ивой.

Исследуемое же сосновое насаждение, непосредственно примыкающее к березняку, напротив, имеет искусственное происхождение и было создано посевом семян в плужные борозды в начале 50-х годов XX века на месте того же вырубленного коренного сосняка. Это, с небольшой условностью, дает основание считать, что произрастание сосны на данном участке практически не прерывалось. К моменту исследований средний возраст сосняка составил около 65 лет, полнота – 0,8, средние высота и диаметр – соответственно 20 м и 22 см, класс бонитета – II. Из-за высокой сомкнутости крон живой напочвенный покров в сосняке практически не развит, что позволяет отнести данное насаждение к мертвопокровному типу. Как и в березняке, в нем отмечены лишь единичные экземпляры мелкого (до 0,5 м) подроста сосны и очень редкий подлесок из яблони, смородины, рябины и кизильника.

Исходя из основной цели работы, в сосновом и березовом насаждениях по общепринятым методикам [27; 30] были проведены полевые исследования почв. Для изучения их морфологических признаков по диагонали обоих объектов было сделано несколько прикопок на глубину 30 см, а также заложено по три полуразреза глубиной до 70 см. Из горизонтов верхней полуметровой толщи последних, в которых находится основная масса корней, и влияние растительности проявляется наиболее сильно [5; 13; 14], отбирались образцы для лабораторных исследований.

Анализ морфологических признаков выявил общее сходство почв соснового и березового насаждений, которые, согласно ранее действовавшей «Классификации и диагностике почв СССР» [18], относились к дерново-карбонатным. Такие почвы, весьма распространенные в Сибири, формируются на продуктах выветривания карбонатных пород и встречаются как в горных, так и негорных районах, на водоразделах и склонах разных экспозиций, где произрастают сосняки разных групп типов леса [10].

Для приведения названия исследуемых почвенных объектов в соответствие с действующей «Классификацией и диагностикой почв России» [17] была рассмотрена корреляция ее таксономических выделов со старой классификацией [19]. Наиболее близкими дерново-карбонатным почвам оказались буроземы темные (тип) типичные (подтип) бескарбонатные (род) мелкие (вид) среднесуглинистые (разновидность). В дальнейшем данное название было дополнено включением в него рода по насыщенности ППК основаниями и вида по содержанию гумуса, выполненного по результатам агрохимических анализов почвенных образцов, представленных в разделе «Результаты и их обсуждение».

Ниже приводится подробное морфологическое описание разреза, заложенного в березняке осочково-разнотравном.

О – лесная подстилка мощностью до 1 см, темно-бурая, рыхлая. Состоит, преимущественно, из опавших листьев, тонких веточек, коры и травы сильной степени разложения.

AU 1–20 см – темногумусовый горизонт, темно-серый с буроватым оттенком, свежий, среднесуглинистый, рыхлый, структура мелкоглыбисто-крупнокомковатая. Содержит многочисленные включения корней травянистых растений и, в меньшей степени – деревьев, а также значительное количество биологических новообразований, представленных червоточинами. С HCl не реагирует. Граница ровная, переход ясный.

BM 20–40 см – метаморфический горизонт коричневого цвета, влажный, среднесуглинистый, плотный, структура мелкоглыбисто-крупнокомковатая. Содержит единичные червоточины и включения древесных корней. С HCl не реагирует. Граница ровная, переход ясный.

BMC 40–65 см – горизонт, переходный от метаморфического к почвообразующей породе, буровато-коричневого цвета, влажный, плотный, среднесуглинистый, структура пылевато-мелкоглыбисто-крупнокомковатая. Содержит единичные червоточины и корневины, а также включения древесных корней. В самой нижней части слабо реагирует с HCl.

Морфология почвенного полуразреза в сосновом насаждении, в целом, близка описанному выше, но, все же, несколько отличается от него по некоторым признакам. Прежде всего, это относится к лесной подстилке, мощность которой здесь вдвое больше, а в ее составе преобладают хвоя и кора слабой степени разложения. Кроме того, по причине мертвопокровного типа сосняка, в его более плотном темногумусовом горизонте отсутствуют корни трав, а такие биологические новообразования, как червоточины – весьма малочисленны.

Как правило, изучение почв, развивающихся под лесом, начинают с исследования их верхнего специфического горизонта – лесной подстилки. Ее образцы для определения основных характеристик (мощности, плотности, запаса и фракционного состава) отбирали в десятикратной повторности с помощью рамки-шаблона размером 20×20 см и площадью 400 см² [30]. Умножив последнюю на мощность подстилки (h , см),

которую измеряли с точностью до 0,1 см, вычисляли объем образца (V , см³). В лабораторных условиях образцы высушивались в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы и взвешивались на технических весах. Разделив массу образца на его объем, находили плотность подстилки (d_v , г/см³), после чего по формуле (1) вычисляли запас (M , г/м²):

$$M = 10000d_v h. \quad (1)$$

Для определения фракционного состава подстилки ее образцы вручную разбирались на фракции, массу которых определяли путем взвешивания и выражали в процентах.

Плотность минеральных горизонтов определяли стандартным комплектом Качинского, плотность твердой фазы почвы – пикнометрическим методом, а общую пористость – расчетным путем по формуле (2) [27; 30]:

$$P_{\text{общ}} = 100(1 - d_v) / d, \quad (2)$$

где $P_{\text{общ}}$ – общая пористость, % от объема почвы; d – плотность твердой фазы почвы, г/см³; d_v – плотность почвы, г/см³.

Исследования почвенной структуры проводили методом «сухого» и «мокрого» просеивания в модификации Н. И. Савинова [27; 30]. По их результатам вычисляли важнейшие характеристики почвенной структуры – коэффициенты структурности и водоустойчивости:

$$K_{\text{СТР}} = A / (B + C), \quad (3)$$

где $K_{\text{СТР}}$ – коэффициент структурности; A , B и C – процентное содержание мезо- (от 10 до 0,25 мм), макро- (крупнее 10 мм) и микроагрегатов (менее 0,25 мм) соответственно.

$$K_{\text{ВУ}} = A/B, \quad (4)$$

где $K_{\text{ВУ}}$ – коэффициент водоустойчивости структуры; A и B – содержание агрегатов крупнее 0,25 мм при «мокром» и «сухом» просеивании соответственно, %.

Полученные данные обрабатывались с использованием методов математической статистики [11] и стандартных программ «Статистика» и «Excel».

Для выполнения лабораторных агрохимических исследований отдельно для каждого горизонта составлялись смешанные образцы, что позволило на данном этапе получить усредненные для всего объекта результаты [32]. Все агрохимические анализы данных образцов были выполнены в аккредитованной испытательной лаборатории ФГУ ГЦАС «Красноярский» по стандартным методикам.

Степень насыщенности основаниями находили расчетным путем [27]:

$$V = 100S / (S + H_r), \quad (5)$$

где V – степень насыщенности почвы основаниями, %; S – сумма поглощенных (обменных) оснований, ммоль/100 г; H_r – гидролитическая кислотность, ммоль/100 г.

Запасы гумуса и биогенных элементов в исследуемых слоях почвы вычисляли по следующей формуле [37]:

$$Z = 1000h_d C, \quad (6)$$

где Z – запас гумуса и биогенных элементов в горизонте, кг/га; C – их содержание в данном горизонте, %; h – мощность горизонта, см; d_v – плотность горизонта, г/см³;

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что накопление подстилки и последующие ее превращения зависят от количества, состава и времени поступления опада, а также скорости его разложения, определяемой климатическим, почвенными и биотическим факторами [3; 7; 15; 26; 35]. Однако, исходя из произрастания исследуемых объектов в однородных почвенно-климатических условиях, процессы формирования подстилок, главным образом, определяются только характеристиками опада насаждений сосны и березы.

Основными параметрами подстилки, позволяющими судить о соотношении между ее накоплением и последующей трансформацией, являются мощность, плотность, запас и фракционный состав [4; 7; 15]. Высокий (более 0,95) уровень доверительной вероятности различий средних значений трех первых из них (табл. 1) позволяет заключить о существенных отличиях формирования подстилки в исследуемых насаждениях [11].

При этом анализ табл. 1 выявил существенно меньшую мощность и запас подстилки в березняке, что указывает на более активную ее трансформацию, обусловленную особенностями химического состава опада данного насаждения [3; 7; 22; 31; 34; 35].

Признаками активного разложения подстилки в березняке также являются вдвое большая процентная доля активной фракции и меньший запас хвои, листьев и трухи (табл. 2) [15; 26; 35], а также более низкое, по сравнению с сосняком, отношение C:N – соответственно, 20,7 (33,60:1,620) против 28,3 (36,17:1,278) [23].

Последнее к тому же указывает на обогащенность подстилки березового насаждения азотом и зольными элементами, что, по мнению Э. Ф. Ведровой [6], способствует активизации биологических процессов ее разложения.

В немаловажной степени это обусловлено и большей населенностью подстилки березняка почвенными беспозвоночными, прежде всего, дождевыми червями, играющими важную роль в трансформации органических остатков [1; 2]. На это указывает заметное содержание частиц почвы в подстилке березняка, которые заносятся в нее червями [15], а также многочисленные ходы этих беспозвоночных в минеральных горизонтах.

Еще одним фактором, определяющим более быстрые темпы трансформации подстилки березового насаждения, является большее содержание в ней зольных веществ и благоприятные для почвенных микроорганизмов физико-химические показатели [7, 34]. Как видно из данных табл. 3, не только подстилка, но и минеральные горизонты березняка характеризуются более высоким pH водным, меньшей гидролитической кислотностью, большей суммой поглощенных оснований и степенью насыщенности ими.

Вероятнее всего, отмеченные различия физико-химических характеристик, с одной стороны, обусловлены богатством опада березняка основаниями [7; 34], а с другой – подкисляющим влиянием сосны на почву [5; 31; 34; 35; 37]. Вместе с тем, по величине последнего показателя табл. 3 исследуемые почвы обоих насаждений относятся к одному роду – насыщенные [17], что объясняется их формированием на богатых карбонатами породах.

Положительные изменения физико-химических показателей в сочетании с более активной трансформацией подстилки обусловили и усиление процессов гумификации в березняке, в результате чего в его минеральных горизонтах заметно возросло содержание гумуса (табл. 4).

Таблица 1

Основные характеристики подстилки в сосняке (числитель) и березняке (знаменатель)

Характеристики	$\bar{X}$	$\pm m_x$	$\pm \sigma, \%$	V, %	P, %	t_x	t_ϕ
Мощность, см	<u>1,51</u> 0,92	<u>0,140</u> 0,113	<u>0,443</u> 0,358	<u>29,4</u> 39,0	<u>9,3</u> 12,3	<u>10,8</u> 8,1	3,28
Плотность, г/см ³	<u>0,107</u> 0,079	<u>0,0084</u> 0,0112	<u>0,027</u> 0,036	<u>24,9</u> 45,1	<u>7,9</u> 14,3	<u>12,7</u> 7,0	2,00
Запас, г/м ²	<u>1542</u> 640	<u>109,0</u> 41,7	<u>344,7</u> 131,9	<u>22,4</u> 20,6	<u>7,1</u> 6,5	<u>14,1</u> 15,4	7,73

Таблица 2

Содержание фракций в составе подстилки, % (числитель), и их запас, г/м² (знаменатель)

Кора	Шишки	Частицы почвы из минеральных горизонтов	Ветки тоньше 5 мм	Хвоя, листья, труха	Трава	Активная фракция
Сосняк						
50,8 783,3	<u>15,0</u> 231,3	<u>0,5</u> 77,1	<u>10,8</u> 166,5	<u>22,9</u> 353,1	–	<u>33,7</u> 519,6
Березняк						
26,4 168,9	–	<u>2,8</u> 17,9	<u>28,6</u> 183,0	<u>25,0</u> 160,0	<u>17,2</u> 110,0	<u>68,1</u> 435,8

При этом наибольшее, более чем полторакратное, его увеличение отмечается в расположенном под подстилкой темногогумусовом горизонте AU. На основании существенных различий в содержании гумуса в горизонте AU, исследуемые почвы отнесены к разным видам: в березняке – к сильно гумусированным, а в сосняке – к средне гумусированным [17]. Благодаря более высокой гумусированности минеральных горизонтов березняка в них наблюдается и существенно большее, по сравнению с сосняком, содержание основных компонентов гумуса – углерода и азота (в среднем, соответственно, в полтора и два раза).

Кроме того, судя по меньшему соотношению C:N (табл. 4), гумус минеральных горизонтов березняка в большей степени обогащен азотом. Прежде всего, это относится к горизонтам BM и BMC, где обогащенность гумуса этим важнейшим биогенным элементом оценивается, как средняя, тогда как в аналогичных горизонтах соснового насаждения, а также в горизонте AU березняка – как низкая [27]. Наименьшая же, соответствующая очень низкой оценке, обогащенность гумуса азотом отмечается в горизонте AU насаждения сосны (C:N = 15,3), что обусловлено бедностью ее опада данным элементом [5; 7].

В целом аналогичный характер взаимосвязи с содержанием гумуса прослеживается и в отношении общего фосфора и калия, небольшое количество соединений которых входит в его состав [22]. Однако эта взаимосвязь проявляется очень слабо, поскольку основная доля данных биогенных элементов сосредото-

чена в минеральной части, что определяет большую зависимость их содержания от минералогического состава почвы.

Исследование структурного состава выявило преобладание в аналогичных горизонтах соснового и березового насаждений одних и тех же видов агрегатов (крупнокомковатых и мелкоглыбистых – в AU и BM, а в BMC – еще и пылеватых) и правильность полевого определения структуры (табл. 5). В то же время, все горизонты березняка содержат на 4–5 % больше наиболее агрономически ценных мезоагрегатов (10–0,25 мм), что определяет несколько более высокие значения коэффициента структурности. Исходя из этого, структурный состав почвы всех горизонтов березового насаждения соответствует хорошей оценке, тогда как в сосняке так оценивается лишь структура горизонта AU, а в BM и BMC она является удовлетворительной [27].

Вместе с тем, для полной оценки структурного состояния почв необходимо располагать данными о водостойкости агрегатов, которая, судя по значениям соответствующего коэффициента, во всех исследуемых горизонтах березняка также более высокая (табл. 5). Учитывая одинаковый гранулометрический состав почвы исследуемых насаждений, являющийся одним из факторов, определяющих водостойкость агрегатов, лучшее ее проявление в березняке, вероятнее всего, обусловлено большим содержанием гумуса и поглощенных оснований, оказывающих положительное влияние на рассматриваемое свойство почвенной структуры [9; 29; 39].

Таблица 3
Физико-химические характеристики почвы

Горизонт, мощность, см	pH водный	Гидролитическая кислотность, ммоль/100 г	Поглощенные основания, ммоль/100 г			Степень насыщенности основаниями, %
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	сумма	
Сосняк						
O, 0-2	6,51	5,48	51,00	9,90	60,90	91,7
AU, 2-20	6,25	2,17	13,40	3,02	16,42	88,3
BM, 20-40	6,60	2,34	12,25	3,54	15,79	87,1
BMC, 40-50	6,67	0,96	11,00	3,26	14,26	93,7
Березняк						
O, 0-1	6,87	2,73	52,0	14,80	66,80	96,1
AU, 1-20	6,59	0,98	14,90	3,31	18,21	94,9
BM, 20-40	6,67	1,15	13,20	3,92	17,12	93,7
BMC, 40-50	6,70	0,88	11,40	3,38	14,78	94,4

Таблица 4
Агрохимические показатели почвы

Горизонт, мощность, см	Гумус, %	Углерод, %	C:N	Общие, %		
				азот	фосфор	калий
Сосняк						
O, 0-2	72,34*	36,17	28,3	1,278	0,348	0,262
AU, 2-20	3,40	1,97	15,3	0,129	0,266	0,725
BM, 20-40	1,13	0,66	13,5	0,049	0,240	0,224
BMC, 40-50	0,65	0,38	13,6	0,028	0,270	0,671
Березняк						
O, 0-1	67,20*	33,60	20,7	1,620	0,430	0,373
AU, 1-20	5,60	3,25	13,9	0,233	0,286	0,748
BM, 20-40	2,10	1,22	9,8	0,125	0,286	0,248
BMC, 40-50	0,89	0,52	8,3	0,063	0,282	0,724

* – органическое вещество

Кроме того, еще одним объяснением лучшего структурного состояния почвенных горизонтов в осочково-разнотравном березняке может быть и известная структурообразующая роль корней травянистой растительности и беспозвоночных [34; 41], которые в мертвопокровном сосновом насаждении практически отсутствуют.

Вследствие определяющего влияния структурного состава на сложение почвы [9], все горизонты в березняке характеризуются несколько меньшей плотностью (табл. 6). Кроме того, определенную роль в этом сыграло и разрыхляющее воздействие корней трав. При этом в обоих насаждениях отмечается закономерное увеличение данного показателя вниз по профилю [9; 30] и его значительное (от 15 до 20 %) варьирование [11].

В свою очередь, меньшая плотность минеральных горизонтов в березняке обусловила их более высокую общую пористость, что объясняется обратной зависимостью между данными физическими характеристи-

ками почвы. Последнее объясняет меньшие значения общей пористости в нижних горизонтах и, в целом, более высокую ее качественную оценку в березняке [16]. Варьирование же данного показателя оказалась немного выше (20–22 %) и оценивается, как большое [11], что связано с влиянием на величину общей пористости еще одного фактора – плотности твердой фазы почвы.

Данная физическая характеристика почвы, главным образом, зависит от ее минералогического состава [9; 30]. Судя по слабому (около 3 %) ее варьированию и близости средних величин между исследуемыми горизонтами их минералогический состав относительно однороден. В целом же, плотность твердой фазы составляет среднюю для большинства основных почвообразующих минералов величину, близкую 2,60 г/см³ (табл. 6), а несколько меньшие ее значения в темногомусовом горизонте АУ, особенно, березняка, объясняются более высоким содержанием органического вещества.

Таблица 5
Показатели структурного состояния почвы

Гори- зонт, мощ- ность, см	Размер агрегатов, мм, и их содержание, % (числитель – «сухое просеивание», знаменатель – «мокрое»)										Коэф- фици- ент струк- турно- сти	Коэффи- циент водоус- тойчиво- сти
	>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5– 0,25	<0,25	мезо- агре- гаты		
Сосняк												
AU, 2-20	21,5 16,6	9,7 6,8	10,8 6,0	14,6 7,0	10,4 4,2	5,5 5,3	10,9 9,2	8,3 9,0	8,3 37,9	70,2 49,5	2,36	0,66
BM, 20-40	28,6 3,1	12,3 5,0	9,5 4,5	13,1 5,0	9,3 3,3	5,4 4,0	8,8 7,0	7,3 8,7	11,7 59,4	59,7 49,5	1,48	0,43
BMC, 40-50	24,8 –	7,3 0,4	6,9 0,5	10,0 0,9	6,5 0,6	4,2 1,4	7,0 4,0	13,9 10,1	19,4 82,1	55,8 17,9	1,26	0,22
Березняк												
AU, 1-20	17,6 9,3	8,7 6,0	8,8 7,4	16,6 14,4	10,7 9,7	9,9 8,3	11,8 10,6	9,3 8,0	6,6 26,3	75,8 64,4	3,13	0,80
BM, 20-40	27,0 10,9	8,1 4,0	9,0 5,3	10,5 4,8	9,8 4,1	8,1 6,2	10,4 6,6	8,9 9,2	8,2 48,9	64,8 34,2	1,84	0,56
BMC, 40-50	20,0 2,2	9,0 0,3	8,3 0,6	11,0 0,7	7,6 0,6	5,7 3,1	9,6 6,5	12,9 11,0	19,9 75,0	60,1 22,8	1,51	0,32

Таблица 6
Общие физические свойства минеральных горизонтов почвы

Горизонт, мощность, см	Плотность почвы, г/см ³	Плотность твердой фазы почвы, г/см ³	Общая пористость, %	Качественная оценка общей пористости
Сосняк				
АУ, 2-20	1,10±0,062	2,57 ± 0,024	57,2 ± 3,83	наилучшая
ВМ, 20-40	1,34±0,069	2,60 ± 0,022	48,5 ± 3,44	хорошая
ВМС, 40-50	1,53±0,096	2,63 ± 0,020	41,8 ± 2,76	удовлетворительная
Березняк				
АУ, 1-20	0,98±0,047	2,54 ± 0,025	61,4 ± 3,85	наилучшая
ВМ, 20-40	1,26±0,061	2,58 ± 0,023	51,2 ± 3,52	наилучшая
ВМС, 40-50	1,49±0,074	2,62 ± 0,026	43,1 ± 2,73	удовлетворительная

Располагая значениями плотности и агрохимическими показателями почвенных горизонтов, следует рассчитать содержащиеся в них запасы гумуса и основных элементов минерального питания, что позволит более полно и объективно оценить итоги исследований. Необходимые для этих расчетов данные и полученные результаты приведены в табл. 7, анализ которой показал следующее.

В березняке запасы гумуса как во всей полуметровой толще, так и в ее верхнем 20-сантиметровом слое оказались в полтора раза выше и оцениваются, как средние, тогда как в сосняке они являются низкими [27]. Такое же соотношение наблюдается и в запасах углерода, а почвенные запасы азота в березняке еще в большей степени превышают их в сосновом насаждении – в 1,9 раза (табл. 6). Столь существенные различия, главным образом, связаны с большим содержанием (концентрацией) данных компонентов в почве березняка, обусловленным значительным ежегодным поступлением богатого азотом опада и его активной трансформацией, то есть более высокими темпами биологического круговорота веществ.

В то же время, общие запасы фосфора и, особенно, калия, в почве березового насаждения весьма незначительно превышают аналогичные показатели соснового (соответственно, на 3,1 и 1,1 %). Это объясняется тем, что содержание данных элементов в большей степени определяется минералогическим составом почвы, который, исходя из отнесения всех исследуемых горизонтов обоих насаждений к среднесуглинистым, довольно близок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты полевых и лабораторных исследований почвы, проведенных в близких по возрасту (60–65 лет) мертвопокровном сосняке искусственного происхождения и естественном осочково-разнотравном березняке, сформировавшихся на месте вырубленного в конце 40-х годов прошлого века коренного сосняка, выявили следующее.

Все рассматриваемые горизонты верхней полуметровой толщи среднесуглинистого бурозема в березняке характеризуются более благоприятными

свойствами. Во многом это обусловлено наличием в составе березового насаждения травянистого живого напочвенного покрова, опад которого, так же, как и опад березы, имеет высокую зольность, близкую нейтральной реакцию и обогащен азотом, что определяет высокие темпы трансформации подстилки и гумусообразования. Благодаря этому содержание и запасы гумуса в слое 0–50 см здесь, в сравнении с сосняком, заметно выше – соответственно, 5,60–0,89 против 3,40–0,65 % и 167473 против 107549 кг/га. Столь существенные различия данных показателей сказались не только на качественной оценке запасов гумуса исследуемых буроземов, но и определили их принадлежность к разным видам почвенной классификации: в березняке – к сильно гумусированным, а в сосняке – к средне гумусированным.

Наряду с гумусом, в березняке, благодаря более высоким темпам биологического круговорота, значительно больше почвенные запасы углерода и азота (соответственно, в 1,5 и 1,9 раза). При этом особо следует отметить почти 100 т углерода, депонированного в почве березняка, что заслуживает положительной оценки в аспекте ослабления «глобального потепления». Учитывая характерный для лесных почв дефицит азота [25], аналогично следует оценить и почти вдвое большие его запасы в почве березняка. В то же время, запасы фосфора и калия здесь практически сопоставимы с их значениями в сосняке, что объясняется близостью минералогического состава исследуемых почв, главным образом, определяющего содержание указанных элементов.

Большее содержание гумуса и поглощенных оснований в сочетании с оструктурирующей ролью корней травянистой растительности и беспозвоночных во многом обусловили лучшее структурное состояние почвы березняка. Оно проявилось в более высоком содержании агрономически ценных мезоагрегатов и большей водоустойчивости структуры. В свою очередь, лучшее структурное состояние и разрыхляющее воздействие корней травянистой растительности положительно сказалось на сложении почвы березняка, что проявилось в некотором уменьшении плотности и увеличении общей пористости минеральных горизонтов.

Таблица 7
Запасы гумуса и биогенных элементов

Горизонт, мощность, см	Плотность, г/см ³	Масса горизонта, кг	Гумус		Углерод		Азот		Фосфор		Калий	
			%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг
O, 0-2	0,107	15420	72,34*	11154,83*	36,17	5577,41	1,278	197,07	0,348	53,66	0,262	40,40
AU, 2-20	1,10	1980000	3,40	67320,0	1,97	39006,0	0,129	2554,20	0,266	5226,80	0,725	14355,0
BM, 20-40	1,34	2680000	1,13	30284,0	0,66	17688,0	0,049	1313,20	0,240	6432,0	0,224	6003,20
BMC, 40-50	1,53	1530000	0,65	9945,0	0,38	5814,0	0,028	428,40	0,282	4314,60	0,671	10266,30
Итого в слое 0–50 см			107549,0**		67985,41		4492,87		16027,06		30664,90	
O, 0-1	0,079	6400	67,20*	4300,8*	36,17	2150,40	1,620	103,68	0,430	27,52	0,373	23,87
AU, 1-20	0,98	1862000	5,60	104272,0	3,25	60515,0	0,233	4338,46	0,286	5325,32	0,748	13927,76
BM, 20-40	1,26	2520000	2,10	52920,0	1,22	30744,0	0,125	3150,0	0,286	7207,20	0,248	6249,60
BMC, 40-50	1,49	1490000	0,69	10281,0	0,40	5960,0	0,063	938,70	0,266	3963,40	0,724	10787,60
Итого в слое 0–50 см			167473,0**		99369,40		8530,84		16523,44		30988,83	

* – органическое вещество

** – без учета органического вещества подстилки

Таким образом, результаты исследований выявили положительные изменения важнейших характеристик бурозема в березняке осочково-разнотравном, сформировавшемся после вырубki коренного соснового древостоя, что в случае обратной смены пород будет способствовать улучшению роста и развития насаждений сосны. Кроме того, учитывая высокий уровень загрязнения воздуха в Красноярске и интенсивное рекреационное использование лесов его зеленой зоны, более перспективными являются насаждения березы, которая, по сравнению с сосной, более декоративна и устойчива к атмосферным эмиссиям и уплотнению почвы [33].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Безкоровая И. Н. Формирование мезофауны в лесных культурах на старопахотных почвах // Лесоведение. 1994. № 5. С. 79–85.
2. Безкоровая И. Н., Вишнякова З. В. Участие почвенной биоты в деградации подстилок в лесных культурах // Лесоведение. 1996. № 2. С. 53–61.
3. Богатырев Л. Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение. 1996. № 4. С. 501–511.
4. Богатырев Л. Г. О классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1990. № 3. С. 118–127.
5. Ведрова Э. Ф. Влияние сосновых насаждений на свойства почв. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1980. 101 с.
6. Ведрова Э. Ф. Интенсивность разложения органического вещества на поверхности и в толще почвы // Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2002. С. 231–248.
7. Ведрова Э. Ф., Решетникова Т. В. Масса подстилки и интенсивность ее разложения в 40-летних культурах основных лесобразующих пород Сибири // Лесоведение. 2014. № 1. С. 42–50.
8. Воронин А. Д. Основы физики почв : учеб. пособие. М. : Изд-во МГУ, 1986. 244 с.
9. Втюрина О. П., Соколов В. А. Динамика лесов Приангарья // Организация устойчивого лесопользования в Красноярском крае. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. С. 105–114.
10. Горбачев В. Н. Почвообразование на карбонатных породах в подзоне сосновых лесов Средней Сибири // Почвы сосновых лесов Сибири. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1986. С. 24–33.
11. Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. М. : МГУ, 1995. 320 с.
12. Зонн С. В. Взаимодействие и взаимовлияние лесной растительности с почвами // Почвоведение. 1956. № 7. С. 90–92.
13. Зонн С. В. Влияние леса на почву. М. : Гослесбумиздат, 1954. 160 с.
14. Иванов Б. Н. Физические свойства серой лесной среднесмытой почвы под лесными культурами разного породного состава // Лесоведение. 1987. № 4. С. 13–20.
15. Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы. М. : Лесн. пром-сть, 1981. 264 с.
16. Качинский Н. А. Физика почвы. М. : Высшая школа, 1965. 322 с.
17. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедев [и др.]. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
18. Классификация и диагностика почв СССР / В. В. Егоров, В. М. Фридланд, Е. Н. Иванова [и др.]. М. : Колос, 1977. 223 с.
19. Корреляция таксономических выделов «Классификации и диагностики почв СССР» (1977) с таксономическими выделами «Классификации и диагностики почв России» (2004) // Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2006 [Электронный ресурс]. URL: soils.narod.ru/appendices/korr/korr2008.html (дата обращения: 02.02.2021).
20. Лукина Н. В., Орлова М. А., Исаева Л. Г. Плодородие лесных почв как основа взаимосвязи почва–растительность // Лесоведение. 2010. № 5. С. 45–56.
21. Моделирование развития искусственных лесных биогеоценозов / Л. С. Шугалей, М. Г. Семечкина, Г. И. Яшихин [и др.]. Новосибирск : Наука, Сиб. отделение, 1984. 152 с.
22. Мякина Н. Б., Аринушкина Е. В. Методическое пособие для чтения результатов химических анализов почв. М. : Изд-во МГУ, 1979. 62 с.
23. Плешиков Ф. И. Взаимосвязь почвенно-грунтовых условий, типов леса и продуктивности сосняков в Минусинских ленточных борах // Агрофизические исследования почв Средней Сибири. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1975. С. 44–56.
24. Плешиков Ф. И. О количественной оценке производительности лесных почв // Лесное хозяйство. 1977. № 10. С. 17–21.
25. Попова Э. П. Азот в лесных почвах. Новосибирск : Наука, Сиб. отделение, 1983. 163 с.
26. Попова Э. П., Горбачев В. Н. Особенности формирования и свойства подстилок лесных биогеоценозов Среднего Приангарья // Почвоведение. 1988. № 1. С. 109–116.
27. Практикум по почвоведению / И. С. Кауричев, Н. П. Панов, М. В. Стратонович [и др.]; под ред. И. С. Кауричева. М. : Колос, 1980. 272 с.
28. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 18.08.2014 № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации» (ред. от 19.02.2019). [Зарегистрирован в Минюсте России 29.09.2014 № 34186]. М. : Минприроды России, 2014. 24 с.
29. Пугачев Е. В., Полякова Н. В. Влияние органического вещества почвы на структурообразование // Почвы – национальное достояние России : материалы IV Докучаевского общества почвоведов. Новосибирск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2004. Кн. 1. С. 449.
30. Растворова О. Г. Физика почв (практическое руководство). Л. : Изд-во ЛГУ, 1983. 96 с.
31. Смольянинов И. И. Почвообразующее воздействие сосны и березы на различных почвах // Труды I Сибирской конференции почвоведов. Новосибирск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 1962. С. 65–80.
32. Смольянинов И. И., Мигунова Е. С., Гладкий А. С. Почвенная лаборатория лесхоза. М. : Лесн. пром-сть, 1966. 144 с.

33. Таран И. В., Спиридонов В. Н. Устойчивость рекреационных лесов. Новосибирск : Наука, Сиб. отделение, 1977. 179 с.
 34. Тарасов П. А. Оценка влияния смены сосны березой на свойства почв в условиях Приангарья // Лесной журнал. 2012. № 2. С. 14–19.
 35. Тарасов П. А., Тарасова А. В., Иванов В. А. Основные характеристики лесной подстилки производных мелколиственных насаждений // Вестник КрасГАУ. 2015. № 2. С. 197–200.
 36. Тарасов П. А., Безкоровая И. Н., Тарасова А. В. О фитомелиорации почвы сосняков подпологвыми культурами липы мелколистной // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39. № 2. С. 109–119.
 37. Ткаченко М. Е. Влияние отдельных древесных пород на почву // Почвоведение. 1939. № 10. С. 3–17.
 38. Фирсова В. П., Кулай Г. А., Ржанникова Г. К. К вопросу о влиянии смены пород на химические и микробиологические свойства дерново-подзолистых почв Зауралья // Труды Ин-та биологии УФ АН СССР. Свердловск : Изд-во УФ АН СССР, 1966. С. 187–195.
 39. Хан Д. В. Влияние перегнойных веществ, состава минералов и обменных катионов на образование водопрочных агрегатов в чернозёмных почвах // Почвоведение. 1957. № 4. С. 63–70.
 40. Шакиров К. Ш. Влияние различных лесных насаждений на почвообразовательный процесс. Казань : Изд-во Казан. гос. ун-та, 1961. 63 с.
 41. Щенников А. П. Введение в геоботанику. Л. : Изд-во ЛГУ, 1964. 447 с.
 42. Gawęda T., Błońska E., Małek S. Organic Carbon Accumulation in Post-Agricultural Soils under the Influence Birch Stands // Sustainability. 2019. Т. 11. № 16. Р. 4300–43011.
- REFERENCES**
1. Bezkorovaynaya I. N. Formirovaniye mezofauny v lesnykh kul'turakh na staropakhotnykh pochvakh // Lesovedeniye. 1994. № 5. S. 79–85.
 2. Bezkorovaynaya I. N., Vishnyakova Z. V. Uchastiye pochvennoy bioty v destruktсии podstilok v lesnykh kul'turakh // Lesovedeniye. 1996. № 2. S. 53–61.
 3. Bogatyrev L. G. Obrazovaniye podstilok – odin iz vazhneyshikh protsessov v lesnykh ekosistemakh // Pochvovedeniye. 1996. № 4. S. 501–511.
 4. Bogatyrev L. G. O klassifikatsii lesnykh podstilok // Pochvovedeniye. 1990. № 3. S. 118–127.
 5. Vedrova E. F. Vliyaniye sosnovykh nasazhdeniy na svoystva pochv. Novosibirsk : Nauka, Sib. otd-niye, 1980. 101 s.
 6. Vedrova E. F. Intensivnost' razlozheniya organicheskogo veshchestva na poverkhnosti i v tolshe pochvy // Lesnyye ekosistemy Eniseyskogo meridiana. Novosibirsk : Izd-vo SO RAN, 2002. S. 231–248.
 7. Vedrova E. F., Reshetnikova T. V. Massa podstilki i intensivnost' eye razlozheniya v 40-letnikh kul'turakh osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Sibiri // Lesovedeniye. 2014. № 1. S. 42–50.
 8. Voronin A. D. Osnovy fiziki pochv : ucheb. posobiye. M. : Izd-vo MGU, 1986. 244 s.
 9. Vtyurina O. P., Sokolov V. A. Dinamika lesov Priangar'ya // Organizatsiya ustoychivogo lesopol'zovaniya v Krasnoyarskom kraye. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2009. S. 105–114.
 10. Gorbachev V. N. Pochvoobrazovaniye na karbonatnykh porodakh v podzone sosnovykh lesov Sredney Sibiri // Pochvy sosnovykh lesov Sibiri. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1986. S. 24–33.
 11. Dmitriyev E. A. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii. M. : MGU, 1995. 320 s.
 12. Zonn S. V. Vzaimodeystviye i vzaimovliyaniye lesnoy rastitel'nosti s pochvami // Pochvovedeniye. 1956. № 7. S. 90–92.
 13. Zonn S. V. Vliyaniye lesa na pochvu. M. : Goslesbumizdat, 1954. 160 s.
 14. Ivanov B. N. Fizicheskiye svoystva seroy lesnoy srednesmytoy pochvy pod lesnymi kul'turami raznogo porodnogo sostava // Lesovedeniye. 1987. № 4. S. 13–20.
 15. Karpachevskiy L. O. Les i lesnyye pochvy. M. : Lesn. prom-st', 1981. 264 s.
 16. Kachinskiy N. A. Fizika pochvy. M. : Vysshaya shkola, 1965. 322 s.
 17. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii / L. L. Shishov, V. D. Tonkonogov, I. I. Lebedev [i dr.]. Smo-lensk : Oykumena, 2004. 342 s.
 18. Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR / V. V. Egorov, V. M. Fridland, E. N. Ivanova [i dr.]. M. : Kolos, 1977. 223 s.
 19. Korrelyatsiya taksonomicheskikh vydelov "Klassifikatsii i diagnostiki pochv SSSR" (1977) s taksonomicheskimi vydelami "Klassifikatsii i diagnostiki pochv Rossii" (2004) // Pochvennyy in-t im. V. V. Dokuchayeva, 2006 [Elektronnyy resurs]. URL: soils.narod.ru/appendices/korr/korr2008.html (data obrashcheniya: 02.02.2021).
 20. Lukina N. V., Orlova M. A., Isayeva L. G. Plodородиye lesnykh pochv kak osnova vzaimosvyazi pochva-rastitel'nost' // Lesovedeniye. 2010. № 5. S. 45–56.
 21. Modelirovaniye razvitiya iskusstvennykh lesnykh biogeotsenozov / L. S. Shugaley, M. G. Semechkina, G. I. Yashikhin [i dr.]. Novosibirsk : Nauka, Sib. otd-niye, 1984. 152 s.
 22. Myakina N. B., Arinushkina E. V. Metodicheskoye posobiye dlya chteniya rezul'tatov khimicheskikh analizov pochv. M. : Izd-vo MGU, 1979. 62 s.
 23. Pleshikov F. I. Vzaimosvyaz' pochvenno-gruntovykh usloviy, tipov lesa i produktivnosti sosnyakov v Minusinskikh lentochnykh borakh // Agrofizicheskiye issledovaniya pochv Sredney Sibiri. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1975. S. 44–56.
 24. Pleshikov F. I. O kolichestvennoy otsenke proizvoditel'nosti lesnykh pochv // Lesnoye khozyaystvo. 1977. № 10. S. 17–21.
 25. Popova E. P. Azot v lesnykh pochvakh. Novosibirsk : Nauka, Sib. otd-niye, 1983. 163 s.
 26. Popova E. P., Gorbachev V. N. Osobennosti formirovaniya i svoystva podstilok lesnykh biogeotsenozov Srednego Priangar'ya // Pochvovedeniye. 1988. № 1. S. 109–116.
 27. Praktikum po pochvovedeniyu / I. S. Kaurichev, N. P. Panov, M. V. Stratonovich [i dr.]; pod red. I. S. Kauricheva. M. : Kolos, 1980. 272 s.

28. Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii ot 18.08. 2014 № 367 "Ob utverzhdenii Perechnya lesorastitel'nykh zon Rossiyskoy Federatsii i Perechnya lesnykh rayonov Rossiyskoy Federatsii" (red. ot 19.02.2019). [Zaregistrovan v Minyuste Rossii 29.09.2014 № 34186]. M. : Minprirody Rossii, 2014. 24 s.
29. Pugachev E. V., Polyakova N. V. Vliyaniye organicheskogo veshchestva pochvy na strukturoobrazovaniye // Pochvy – natsional'noye dostoyaniye Rossii : materialy IV Dokuchayevskogo obshchestva pochvovedov. Novosibirsk : In-t pochvovedeniya i agrokhimii, 2004. Kn. 1. S. 449.
30. Rastvorova O. G. Fizika pochv (prakticheskoye rukovodstvo). L. : Izd-vo LGU, 1983. 96 s.
31. Smol'yaninov I. I. Pochvoobrazuyushcheye vozdeystviye sosny i berezy na razlichnykh pochvakh // Trudy I Sibirskoy konferentsii pochvovedov. Novosibirsk : In-t pochvovedeniya i agrokhimii, 1962. S. 65–80.
32. Smol'yaninov I. I., Migunova E. S., Gladkiy A. S. Pochvennaya laboratoriya leskhoza. M. : Lesn. prom-st', 1966. 144 s.
33. Taran I. V., Spiridonov V. N. Ustoychivost' rekreatsionnykh lesov. Novosibirsk : Nauka, Sib. otdele-niye, 1977. 179 s.
34. Tarasov P. A. Otsenka vliyaniya smeny sosny berezoy na svoystva pochv v usloviyakh Priangar'ya // Lesnoy zhurnal. 2012. №. 2. S. 14–19.
35. Tarasov P. A., Tarasova A. V., Ivanov V. A. Osnovnyye kharakteristiki lesnoy podstilki proizvodnykh melkolistvennykh nasazhdeniy // Vestnik KrasGAU. 2015. № 2. S. 197–200.
36. Tarasov P. A., Bezkorovaynaya I. N., Tarasova A. V. O fitomelioratsii pochvy sosnyakov podpologovymi kul'turami lipy melkolistnoy // Khvoynyye boreal'noy zony. 2021. T. 39. № 2. S. 109–119.
37. Tkachenko M. E. Vliyaniye ot-del'nykh drevesnykh porod na pochvu // Pochvovedeniye. 1939. № 10. S. 3–17.
38. Firsova V. P., Kulay G. A., Rzhannikova G. K. K voprosu o vliyani smeny porod na khimicheskiye i mikro-biologicheskiye svoystva dernovo-podzolistykh pochv Zaural'ya // Trudy In-ta biologii UF AN SSSR. Sverdlovsk : Izd-vo UF AN SSSR, 1966. S. 187–195.
39. Khan D. V. Vliyaniye peregrnoynykh veshchestv, sostava mineralov i obmennykh kationov na obrazovaniye vodo-prochnykh agregatov v chernozemnykh pochvakh // Pochvovedeniye. 1957. № 4. S. 63–70.
40. Shakirov K. Sh. Vliyaniye razlichnykh lesnykh nasazhdeniy na pochvoobrazovatel'nyy protsess. Kazan' : Izd-vo Kazan. gos. un-ta, 1961. 63 s.
41. Shchennikov A. P. Vvedeniye v geobotaniku. L. : Izd-vo LGU, 1964. 447 s.
42. Gawęda T., Błońska E., Małek S. Organic Carbon Accumulation in Post-Agricultural Soils under the Influence Birch Stands // Sustainability. 2019. T. 11. №. 16. P. 4300–43011.

© Тарасов П. А., Тарасова А. В., 2022

Поступила в редакцию 13.07.2021
Принята к печати 01.04.2022

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.032.475.3

Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XL, № 2. С. 145–152

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЕМ ПРОЦЕССА СУШКИ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Ш. Г. Зарипов¹, В. А. Корниенко²

¹Лесосибирский филиал
Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 662543, г. Лесосибирск, ул. Победы, 29
E-mail: zaripov_sh@mail.ru

²Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский Рабочий», 31
E-mail: kornvlad@mail.ru

Современные системы автоматического регулирования параметров технологического процесса вообще и сушки лиственничных пиломатериалов в частности позволяют реализовать практически любую структуру режимов. Поэтому в современных сушильных камерах в равной степени реализуются три и более ступени режимов сушки.

С изменением параметров агента сушки, циркулирующего по межрядовым каналам штабеля пиломатериалов, производится передача тепловой энергии высушиваемой древесине и забор влаги, которая находится на поверхности досок. Таким образом, изменение жёсткости режима сушки регулирует интенсивность эмиссии влаги из древесины. Для реализации такого подхода древесина представляется не только как капиллярно-пористое тело, но и как пучок открытых микроканалов. Тогда реализуются основные положения физики капиллярных явлений.

Как показывает практика сушки лиственничных пиломатериалов, такой подход не решает поставленную задачу. По мнению авторов статьи, при указанном выше подходе не учитывается такое явление, как экстракция водорастворимых веществ в лиственничных пиломатериалах при повышении температуры. В результате в поверхностных слоях доски формируется пермеат, который принципиально изменяет механизм эмиссии воды из древесины. Сформированный слой пермеата является основным сдерживающим процесс эмиссии воды фактором. В работе предложен подход к регулированию параметров агента сушки лиственничных пиломатериалов, который позволяет максимально снизить негативное влияние слоя экстрактивных веществ на интенсивность эмиссии воды из древесины лиственницы.

Ключевые слова: лиственница, пиломатериалы, сушка, эмиссия, режимы сушки, влажность древесины.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 2, P. 145–152

IMPROVING THE MANAGEMENT OF THE DRYING PROCESS OF LARCH LUMBER

Sh. G. Zaripov¹, V. A. Korniyenko²

¹Lesosibirsk Branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
29 Pobedy str., Lesosibirsk, 662543, Russian Federation
E-mail: zaripov_sh@mail.ru

²Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: kornvlad@mail.ru

Modern systems of automatic control of the technological process parameters in general and in particular drying of larch lumber in particular make it possible to implement almost any structure of modes. Therefore, three or more stages of drying modes are implemented in modern drying chambers.

Changing the parameters of the drying agent that circulates through the inter-row channels of the lumber stack causes the transfer of the heat energy of the dried wood and withdrawal of the moisture from the surface of the boards. Thus, changing the rigidity of the drying mode regulates the intensity of moisture emission from wood. To implement

this approach, wood is presented not only as a capillary-porous body, but also as a bundle of open microchannels. Then the basic principles of the physics of capillary phenomena are realized here.

As the practice of drying larch lumber shows, this approach does not solve the task. According to the authors of the article, the presented approach does not consider such a phenomenon as the extraction of water-soluble substances in larch lumber with an increase in temperature. As a result, this extraction forms permeate in the surface layers of the board, which significantly changes the mechanism of water emission from wood. The formed permeate layer is the main factor constraining the process of water emission. This article proposes an approach to regulating the parameters of the drying agent of larch lumber. It helps to minimize the negative effect of the extractive substances layer on the intensity of water emission from larch wood.

Keywords: larch, lumber, drying, emission, drying modes, wood moisture.

ВВЕДЕНИЕ

Современные системы автоматического регулирования и управления процессом сушки на базе микропроцессорных комплексов создают принципиальные возможности реализовать любую последовательность изменения параметров агента сушки в сушильной камере. В этом случае на первый план выдвигается такой вопрос, как технологическая задача, которая решается в конкретном случае: повышение биостойкости древесины ($W_k = 18...22\%$) или фиксация формы и размеров заготовки ($W_k = 6...12\%$) при минимальных энергозатратах. В этой связи возникает проблема – какие параметры, как и в какой последовательности необходимо выстраивать изменение, чтобы решить целевую функцию.

При этом, независимо от выполнения целевой функции, на передний план выступает интенсивность сушки. Базовые принципы управления процессом сушки пиломатериалов вообще и лиственных в частности были сформулированы в работах проф. П. С. Сергеевского и его учеников. В основу регулирования потоком влаги был заложен закон Фика – плотность потока влаги i пропорциональна градиенту влагосодержания и коэффициенту влагонепроводности [3; 9; 11; 12; 14; 16–26].

Такой подход основывается на физических законах капиллярных явлений, что позволяет управлять процессом влагопереноса в древесине через интенсивность удаления влаги с поверхности доски. Данное утверждение основывается на том, что древесина лиственных рассматривается как система открытых микроканалов – это первое. И второе – в древесине вообще и в древесине лиственных в частности вода представляется активным элементом, способным самостоятельно (вне раствора) диффундировать по толще доски.

Однако при более внимательном изучении строения древесины нетрудно убедиться в том, что древесина лиственных – это ячеистая структура. Сообщение между клетками осуществляется через окаймлённые поры, которые перфорированы практически непроницаемыми мембранами. Поэтому говорить о том, что древесина – это система открытых микроканалов, некорректно.

Вода, являясь растворителем, в той или иной степени связана с компонентами древесины, образуя водный раствор. Следовательно, вода не может выступать как «самостоятельный» физически активный компонент системы. В дополнении к вышесказанному следует указать на то, что древесина лиственных – химически активная среда. Даже незначительное по-

вышение температуры ($t_c \geq 40\text{ }^\circ\text{C}$) создаёт условия возникновения реакций гидролиза.

В результате в толще доски формируется избыточное давление [4], что является основной движущей силой продвижения всего содержимого древесины, включая водный раствор через систему межклеточных мембран. Следует указать ещё на один очень важный аспект – в начальный период сушки в течение относительно непродолжительного периода сушки ($\tau_c \approx 30...40\text{ ч}$) на поверхности доски формируется слой водорастворимых экстрактивных веществ [5], который в несколько раз снижает массоперенос.

Из вышесказанного следует вывод о том, что механизм управления процессом сушки лиственных пиломатериалов, основанный на законах физики капиллярных явлений, может быть использован частично. Цель работы: сформулировать основные положения управления процессом сушки лиственных пиломатериалов на принципиально новой основе.

Экспериментальные исследования. Практика сушки пиломатериалов накопила значительную доказательную базу о влиянии температуры на интенсивность удаления воды – с повышением температуры интенсивность удаления воды повышается. Данная закономерность прослеживается независимо от содержания влаги в древесине.

Указанная закономерность объясняется снижением вязкости воды. В результате увеличивается коэффициент диффузии как воды, так и водяного пара. Так, при повышении температуры влаги с 60 до $100\text{ }^\circ\text{C}$ только в результате уменьшения вязкости влаги скорость сушки увеличивается в $1,75$ раза [11].

Вопрос, насколько указанная закономерность прослеживается при сушке лиственных пиломатериалов, требует дополнительного изучения. Для более полного понимания особенности протекания процесса сушки лиственных пиломатериалов в начальный период, был проведён специальный эксперимент. Цель эксперимента: установить зависимость интенсивности сушки лиственных пиломатериалов в начальный период от температуры. Эксперимент проводился в два этапа: на первом этапе сушка проводилась при температуре первой ступени $t_c = 44\text{ }^\circ\text{C}$; на втором – $t_c = 60\text{ }^\circ\text{C}$.

В обоих случаях устанавливалась интенсивность удаления воды из лиственных пиломатериалов в лабораторных условиях. Перед сушкой торцы досок надёжно герметизировались, что позволило на относительно коротких заготовках ($L_s \leq 1\text{ м}$, $W_n \gg 30\%$) смоделировать процесс сушки длинномерных досок.

Результаты опытных сушек представлены графически на рис. 1, 2. Интенсивность удаления воды из лиственных пиломатериалов в интервале ($W_n \dots 30$) % анализировались по результатам экспериментов, представленных на рис. 1, 2 [6].

В первом случае на удаление свободной воды в количестве 38 % потребовалось 53 ч. Тогда интенсивность сушки составила $G\% = 0,72$ %/ч. Во втором случае – на удаление 30 % потребовалось 67 ч; $G\% = 0,45$ %/ч. Следовательно, скорость сушки при $t_c = 44$ °C в 1,6 раза превышает тот же показатель, полученный при $t_c = 60$ °C, что противоречит общепринятым положениям современной теории сушки пиломатериалов. Поэтому полученный в ходе эксперимента парадокс требует дополнительного изучения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Интенсивность процесса сушки устанавливается режимами – температурным уровнем в сушильной камере (температурой древесины), а также относительной влажностью агента сушки – способностью испарять влагу с поверхности доски. Поэтому увели-

чение температуры древесины с одновременным снижением относительной влажности дает возможность интенсифицировать удаление воды с поверхности доски.

Температура в сушильной камере повышается по определённой закономерности – дискретное повышение в зависимости от поставленной цели. При сушке пиломатериалов хвойных и некоторых лиственных пород в сушильных камерах периодического действия наибольшее распространение в нашей стране получили трёхступенчатые режимы [2]. Сушка таких пород, как дуб, бук, граб, ясень производится пятиступенчатыми режимами.

Сушка пиломатериалов в противоточных сушильных камерах непрерывного действия осуществляется по многоступенчатой схеме. Количество ступеней зависит от длины камеры. Пиломатериал каждого штабеля по мере продвижения по тоннелю сушильной камеры от «сырого» конца камеры к «сухому» подвергается воздействию более жёсткого режима сушки. Количество ступеней достигает 12.

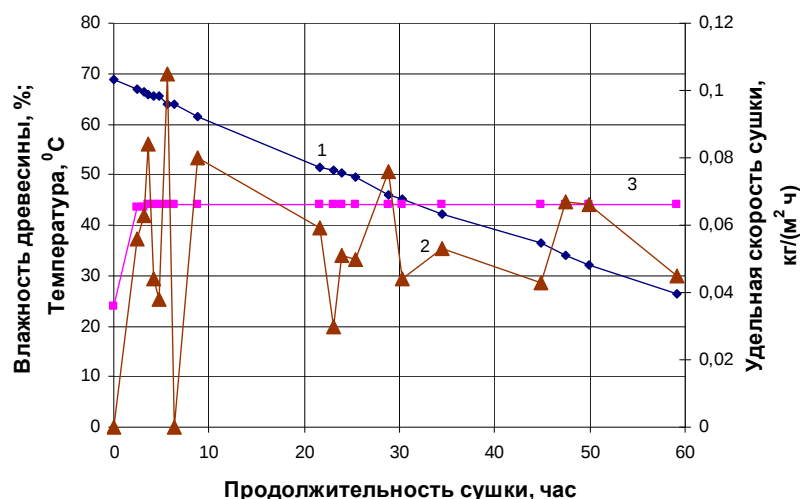


Рис. 1. Кинетика сушки лиственных пиломатериалов сечением 50×125 мм при $t_c = 44$ °C от $W_n = 68$ % до 30 %: 1 – кривая изменения влажности; 2 – удельная скорость сушки; 3 – температура агента сушки

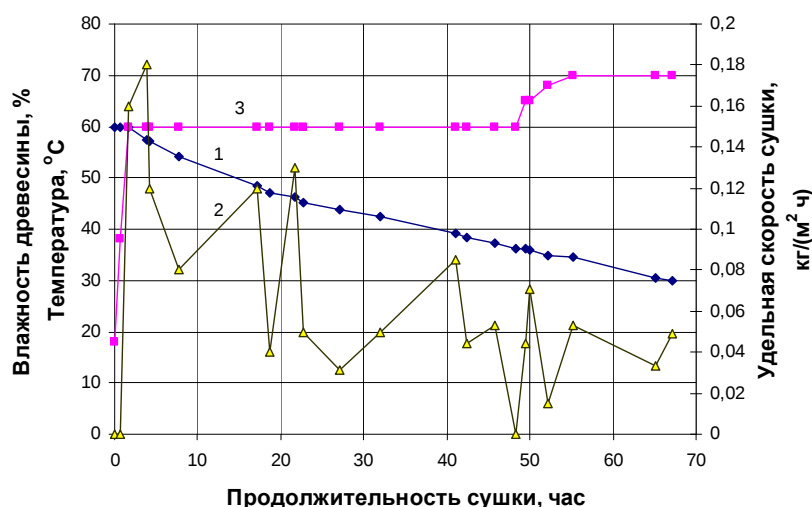


Рис. 2. Кинетика сушки лиственных пиломатериалов сечением 50×125 мм при $t_c = 60$ °C от $W_n = 60$ % до 30 %: 1 – кривая изменения влажности; 2 – удельная скорость сушки; 3 – температура агента сушки

Основной принцип, который заложен в указанную схему регулирования, – необходимость ужесточать режим сушки по мере снижения влажности древесины. Этот принцип используется в подавляющем большинстве случаев независимо от типа сушильной установки. В некоторых случаях предлагается комбинированный вариант, когда конструкция сушильной камеры позволяет реализовать режимы сушки как по нарастающей жёсткости режима сушки, так и по нисходящей.

Любая предлагаемая структура режимов имеет своё обоснование. Основное обоснование, как было сказано ранее, – это снижение вязкости воды. Снижение вязкости автоматически приводит к снижению сопротивляемости среды влагопереносу.

Снижение относительной влажности агента сушки при одновременном повышении температурного уровня позволяет интенсивно испарить всю влагу. Открытая система влагопроводящих путей древесины позволяет управлять интенсивностью влагопереноса через интенсивность влагообмена на поверхности высушиваемой доски.

Такой подход к решению проблемы интенсивности эмиссии влаги из древесины относительно легко поддаётся автоматическому регулированию. Процесс сушки регулируется путём отслеживания текущей влажности, который можно отнести к пассивному способу воздействия на интенсивность эмиссии влаги.

Тогда основной движущей силой выступает перепад связанной влажности по сечению доски (влагопроводность), перепад температур по сечению доски в период перехода с одной ступени режима на другой (закон Фика) [12; 14].

Как показывает практика сушки лиственных пиломатериалов, вышеприведённый подход совершенно неприемлем. На это указывают результаты экспериментов (рис. 1, 2). Отнесение древесины лиственницы к категории трудносохнущих по причине повышенной плотности не поддерживает никакой критики. Можно привести много примеров, когда относительно «рыхлые» древесные породы (пихта) в сопоставимых условиях сохнут по времени одинаково с лиственными.

При более детальном изучении особенности сушки лиственных пиломатериалов было обращено внимание на то, что имеет место два ярко выраженных периода сушки: интенсивный и замедленный (рис. 3).

Такая закономерность проявляется независимо от толщины доски.

Такое различие впервые было описано в [13]: «...при средней скорости снижения влажности древесины 6,5 % в сутки в течение первых двух суток влажность снижалась по 20 %. Затем скорость сушки понижалась и при влажности древесины ниже 25 % составляла 2–3 % в сутки». Сравнивая приведённый материал с данными рис. 3, нетрудно увидеть полное совпадение.

Из приведённого материала следует вывод о том, что интенсивность сушки лиственных пиломатериалов снижается скачкообразно в процессе сушки по причине создания определённых условий. Следовательно, природные характеристики самой древесины лиственницы не является фактором, сдерживающим процесс сушки.

Таким условием является формирование слоя пермеата на поверхности лиственной доски в первые часы сушки. Он хорошо заметен (рис. 4). Основная масса пермеата – это арабиногалактан, водорастворимое вещество. Концентрируясь на поверхности доски, пермеат блокирует процесс экстракции водорастворимых веществ. Более полная версия механизма образования пермеата представлена в более ранних работах [6].

Здесь необходимо обратить внимание на ряд особенностей процесса эмиссии влаги из лиственных пиломатериалов:

- древесина лиственницы не может рассматриваться как система открытых пор;
- вода, находящаяся в древесине, может рассматриваться условно свободной. В древесине, которая заготавливается в зимний период времени, вся вода, которая содержится в древесине, в той или иной степени связана. В противном случае растение погибает [15];
- процесс переноса влаги в древесине лиственницы является составной частью экстракции водорастворимых веществ [6];
- древесина лиственницы даже при незначительном повышении температуры ($t_c \geq 40^\circ\text{C}$) переходит в химически активное состояние;
- движущей силой процесса экстракции является избыточное давление, которое возникает под действием парогазовой смеси, которая образуется в результате реакции гидролиза [7]. Интенсивность эмиссии парогазовой смеси представлена на рис. 5.

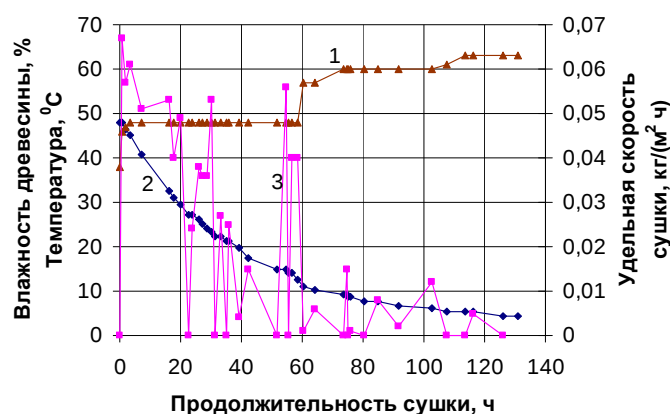


Рис. 3. Кинетика сушки лиственных пиломатериалов сечением 25×100 мм:

1 – температура агента сушки; 2 – влажностное содержание древесины; 3 – удельная скорость сушки



Рис. 4. Наличие пятен экстрактивных веществ на пласти высушенной лиственничной доски

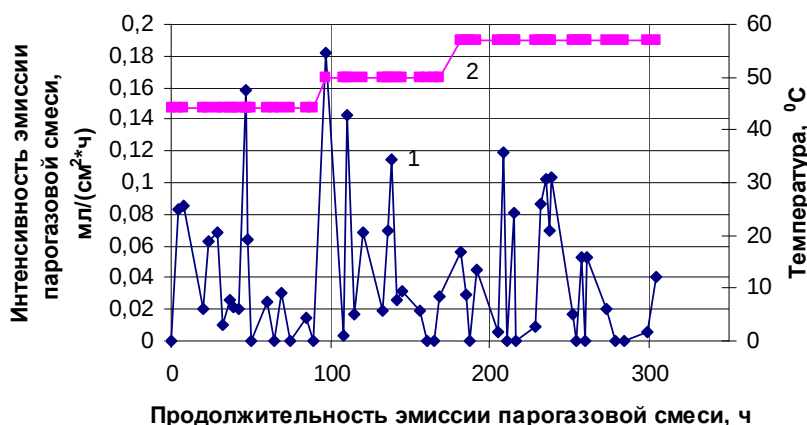


Рис. 5. Зависимость удельной скорости эмиссии парогазовой смеси от температуры: 1 – интенсивность эмиссии парогазовой смеси; 2 – температура нагрева древесины

Из графического материала вытекает ряд выводов:
– отличительной особенностью указанных процессов является их конечность для определённой температуры (рис. 5);

– подъём температуры характеризуется всплеском интенсивности эмиссии парогазовой смеси, достигая $G_{см} = 0,18$ мл/(см²·ч), что указывает на повышенную скорость протекания реакции гидролиза в период подъёма температуры;

– через определённый период интенсивность образования парогазовой смеси снижается до $G_{см} = 0,02...0,04$ мл/(см²·ч);

– для возобновления реакции гидролиза и, как следствие, формирования парогазовой смеси в полостях клеток достаточно повысить температуру нагрева в сушильной камере на $3...4$ °C.

Полученная парогазовая смесь отличается значительным разнообразием компонентов, включая воду в кристаллах. Так, нагрев древесины лиственницы до $t_n = 84$ °C инициировал формирование реакции гидролиза, при реализации которой было зафиксировано порядка 139 компонентов [4]. Для определения физико-химического анализа была использована инфракрасная спектроскопия.

Из приведённых выше экспериментальных данных (рис. 3, 5) следует ещё один очень важный вывод о том, что эмиссия парогазовой смеси и воды имеет

одинаковый циклический характер. При этом первичным процессом является эмиссия парогазовой смеси, а вторичным – вытеснение водного раствора экстрактивных веществ.

Регулирование интенсивности сушки на начальном этапе сушки. Для объяснения полученного соотношения скоростей удаления воды в начальный период на влагопроводность следует рассматривать через такой процесс, как экстракция водорастворимых веществ при различных температурах. Анализ литературных источников по данной проблеме указал на близость режимов сушки и экстракции – повышение температуры с 44 до 60 °C увеличивает скорость экстракции в среднем на 10 % [1].

Результатом экстракции является формирование на поверхности лиственничной доски пермеата – слоя водорастворимых экстрактивных веществ. Основная масса – это арабиногалактан, вещество относится к группе мембранотропных. Данное свойство объясняется относительно невысокой молекулярной массой (9000...13000) и небольшой степенью полидисперсности (1,9...2,3) [10]. Макромолекулы арабиногалактана преимущественно находятся в свёрнутом в клубки состоянии. На основании вышеприведённого можно сделать вывод о том, что на поверхность лиственничной доски в виде пятен (рис. 4) вытесняется водный раствор арабиногалактана.

Сформированный в результате экстракции слой пермеата коренным образом изменяет процесс удаления влаги из древесины (рис. 3) – удельная скорость сушки G_w , кг/(м²·ч) снижается в несколько раз скачком – с 0,18 кг/(м²·ч) до 0,088 кг/(м²·ч) (рис. 3).

Образование пермеата происходит независимо от режима сушки. При этом время образования пермеата зависит от температуры древесины. Повышение температуры древесины интенсифицирует процесс экстракции [5]. Следовательно, время сушки без блокирующего времени увеличивается при использовании в начальный период сушки более умеренной температуры (рис. 1, 2).

Фактически экстракция, а значит, и удаление воды путём вытеснения начинается уже на стадии прогрева пиломатериалов. Поэтому первая ступень сушки может соответствовать более низкому температурному уровню. Тогда время сушки без пермеата также увеличивается. При использовании низкого температурного уровня ($t_c < 44$ °С) и низкой скорости циркуляции следует учитывать тот факт, что повышается вероятность появления плесени на поверхности заболонной зоны древесины.

Из вышеприведённого материала следует вывод о том, что на начальном этапе сушки, определяющем интенсивность удаления воды из древесины лиственницы, является наличие на поверхности доски пермеата. Поэтому увеличение времени сушки без пермеата повышает объём вытесненной воды. Расчётные данные указывают на то, что правильное регулирование процесса формирования пермеата на начальном этапе позволяет сократить общее время сушки, в среднем, на 10 %.

Следовательно, изменение интенсивности эмиссии парогазовой смеси на начальном этапе сушки управляет скоростью вытеснения водного раствора экстрактивных веществ из древесины лиственницы.

Регулирование интенсивности сушки на последующем этапе сушки. Второй этап сушки лиственных пиломатериалов осуществляется на фоне сформированного слоя пермеата на поверхности доски – сопротивление экстракции. Поэтому данный этап характеризуется повышенной сопротивляемостью среды вытеснению водного раствора экстрактивных веществ.

Следовательно, управлять интенсивностью удаления воды возможно только через движущую силу процесса. Поэтому интенсивностью экстракции, включая эмиссию воды из древесины лиственницы, следует управлять через реакцию гидролиза, которая, в свою очередь, зависит от температурного уровня.

Для более полного понимания указанного утверждения следует обратить внимание на особенность протекания процесса эмиссии влаги из древесины лиственницы на втором, замедленном, этапе сушки. Он характеризуется цикличностью. Так, из 12 ч. общего времени цикла в течение 11,5 ч влажность не меняется, а в последующие 0,5 ч влажность изменяется на 2...4 %. Поэтому даже незначительное сокращение «холостого» периода цикла, когда происходит своеобразное накопление влаги на поверхности доски, позволит значительно повысить эффективность технологии сушки.

Экспериментально было установлено, что для возобновления реакции гидролиза достаточно температуру агента сушки в сушильной камере увеличить на $t_c = 3...4$ °С, что приводит к образованию парогазовой смеси. Как следствие, возобновляется эмиссия воды.

Из вышесказанного следует основополагающий вывод о том, что процесс сушки целесообразно вести не по текущей влажности, а по интенсивности сушки, учитывая значение G_w , %/ч.

Рекомендации по эффективному управлению процессом сушки лиственных пиломатериалов будут неполными, если не указать на такой показатель, как относительная влажность агента сушки ϕ . Значение этого показателя в течение всего периода сушки необходимо поддерживать на уровне $\phi = 87...90$ %. Соблюдение указанного условия позволит максимально сохранить целостность пиломатериала, не снижая интенсивность испарения воды с поверхности доски.

ВЫВОДЫ

1. Температура древесины – основной режимный показатель, от уровня которого зависит интенсивность эмиссии влаги из высушиваемых лиственных пиломатериалов.

2. Основным фактором, сдерживающим вывод влаги из высушиваемых лиственных пиломатериалов, является слой водорастворимых веществ, который формируется в поверхностных слоях доски в начальный период сушки.

3. Основной движущей силой переноса водного раствора экстрактивных веществ является избыточное давление, которое формируется в древесине в результате образования парогазовой смеси.

4. Своевременный переход с одной температурной ступени на последующую позволяет значительно сократить время сушки лиственных пиломатериалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Эффективный антиоксидант из древесины лиственницы / В. А. Бабкин, Ю. А. Малков, Л. А. Остроухова, Н. А. Онучина, Л. А. Еськова // Хвойные бореальной зоны. 2003. № 1. С. 108–113.
2. ГОСТ 19773–84. Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия. Введ. 1985-01-01. М. : Изд-во стандартов, 1989. 14 с
3. Гороховский А. Г. Технология сушки пиломатериалов на основе моделирования и оптимизации процессов тепломассопереноса в древесине : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2008. 39 с.
4. Зарипов Ш. Г., Ермолин В. Н. Избыточное давление в лиственных пиломатериалах при низкотемпературной конвективной сушке [Текст] // Лесной журнал. 2011. № 4. С. 52–57.
5. Зарипов Ш. Г. Режимы сушки лиственных пиломатериалов в сушильных камерах периодического действия // Лесной журнал. 2018. № 5. С. 151–160. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.151.
6. Зарипов Ш. Г. Совершенствование технологии сушки лиственных пиломатериалов : дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.05: утв. 12.12.16. М., 2016. 243 с.

7. Зарипов Ш. Г. «Сила переноса» влаги в древесине лиственницы при конвективной сушке // Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. науч. тр. / под общ. ред. Е. А. Памфилова. Вып. 34. Брянск, 2012. С. 39–44.
8. Интенсификация процесса водной экстракции арабиногалактана из древесины лиственницы / С. А. Кузнецова [и др.] // Химия растительного сырья. 2005. № 1. С. 53–58.
9. Кречетов И. В. Сушка древесины. 3-е изд., перераб. М. : Лесн. пром-сть, 1980. 432 с.
10. Медведева С. А., Александрова Г. П., Танцырев А. П. Гельпроникающая хроматография арабиногалактана // Лесной журнал. 2002. № 6. С. 108–113.
11. Микит Э. А., Упманис К. К. Интенсификация сушки пиломатериалов в камерах периодического действия. М. : Гослесбумиздат, 1961. 84 с.
12. Серговский П. С., Расев А. И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины: учеб. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Лесн. пром-сть, 1987. 360 с.
13. Чудинов Б. С., Тюриков Ф. Т., Зубань П. Е. Древесина лиственницы и ее обработка. М. : Лесн. пром-сть, 1965. 144 с.
14. Шубин Г. С. Физические основы и расчет процессов сушки древесины. М. : Лесн. пром-сть, 1973. 248 с.
15. Якушкина Н. И., Бахтенко Е. Ю. Физиология растений. М. : Владос, 2004. 464 с.
16. Alexiou P. N., Wilkins P., Hartley J. Effect of Pre-Steam on Drying Rate, Wood Anatomy and Shrinkage of Regrowth Eucalyptus pilularis Sm. // Wood Science Technology. 1990. No. 24. Pp. 103–110.
17. Avramidis S., Hatzikiriakos S.G., Siau J. F. An Irreversible Thermodynamics Model for Unsteady-State Nonisothermal Moisture Diffusion in Wood // Wood Science and Technology. 1994. No. 28. Pp. 349–358.
18. Baronas R., Ivanauskas F. Reducing Spatial Dimensionality in a Model of Moisture Diffusion in a Solid Material // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2004. Vol. 47, iss. 4. Pp. 699–705.
19. Bengtsson P., Sanati M. Measurement and Mathematical Modeling of the Hydrocarbon Emissions from Wood Drying // Proceedings of the 14th International Drying Symposium. São Paulo, Brazil, August 22–25, 2004. São Paulo, Brazil, 2004. Vol. B. Pp. 1352–1359.
20. Chen P., Pei D.C.T. A Mathematical Model of Drying Processes // International Journal of Heat and Mass Transfer. 1989. Vol. 32, no. 2. Pp. 297–310.
21. Comstock G. L. Moisture Diffusion Coefficients in Wood as Calculated from Adsorption Desorption and Steady State Data // Forest Products Journal. 1963. Vol. 13, No. 3. Pp. 97–103.
22. Haghi A. K. A Mathematical Model of the Drying Process // Acta Polytechnica. 2001. Vol. 41, No. 3. P. 20–23.
23. Krischer O. Der Wärme- und Stoffaustausch im Trocknungsgut. Die analytische und grafische Behandlung der Trocknung poriger hygroskopischer Güter VDI-Forschungsheft 415. Berlin: NW 7 VDI-Verlag GmbH, 1942.
24. Krischer O., Kast W. Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Berlin : Springer Verlag, 1978. 489 S.
25. Tuttle F. A Mathematical Theory of the Drying of Wood // Journal of the Franklin Institute. 1925. Vol. 200, iss. 5. P. 609–614.
26. Wengert E. M. Principles and Practices of Drying Lumber. Blacksburg Virginia. 2006. 59 p.

REFERENCES

1. Effektivnyy antioksidant iz drevesiny listvennitsy / V. A. Babkin, Yu. A. Malkov, L. A. Ostroukhova, N. A. Onuchina, L. A. Es'kova // Khvoynyye boreal'noy zony. 2003. № 1. S. 108–113.
2. GOST 19773–84. Pilomaterialy khvoynykh i listvennykh porod. Rezhimy sushki v kamerakh periodicheskogo deystviya. Vved. 1985-01-01. M. : Izd-vo standartov, 1989. 14 s
3. Gorokhovskiy A. G. Tekhnologiya sushki pilomaterialov na osnove modelirovaniya i optimizatsii protsessov teplomassoperenosa v drevesine : avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. SPb., 2008. 39 s.
4. Zaripov Sh. G., Ermolin V. N. Izbytochnoye davleniye v listvennichnykh pilomaterialakh pri nizkotemperaturnoy konvektivnoy sushke [Tekst] // Lesnoy zhurnal. 2011. № 4. S. 52–57.
5. Zaripov Sh. G. Rezhimy sushki listvennichnykh pilomaterialov v sushil'nykh kamerakh periodicheskogo deystviya // Lesnoy zhurnal. 2018. № 5. S. 151–160. (Izv. vyssh. ucheb. zavedeniy). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.151.
6. Zaripov Sh. G. Sovershenstvovaniye tekhnologii sushki listvennichnykh pilomaterialov : dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.21.05: utv. 12.12.16. M., 2016. 243 s.
7. Zaripov Sh. G. «Sila perenosa» vlagi v drevesine listvennitsy pri konvektivnoy sushke // Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa : sb. nauch. tr. / pod obsch. red. E. A. Pamfilova. Vyp. 34. Bryansk, 2012. S. 39–44.
8. Intensifikatsiya protsessa vodnoy ekstraktsii arabinogalakhtana iz drevesiny listvennitsy / S. A. Kuznetsova [i dr.] // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2005. № 1. S. 53–58.
9. Krechetov I. V. Sushka drevesiny. 3-e izd., pererab. M. : Lesn. prom-st', 1980. 432 s.
10. Medvedeva S. A., Aleksandrova G. P., Tantsyrev A. P. Gel'pronikayushchaya khromotografiya arabino galaktana // Lesnoy zhurnal. 2002. № 6. S. 108–113.
11. Mikit E. A., Upmanis K. K. Intensifikatsiya sushki pilomaterialov v kamerakh periodicheskogo deystviya. M. : Goslesbumizdat, 1961. 84 s.
12. Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovaniye drevesiny: ucheb. dlya vuzov / P. S. Sergovskiy, A. I. Rasev. 4-e izd., pererab. i dop. M. : Lesn. prom-st', 1987. 360 s.
13. Chudinov B. S., Tyurikov F. T., Zuban' P. E. Drevesina listvennitsy i eye obrabotka. M. : Lesn. prom-st', 1965. 144 s.
14. Shubin G. S. Fizicheskkiye osnovy i raschet protsessov sushki drevesiny. M.: Lesn. prom-st', 1973. 248 s.
15. Yakushkina N. I., Bakhtenko E. Yu. Fiziologiya rasteniy. M. : Vlados, 2004. 464 s.
16. Alexiou P. N., Wilkins P., Hartley J. Effect of Pre-Steam on Drying Rate, Wood Anatomy and Shrinkage

of Regrowth *Eucalyptus pilularis* Sm. // *Wood Science Technology*. 1990. No. 24. Pp. 103–110.

17. Avramidis S., Hatzikiriakos S. G., Siau J.F. An Irreversible Thermodynamics Model for Unsteady-State Nonisothermal Moisture Diffusion in Wood // *Wood Science and Technology*. 1994. No. 28. Pp. 349–358.

18. Baronas R. Ivanauskas F. Reducing Spatial Dimensionality in a Model of Moisture Diffusion in a Solid Material // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2004. Vol. 47, iss. 4. Pp. 699–705.

19. Bengtsson P., Sanati M. Measurement and Mathematical Modeling of the Hydrocarbon Emissions from Wood Drying // *Proceedings of the 14th International Drying Symposium*. São Paulo, Brazil, August 22–25, 2004. São Paulo, Brazil, 2004. Vol. B. P. 1352–1359.

20. Chen P., Pei D.C.T. A Mathematical Model of Drying Processes // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 1989. Vol. 32, no. 2. Pp. 297–310.

21. Comstock G. L. Moisture Diffusion Coefficients in Wood as Calculated from Adsorption Desorption and

Steady State Data // *Forest Products Journal*. 1963. Vol. 13, No. 3. Pp. 97–103.

22. Haghi A. K. A Mathematical Model of the Drying Process // *Acta Polytechnica*. 2001. Vol. 41, No. 3. P. 20–23.

23. Krischer O. Der Wärme- und Stoffaustausch im Trocknungsgut. Die analytische und grafische Behandlung der Trocknung poriger hygroskopischer Güter VDI-Forschungsheft 415. Berlin: NW 7 VDI-Verlag GmbH, 1942.

24. Krischer O., Kast W. Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Berlin : Springer Verlag, 1978. 489 S.

25. Tuttle F. A Mathematical Theory of the Drying of Wood // *Journal of the Franklin Institute*. 1925. Vol. 200, iss. 5. P. 609–614.

26. Wengert E. M. Principles and Practices of Drying Lumber. Blacksburg Virginia. 2006. 59 p.

© Зарипов Ш. Г., Корниенко В. А., 2022

Поступила в редакцию 22.12.2021
Принята к печати 01.04.2022

ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ГИБКИХ ПОСТАВОВ**В. В. Огурцов, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева**

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

Данная работа открывает цикл статей авторов по оптимизации количества сечений пиломатериалов в поставе с целью максимизации экономической эффективности их производства. Тематика исследований продиктована тем, что в настоящее время в крупно-поточном массовом лесопилении практически повсеместно происходит вытеснение головного брёвнопильного оборудования с жёсткими нерегулируемыми поставами. На смену ему приходит оборудование с гибкими поставами, когда для каждого бревна автоматически устанавливается оптимальный постав в соответствии с его формой и размерами. Для оценки преемственности в вопросах оптимизации обратились к эволюции поставов, начиная с теории максимальных поставов и кончая современными методами генерирования поставов с учётом случайных размеров и формы пиловочника. Для этого использовались разработанные авторами алгоритмы и программы для автоматизированного проектирования оптимальных поставов и имитационного моделирования процессов распиловки брёвен на пиломатериалы. В результате проведена сравнительная ориентировочная оценка технико-экономических показателей поштучной оптимизации гибких поставов и групповой оптимизации поставов для распиловочных партий. Установлено, что гибкие поставки, сгенерированные для каждого конкретного бревна из распиловочной партии с одним чётным диаметром и средней кривизной 0,25 % после поштучного измерения его геометрических параметров, совпали с оптимальным поставом, сгенерированным для партии брёвен с соответствующими номинальными характеристиками. Однако объёмный выход из-за особенностей размеров и формы бревна снизился на 3,82 %. Это снижение не указывает на то, что гибкий постав менее эффективен по сравнению с оптимальным поставом для партии брёвен, так как структуры этих поставов абсолютно идентичны. Это указывает на то, что расчётное значение объёмного выхода для партии брёвен больше фактического на 3,82 %. То есть, происходит не снижение объёма получаемых пиломатериалов, а выявляется ошибка в его прогнозировании. Гибкие поставки теоретически не имеют преимуществ по объёмному выходу перед жёсткими поставами. Их эффективность заключается в упрощении процесса подготовки сырья к раскрою в связи с уменьшением дробности его сортировки по диаметрам или с полным отказом от неё при определённых условиях. Данные выводы носят постановочный (гипотетический) характер. С целью их подтверждения и уточнения авторами разрабатываются специальные имитационные модели для проведения более глубоких и всесторонних исследований процесса производства пиломатериалов с использованием гибких поставов.

Ключевые слова: бревно, сортировка, распиловка, постав, оптимизация.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 2, P. 153–157

GENERAL STATEMENT OF THE OPTIMIZATION PROBLEM OF FLEXIBLE DELIVERY**V. V. Ogurtsov, E. V. Kargina, I. S. Matveeva**

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

This work opens a series of articles by the authors on optimizing the number of sections of lumber in a set in order to maximize the economic efficiency of their production. The subject of research is dictated by the fact that at present, in large-scale mass sawmilling, almost everywhere there is a displacement of head log sawing equipment with rigid unregulated stands. It is being replaced by equipment with flexible stands, when for each log the optimal setting is automatically set for each log in accordance with its shape and size. To assess the continuity in optimization issues, we turned to the evolution of posts, starting from the theory of maximum posts and ending with modern methods of generating posts, taking into account random sizes and shapes of sawlogs. For this, algorithms and programs developed by the authors for automated design of optimal set-ups and simulation modeling of the processes of sawing logs into lumber were used. As a result, a comparative tentative assessment of the technical and economic indicators of piece-by-piece optimization of flexible sets and group optimization of sets for sawing batches was carried out. It has been established that the flexible set generated for a particular log after measuring its geometric parameters coincided

with the optimal set generated for a batch of logs with the corresponding nominal characteristics. However, due to the peculiarities of the size and shape of the log, the volumetric yield decreased by 3.82 %. This reduction does not indicate that the flexible set is less efficient than the optimal set for a batch of logs, since the structures of these sets are absolutely identical. This indicates that the calculated value of the volume output for a batch of logs is 3.82 % higher than the actual one. That is, there is not a decrease in the volume of lumber received, but an error in its forecasting is revealed. Flexible fittings theoretically have no advantages in terms of volume output over rigid fittings. Their effectiveness lies in the simplification of the process of preparing raw materials for cutting due to a decrease in the fractionality of its sorting by diameters or with a complete rejection of it under certain conditions. These conclusions are staged (hypothetical) in nature. In order to confirm and clarify them, the authors develop special simulation models for conducting deeper and more comprehensive studies of the lumber production process using flexible sets.

Keywords: log, sorting, sawing, setting, optimization.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в крупно-поточном массовом лесопилении практически повсеместно происходит вытеснение головного брёвнопильного оборудования с жёсткими нерегулируемыми поставами [11–19]. На смену ему приходит оборудование с гибкими поставами, когда для каждого бревна автоматически устанавливается оптимальный постав в соответствии с его формой и размерами. В результате радикально меняется общая постановка задачи оптимизации поставов.

В процессе развития теории и практики лесопиления менялись представления об эффективных поставках. Первым подходом к оптимизации поставов был фундаментальный труд Фельдмана Х. Л. [1]. Он предложил поэтапную оптимизацию, при которой сначала определяется оптимальная толщина бруса на первом проходе, а затем находятся оптимальные размеры боковых досок на обоих проходах. При этом технологические ограничения не учитываются. Полученные таким образом поставки автор назвал максимальными поставками. По-видимому, Фельдман Х. Л. имел в виду то, что поэтапная (последовательная) оптимизация не позволяет находить действительно оптимальные (наилучшие) поставки, а отсутствие технологических ограничений делает эти поставки не реальными. В дальнейшем максимальные поставки рассматривались как некий «теоретический потолок», достичь который из-за неизбежных технологических ограничений невозможно. Второй широкий шаг к повышению эффективности поставов обусловлен трудами Шапиро Д. Ф., Гутермана М. Н., Титкова Г. Г., Батина Н. А. и других учёных-лесооптимизаторов [2–7]. Их исследования направлены на адаптацию теории максимальных поставов Фельдмана Х. Л. к технологическим требованиям реального лесопильного производства. В результате были сформулированы «Правила составления рациональных поставов»:

1. При массовых способах распиловки сырья поставки должны быть симметричными.
2. Число выпиливаемых сечений из бревна должно быть минимальным. Для этого из бревна следует получать не более одной-двух толщин толстых досок и двух толщин – тонких досок. Общее число толщин должно быть не более трёх.
3. Чтобы исключить перегрузку лесопильных рам и других участков потока, необходимо избегать «тяжелых поставов» с большим числом пил. Рекомендуемое число пил зависит от диаметра бревна и устанавливается от 4 до 12.

4. Не следует включать в один постав доски двух смежных толщин с разницей менее 5 мм, так как при сортировке их трудно различать.

5. Ширина постава должна соответствовать предельному охвату диаметра бревна поставом.

6. Развальные поставки состояются ступенчатыми: в них толщина досок уменьшается от центра к периферии. При выборе толщин рекомендуется пользоваться графиками оптимальных толщин проф. Батина Н. А.

7. При распиловке брёвен с брусковой толщиной бруса следует брать близкой к $0,707d$ (d – диаметр бревна в вершинном торце), а именно $(0,6...0,8)d$ с корректировкой на заданную ширину пиломатериалов. Из брёвен диаметром 54 см и более необходимо выпиливать два или три бруса толщиной $(0,3...0,45)d$. При выборе толщин боковых досок рекомендуется пользоваться графиками оптимальных толщин проф. Батина Н. А. В поставе второго прохода толщина толстых досок, выпиливаемых из бруса в пределах ширины пропиленной части, уменьшенной на 10...20 мм, выбирается одинаковой в соответствии со спецификацией пиломатериалов. С целью сокращения числа сечений пиломатериалов боковые доски на первом и втором проходе необходимо согласовывать по толщине.

Анализ этих правил показывает, что их выполнение в основном направлено на решение двух противоположных задач: обеспечить максимизацию объёмного выхода пиломатериалов при минимизации количества их сечений с учётом специфики доминирующего рамного лесопиления.

Следует отметить, что при переходе на головное брёвнопильное оборудование с гибкими поставками вопрос конкурирования этих задач не снимается, так как эффективность массового лесопиления в значительной мере зависит от количества одновременно вырабатываемых сечений. С их увеличением лавинообразно возрастают затраты на сортировочно-переместительные операции после лесопильного цеха. Поскольку при оптимизации поставов неизбежно возникает вопрос сопоставления экономического эффекта от увеличения объёмного выхода пиломатериалов с дополнительными затратами от увеличения количества сечений, то использование объёмного выхода пиломатериалов в качестве критерия оптимальности поставов нельзя считать безальтернативным.

Следует также отметить, что правила составления поставов устанавливают границы для параметров по-

ставов, а, следовательно, они уменьшают количество допустимых поставов. Поэтому каждое правило может только уменьшать объёмный выход пиломатериалов. Другими словами, любое правило имеет «цену» в виде величины снижения объёмного выхода пиломатериалов. Для определения обоснованности правил необходимо прежде всего оценить их отрицательный потенциал с тем, чтобы иметь возможность сопоставлять его с технологическими и потребительскими дивидендами.

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для перехода от рациональных поставов к оптимальным гибким поставам необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить ориентировочные технико-экономические преимущества поштучной оптимизации при использовании гибких поставов перед групповой оптимизацией поставов для распиловочных партий. Определить влияние технологических ограничений (по количеству толщин, по согласованности проходов, по разности смежных толщин) на объёмный выход пиломатериалов.

2. Выбрать критерий оптимальности поставов, который связывает выручку от повышения объёмного выхода пиломатериалов и затраты от увеличения количество их сечений.

3. Сформировать ограничения оптимизационной задачи, связывающие правила составления поставов с объёмным выходом пиломатериалов и экономической эффективностью их производства.

Данная работа посвящается решению первой задачи. Она открывает цикл статей авторов по оптимизации количества сечений пиломатериалов в поставе с целью максимизации экономической эффективности их производства.

Для этого используются разработанные авторами алгоритмы и программы для автоматизированного проектирования оптимальных поставов и имитационного моделирования процессов распиловки брёвен на пиломатериалы [8–10]. Определяются максимальные поставы, применяя в качестве ограничений только стандартные (номинальные) диаметры брёвен и сечения пиломатериалов. В таблице в качестве примера представлены максимальные нечётные поставы для двух диаметров и четырёх длин.

Представленные поставы невозможно превзойти по объёмному выходу пиломатериалов в рамках действующих стандартов на размеры сырья и пиломатериалов. Они устанавливают предельные теоретические объёмные выходы для использования в качестве ориентиров при проектировании реальных поставов. Количество толщин в максимальных поставов варьирует от 2 до 5.

Максимальные поставы Фельдмана Х.Л. содержат доски толщиной 9,5; 12,7 мм (3/8 и 1/2 дюймов), которые в настоящее время не являются стандартными и значительно уступают по толщине самой тонкой стандартной доске. Если исключить эти доски, то максимальные поставы Фельдмана Х. Л. уступают нашим на 2,3...4,5 %, что является совершенно естественным, так как с методом полного перебора не может

конкурировать ни один метод. Определяя максимальный постав для диаметра, например, 30 см анализируются все 782229 возможных поставов.

Максимальные нечётные поставы

Номер поставов	Диаметр (см), / длина, (м)	Максимальный нечётный постав	Объёмный выход, %
1	14/6,5	– 125 – 16 – 22 – 50 – 22 – 16	56,57
2	14/5,5	– 125 – 16 – 22 – 50 – 22 – 16	57,33
3	14/4,5	– 125 – 19 – 19 – 25 – 19 – 19	56,86
4	14/4,0	– 125 – 19 – 22 – 22 – 22 – 19	59,79
5	22/6,5	16 – 200 – 16 16 – 16 – 40 – 50 – 40 – 16 – 16	63,14
6	22/5,5	16 – 175 – 16 16 – 16 – 40 – 50 – 40 – 16 – 16	63,94
7	22/4,50	16 – 175 – 16 16 – 16 – 40 – 50 – 40 – 16 – 16	65,22
8	22/4,00	16 – 175 – 16 16 – 16 – 40 – 50 – 40 – 16 – 16	65,43

Используя имитационное моделирование, провели «машинную распиловку» партии из 1000 брёвен диаметром и длиной – 22 см/5,5 м три раза:

– максимальным поставом 16 – 175 – 16; 16 – 16 – 40 – 50 – 40 – 16 – 16; получили объёмный выход пиломатериалов – 63,94 %;

– оптимальным двухтолщинным поставом 25 – 150 – 25; 25 – 50/3 – 25, сгенерированным для распиловочной партии (групповая оптимизация); получили объёмный выход – 60,21 %;

– оптимальными гибкими поставами, сгенерированными для каждого бревна партии. Толщина бревна случайно отклонялась от номинального значения по равновероятному закону с амплитудой 10 мм, а кривизна варьировала по нормальному закону с амплитудой 0,25 %. Объёмный выход составил 56,32 %.

Из полученных результатов видно, что при групповой оптимизации и введении весьма распространённого ограничения «не более двух толщин» радикально изменилась структура оптимального поставов (по сравнению с максимальным поставом) с изменением сечений всех пиломатериалов. В результате объёмный выход снизился на 3,73 %. При поштучной оптимизации после измерения толщины и кривизна бревна и при использовании ограничения «не более двух толщин» был сгенерирован такой же постав, как и при групповой оптимизации. Однако объёмный выход из-за особенностей размеров и формы бревна снизился ещё на 3,82 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Гибкий постав, сгенерированный для конкретного бревна после измерения его геометрических параметров, совпадал с оптимальным поставом, сгене-

рированным для партии брёвен с номинальными характеристиками.

2. Снижение объёмного выхода при использовании гибкого постава на 3,82 % не указывает на то, что он менее эффективен по сравнению с оптимальным поставом для партии брёвен, так как структуры этих поставов абсолютно идентичны. Это указывает на то, что расчётное значение объёмного выхода для партии брёвен больше фактического на 3,82 %. Другими словами, происходит не снижения объёма получаемых пиломатериалов, а выявляется ошибка в его прогнозировании.

3. Гибкие поставы теоретически не имеют преимуществ по объёмному выходу перед жёсткими поставами. Их эффективность заключается в упрощении процесса подготовки сырья к раскрою в связи с уменьшением дробности его сортировки по диаметрам или с полным отказом от неё при определённых условиях.

4. Данные выводы носят постановочный (гипотетический) характер. С целью их подтверждения и уточнения авторами разрабатываются специальные имитационные модели для проведения более глубоких и всесторонних исследований процесса производства пиломатериалов с использованием гибких поставов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Фельдман Х. Л. Система максимальных поставов на распиловку. Л. : Лесотехн. изд-во, 1932. 276 с.
2. Шапиро Д. Ф. Лесопильно-строгальное производство. М., 1935. 508 с.
3. Гутерман М. Н. Основные вопросы теории первичного раскроя древесины на лесозаводах. М. : Гослесбумиздат, 1950. 24 с.
4. Титков Г. Г. Теоретические основы наивыгоднейшего объёмного использования пиловочных брёвен : автореф. дис. канд. техн. наук. / Ленингр. лесотехн. акад. Л., 1953. 20 с.
5. Батин Н. А. Теоретические и экспериментальные исследования пиловочного сырья : дис. ... д-ра техн. наук. Минск. 1964. 363 с.
6. Турушев В. Г. Технологические основы автоматизированного производства пиломатериалов. М. : Лесная промышленность, 1975. 208 с.
7. Калитеевский Р. Е. Лесопиление в XXI веке. Технология, оборудование, менеджмент. Издание второе, исправленное и дополненное. СПб. : Профикс, 2008. 496 с.
8. Каргина Е. В., Матвеева И. С., Огурцов В. В. Теоретические основы расчёта поставов для распиловки брёвен с пороками формы // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 28, № 1-2. С. 141–145.
9. Каргина Е. В., Ридель Л. Н., Матвеева И. С., Огурцов В. В. Алгоритм имитационных исследований экономической эффективности лесопильных предприятий // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 28, № 1-2. С. 146–153.
10. Огурцов В. В. Теория брусо-развальной распиловки брёвен : монография. Красноярск : СибГТУ, 2011. 230 с.

11. Chang S. J., Gazo R. Measuring the Effect of Internal Log Defect Scanning on the Value of Lumber

Produced // *Forest Products Journal*. 2009. 59 (11-12). P. 56–59. DOI: 10.13073/0015-7473-59.11.56.

12. Héberta F., Grondinb F., Plaice J. Mathematical modeling of curve sawing techniques for lumber industry // *Applied Mathematical Modelling*. 2000. Vol. 24, Is. 8-9. P. 677–687. DOI: 10.1016/S0307-904X(00)00009-3.

13. Hinostroza I., Pradenasa L., Parada V. Board cutting from logs: Optimal and heuristic approaches for the problem of packing rectangles in a circle // *International Journal of Production Economics*. 2013. Vol. 145, Is. 2. P. 541–546. DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.04.047.

14. Ikami Y., Matsumura Y., Murata K., Tsuchikawa S. Effect of Crosscutting Crooked Sugi (*Cryptomeria japonica*) Logs on Sawing Yield and Quality of Sawn Lumber // *Forest Products Journal*. 2010. Vol. 60 (3). P. 244–248. DOI: 10.13073/0015-7473-60.3.244.

15. Lin W., Wang J., Wu J., Vallance D. De. Log Sawing Practices and Lumber Recovery of Small Hardwood Sawmills in West Virginia. // *Forest Products Journal*. 2011. No. 61 (3). P. 216–224. DOI: 10.13073/0015-7473-61.3.216.

16. Montero R. S., Moya R. Reducing Warp and Checking in 4 by 4 Beams from Small-Diameter Tropical Species (*Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, and *Cordia alliodora*) Obtained by Turning the Pith Inside Out // *Forest Products Journal*. 2015. No. 65 (5-6). P. 285–291. DOI: 10.13073/FPJ-D-14-00089.

17. Murara Junior M. I., M. P. da Rocha, Trugilho P. F. Estimate of pine lumber yield using two sawing methods // *Floresta e Ambiente*. 2013. Vol. 20, No. 4. P. 556–563. – ref. 7.

18. Petutschnigg A. J., Katz H. A loglinear model to predict lumber quality depending on quality parameters of logs // *Holz als Roh – und Werkstoff*. 2005. Vol. 63. P. 112–111. DOI: 10.1007/s00107-004-0537-3.

19. Blatner K. A., Keegan III C. E., Daniels J. M., Morgan T. A. Trends in Lumber Processing in the Western United States. Part III: Residue Recovered versus Lumber Produced // *Forest Products Journal*. 2012. No. 62 (6). P. 429–433. DOI: 10.13073/FPJ-D-12-00024.1.

REFERENCES

1. Feldman Kh. L. The system of maximum setting for sawing. Leningrad: Lesotekhn. publishing house, 1932. 276 p.
2. Shapiro D. F. Sawmill and planing production. M., 1935. 508 p.
3. Guterma M. N. Basic questions of the theory of primary wood cutting at sawmills. M. : Goslesbumizdat, 1950. 24 p.
4. Titkov G. G. Theoretical foundations of the most advantageous volumetric use of saw logs: author. dis. cand. tech. Sciences: Leningrad. forest engineering acad. L., 1953. 20 p.
5. Batin N. A. Theoretical and experimental studies of sawmill raw materials: dis. Dr. tech. Sciences. Minsk. 1964. 363 p.
6. Turushev V. G. Technological foundations of automated production of lumber. M. : Lesnaya promyshlennost', 1975. 208 p.
7. Kaliteevsky R. E. Sawmilling in the XXI century. Technology, equipment, management. Second edition,

corrected and enlarged. St. Petersburg: Profix. 2008. 496 p.

8. Kargina E. V., Matveeva I. S., Ogurtsov V. V. Theoretical bases of calculation of stands for sawing logs with shape defects // *Coniferous boreal zone*. 2011. Vol. 28, No. 1-2. P. 141–145.

9. Kargina E. V., Ridel L. N., Matveeva I. S., Ogurtsov V. V. Algorithm for simulation studies of the economic efficiency of sawmill enterprises. 2011. Vol. 28, No. 1-2. P. 146–153.

10. Ogurtsov V. V. Theory of bar-breaking sawing of logs: monograph. Krasnoyarsk : SibGTU, 2011. 230 p.

11. Chang S. J., Gazo R. Measuring the Effect of Internal Log Defect Scanning on the Value of Lumber Produced // *Forest Products Journal*. 2009. 59 (11-12). P. 56–59. DOI: 10.13073/0015-7473-59.11.56.

12. Héberta F., Grondinb F., Plaice J. Mathematical modeling of curve sawing techniques for lumber industry // *Applied Mathematical Modelling*. 2000. Vol. 24, Is. 8-9. P. 677–687. DOI: 10.1016/S0307-904X(00)00009-3.

13. Hinostroza I., Pradenasa L., Parada V. Board cutting from logs: Optimal and heuristic approaches for the problem of packing rectangles in a circle // *International Journal of Production Economics*. 2013. Vol. 145, Is. 2. P. 541–546. DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.04.047.

14. Ikami Y., Matsumura Y., Murata K., Tsuchikawa S. Effect of Crosscutting Crooked Sugi (*Cryptomeria japonica*) Logs on Sawing Yield and Quality of Sawn

Lumber // *Forest Products Journal*. 2010. Vol. 60 (3). P. 244–248. DOI: 10.13073/0015-7473-60.3.244.

15. Lin W., Wang J., Wu J., Vallance D. De. Log Sawing Practices and Lumber Recovery of Small Hardwood Sawmills in West Virginia. // *Forest Products Journal*. 2011. No. 61 (3). P. 216–224. DOI: 10.13073/0015-7473-61.3.216.

16. Montero R. S., Moya R. Reducing Warp and Checking in 4 by 4 Beams from Small-Diameter Tropical Species (*Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, and *Cordia alliodora*) Obtained by Turning the Pith Inside Out // *Forest Products Journal*. 2015. No. 65 (5-6). P. 285–291. DOI: 10.13073/FPJ-D-14-00089.

17. Murara Junior M. I., M. P. da Rocha, Trugilho P. F. Estimate of pine lumber yield using two sawing methods // *Floresta e Ambiente*. 2013. Vol. 20, No. 4. P. 556–563. – ref. 7.

18. Petutschnigg A. J., Katz H. A loglinear model to predict lumber quality depending on quality parameters of logs // *Holz als Roh – und Werkstoff*. 2005. Vol. 63. P. 112–111. DOI: 10.1007/s00107-004-0537-3.

19. Blatner K. A., Keegan III C. E., Daniels J. M., Morgan T. A. Trends in Lumber Processing in the Western United States. Part III: Residue Recovered versus Lumber Produced // *Forest Products Journal*. 2012. No. 62 (6). P. 429–433. DOI: 10.13073/FPJ-D-12-00024.1.

© Огурцов В. В., Каргина Е. В.,
Матвеева И. С., 2022

Поступила в редакцию 15.12.2021
Принята к печати 01.04.2022

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ НА ОСНОВЕ БИОПОВРЕЖДЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Л. В. Юртаева, Ю. Д. Алашкевич

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский Рабочий», 31
E-mail: 2052727@mail.ru

В целях снижения негативных последствий от воздействия вредителей, а также улучшения санитарного и лесопатологического состояния лесов Минлесхозом Красноярского края на пораженных лесных участках проводятся санитарные рубки погибшей и биоповрежденной древесины. В связи с этим остро встает проблема утилизации биоповрежденной древесины.

В данной работе показана возможность получения целлюлозы из биоповрежденной древесины. Проанализированы механические прочностные характеристики готовых отливок, после размол волокнистой массы на безножевой размольной установке типа «струя–преграда». Определены условия получения микрокристаллической целлюлозы из биоповрежденной древесины.

Ключевые слова: биоповрежденная древесина, механические прочностные характеристики, размол целлюлозы, микрокристаллическая целлюлоза.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 2, P. 158–163

A METHOD FOR PRODUCING MICROCRYSTALLINE CELLULOSE BASED ON BIO-DAMAGED WOOD

L. V. Yurtayeva, Yu. D. Alashkevich

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: 2052727@mail.ru

In order to reduce the negative consequences of exposure to pests, as well as to improve the sanitary and forest pathology condition of forests, the Ministry of Forestry of the Krasnoyarsk Krai conducts sanitary logging of dead and bio-damaged wood in affected forest areas. In this regard, the problem of disposal of bio-damaged wood is acute.

This paper shows the possibility of obtaining cellulose from bio-damaged wood. The mechanical strength characteristics of the finished castings, after grinding the fibrous mass on a knife-less grinding plant of the “jet–barrier” type, are analyzed. The conditions for obtaining microcrystalline cellulose from bio-damaged wood are determined.

Keywords: bio-damaged wood, mechanical strength characteristics, cellulose grinding, microcrystalline cellulose.

ВВЕДЕНИЕ

Евросоюз в 2015 году выпустил директиву, в которой призвал европейские страны сократить число пластиковых пакетов на человека до 90 к 31 декабря 2019-го и до 40 к концу 2025-го. Тем не менее, «Пластиковая» проблема все еще остается актуальной, в том числе и для развитых стран. Так, например, в настоящее время обычный гражданин страны ЕС использует в среднем по 198 пакетов в год. И не смотря на то, что многие производители уже перешли на пакеты из биопластика, апеллируя к экологичности своей продукции из-за натуральных компонентов в составе, тем не менее период разложения биопластика в окружающей среде остается практически таким же, как и у пластмасс. Это значит, что биоразлагаемым можно назвать любой пластик, так как спустя несколько сотен лет он все-таки разложится. Исследованиями

установлено, что биоразлагаемые материалы могут разложиться только в результате промышленной утилизации. Поэтому единственный экологичный выход из сложившейся ситуации и как лучшая альтернатива – сокращение использования пластиковой упаковки, а не замена ее другими материалами.

На наш взгляд, решением данной экологической проблемы является бумажная упаковка, которая относится к легко перерабатываемой категории мусора. Даже в том случае если не будет возможности сдать такие пакеты на макулатуру, они быстро разложатся, и не нанесут вреда окружающей среде.

Есть, конечно, у данного решения этой проблемы и свои минусы. Во-первых, пакеты из бумаги, не всегда надёжны. Они могут легко испачкаться или порваться, такую упаковку придётся покупать чаще. Из-за низкой прочности их неудобно постоянно

носить с собой в отличие от многоцветных полиэтиленовых пакетов. Кроме того, бумажная упаковка стоит дороже. Во вторых они изготавливаются из первичной целлюлозы, то есть из деревьев, а это не экологично. Как вариант, можно использовать крафт-бумагу из вторсырья. Но тут возникают другие проблемы:

– нет желаемого ее объема для целлюлозно-бумажной отрасли, хотя все возможности для этого есть;

– закон запрещает продавать пищевые продукты в бумагу из переработанного сырья.

Актуальность выполненного авторами исследования заключается в рассмотрении альтернативного источника сырья для производства бумажной упаковки, а так же повышение ее прочности и надежности в процессе многоцветной эксплуатации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Древесина – достаточно востребованный ресурс в наше время. Его применяют на производстве различных строительных, мебельных и целлюлозно-бумажных компаний. В основном на таких производствах используют породы хвойной древесины: пихта, сосна, кедр. Но, как и любой другой ресурс, древесина может быть с различными дефектами.

Одним из факторов, который создает дефекты древесины, являются вредители. Деревьям любого вида угрожают множество вредоносных насекомых. Они могут поражать не только растущие стволы, но и уже заготовленные пиломатериалы, а также изделия из них. К самым распространенным вредоносным насекомым относятся такие виды как: уссурийский полиграф, пипельщик, побеговьюн, хермес [1]. Опаснейшим из перечисленных вредителей для хвойных деревьев является уссурийский полиграф. Если остальные нежданные паразиты поражают молодые побеги, хвою, кору и лубяной слой, тем самым придавая древесине болезненный и неэстетичный вид. То короеды представляют серьезную угрозу для жизни дерева, поэтому считаются самыми опасными вредителями. Они способны уничтожить даже крупные взрослые деревья всего за один сезон. За последние десять лет уссурийский полиграф является главной причиной деградации пихтарников на территориях Новосибирской, Кемеровской, Томской областях, а также в Красноярском и Алтайском краях.

Симптомы поражения уссурийским полиграфом выглядят следующим образом: появляются изменения окраски хвои усыхающих деревьев, смоленые натёки, в местах этих натёков могут находиться некрозы (отмирание) флоэмы (ткань растений, по которой проходит транспорт продукта фотосинтеза к частям растения), их вызывают деревоокрашивающие грибки, вносимые вредителями. Жуки оставляют многочисленные летные отверстия, маточные горизонтальные ходы, которые в среднем достигают до 8 см в длину, а вдоль ствола дерева до 7 см в длину.

К тому же климатические особенности первого полугодия 2020 сложились, таким образом, что произошло досрочное наступление вегетационного пе-

риода, что способствовало и раннему вылету жуков различных видов стволовых вредителей, распространенных на территории края, в том числе опаснейших из них: полиграфа уссурийского и шестизубчатого короеда. Уссурийский полиграф повреждает именно пихтовые насаждения. Масштабы распространения данного вредителя способны привести к полной гибели пихтовых насаждений на огромных площадях Красноярского края и других регионов РФ [2]. На сегодняшний день общая площадь установленных карантинных фитосанитарных зон по уссурийскому полиграфу составляет 606,71 тыс. га (это 44 зоны на территории 14 районов края), площадь очагов составляет 164,08 тыс. га. Единственным способом борьбы с распространением полиграфа является вырубка свежеселенных, погибших и поврежденных деревьев.

В табл. 1 представлены хвойные виды древесных растений, древесина которых используется в лесной промышленности. Приведены преимущественно те виды хвойных деревьев, которые встречаются на территории России.

В целях снижения негативных последствий от воздействия вредителей, а также улучшения санитарного и лесопатологического состояния лесов Минлесхозом Красноярского края на пораженных лесных участках проводятся санитарные рубки погибшей и поврежденной древесины.

Таблица 1
Хвойные древесные породы и виды
древесных растений умеренной зоны

Название рода (техн. – порода дерева)	Название вида (русское и латинское)
Сосна	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>), сосна сибирская (кедровая, <i>Pinus sibirica</i>)
Лиственница	Лиственница Гмелина (<i>Larix gmelinii</i>), лиственница амурская (<i>Larix amurensis</i>)
Ель	Ель обыкновенная (<i>Picea abies</i>), ель сибирская (<i>Picea obovata</i>)
Пихта	Пихта белая (<i>Abies alba</i>), пихта сибир- ская (<i>Abies sibirica</i>)
Кедр	Кедр гималайский (<i>Cedrus deodara</i>), кедр атласский (<i>Cedrus atlantica</i>)
Можжевельник	Можжевельник обыкновенный (<i>Juniperus communis</i>)

В целях снижения негативных последствий от воздействия вредителей, а также улучшения санитарного и лесопатологического состояния лесов Минлесхозом Красноярского края на пораженных лесных участках проводятся санитарные рубки погибшей и поврежденной древесины. В результате остро встает проблема утилизации поврежденной древесины. Причем при весьма не продолжительном сроке усыхания хвойной древесины ее химический состав практически не отличается от показателей здоровой.

В связи с этим в СибГУ им. М. Ф. Решетнева, в лаборатории кафедры МАПТ ведутся исследования возможности получения бумажных отливок из биоповрежденной древесины.

Объектом исследования выступала древесина хвойной породы, поврежденная уссурийским полиграфом.

Целью работы является исследование возможности получения бумажных отливок из биоповрежденной древесины, с механическими прочностными свойствами близкими к значениям, установленным ГОСТ11208–82 [3].

На данном этапе в задачи исследования входило:

- получение небеленой целлюлозы из биоповрежденной древесины;
- обработка волокнистой массы гидромеханическим способом с использованием безножевой установки типа «струя-преграда»;
- определение механических прочностных характеристик готовых отливок;
- обработка волокнистой массы химическим способом;
- определение степени полимеризации порошкового целлюлозного материала в зависимости от степени помола по шкале Шоппер–Риглеру.

Для контроля процесса размола волокнистой массы полученной из биоповрежденной древесины использовались следующие лабораторные методы:

- измерения степени помола по °ШР проводились в соответствии с ISO 5267-1 (1999);
- отливки изготавливались в соответствии с ISO 5269-1 (2005);
- механическая прочность на растяжение, разрыв продавливание измерялись в соответствии со стандартами ISO 5270 (2012), ISO1974 (2012) и ISO 1924-2 (2008).

Так как в настоящее время сульфатный метод является не только доминирующим щелочным методом варки при использовании древесины в качестве сырья, но и наиболее важным способом производства целлюлозы, в данной работе выделение целлюлозы из биоповрежденной древесины осуществлялось варочным раствором, основными компонентами которого являлись гидроксид и сульфид натрия (NaOH и Na_2S). Варка проводилась в лабораторном автоклаве при температуре 170–171 °С, в течение 5 часов. Выход целлюлозы после варки составил 43 %.

Гидро-механический способ обработки полученной целлюлозы включал в себя размол волокнистой суспензии концентрацией 2 % на экспериментальной

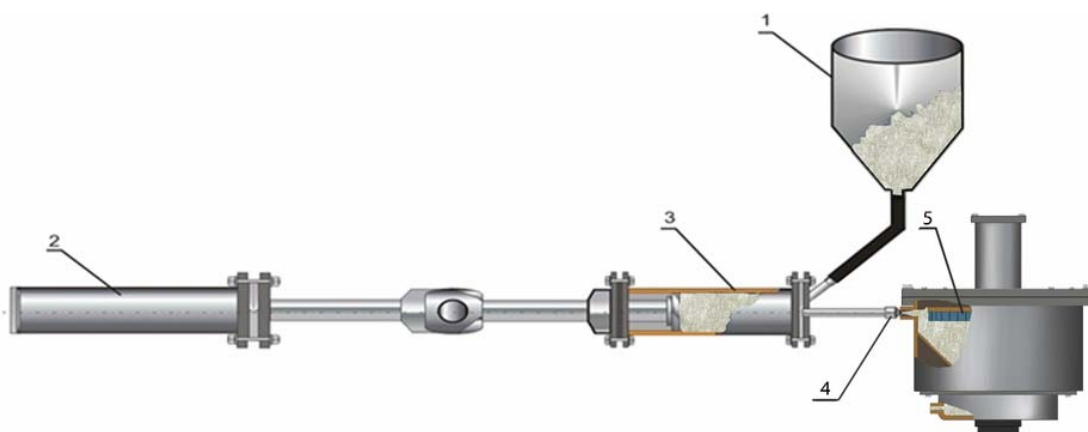
безножевой размольной установке типа «струя-преграда» (см. рисунок) с 15 °ШР до 78 °ШР при параметрах, выбранных, на основании ранее проведенных на кафедре МАПТ исследований: рабочее давление 13 МПа, расстояние от насадки до преграды 0,2 м, угол конусности насадки 45°.

Таблица 2

Техническая характеристика безножевой размольной установке типа «струя-преграда»

Габаритные размеры станочки (длина × ширина × высота), м	4,3×1,6×2,0
Гидроцилиндр приводной, тип – поршневой	
внутренний диаметр, м	0,1
ход штока, м	1,2
Гидроцилиндр рабочий, тип – поршневой	
внутренний диаметр, м	0,091
ход штока, м	1,2
Насосная станция гидронасос шестеренчатый НШ-2	
производительность, м ³ /с	$0,77 \times 10^{-3}$
рабочее давление, МПа	0 – 13
рабочая среда	масло дизельное ДП-11
электродвигатель	АО – 51 – 4 – 02 2 шт
частота вращения ротора, с ⁻¹	24,3
Узел комбинированного размол (диаметр × высота), м	0,45 × 0,65
Турбина типа – Пельтона	
диаметр, м	0,35
количество лопастей, шт	24

Гидромеханическая обработка волокон проводится с целью придания волокнистой суспензии необходимых физико-механических характеристик. При размоле растительных волокон в водной среде происходит как чисто механический процесс изменения размеров и формы волокон, обуславливающих структуру бумаги. Так и коллоидно-физические явления, происходящие в результате взаимодействия воды и целлюлозы, обеспечивающие связь волокон в бумаге. Явления механического характера выражаются в укорачивании волокон и их продольном расщеплении на фибриллы. Гидратация при размоле проявляется в набухание гидрофильных растительных волокон, что в конечном итоге увеличивает способность волокон связываться между собой с образованием прочной структуры листа.



Безножевая размольная установка типа «струя-преграда»:

1 – емкость; 2 – приводной цилиндр; 3 – рабочий цилиндр; 4 – насадка; 5 – подвижная преграда

Авторами [4–6] установлено, что при обработке волокнистой суспензии способами, исключаящими ножевое воздействие на волокна, получается более фибриллированная масса с хорошо разработанной внешней удельной поверхностью. То есть от волокон полностью или частично отделены фибриллы, что способствует увеличению наружной поверхности волокон, числа свободных гидроксильных групп на их поверхности. И как следствие, повышение механических прочностных характеристик готовых изделий.

Причем на увеличение наружной поверхности волокон наибольшее влияние оказывает скорость истечения струи из насадки на преграду. Авторами [7; 8] установлено, что она влияет на силу удара струи о преграду и величину касательных напряжений сдвига, возникающих при растекании струи по преграде, а также на волновой характер движения струи, который в свою очередь определяет эффект ультразвуковой кавитации в месте контакта струи с преградой.

В экспериментальных исследованиях скорость струи определялась по формуле

$$v = \frac{V}{F \cdot T}, \text{ м/с}, \quad (1)$$

где V – объем суспензии, м^3 ; F – площадь поперечного сечения насадки, м^2 ; T – время истечения суспензии из цилиндра, с.

По проведенным замерам времени истечения суспензии из рабочего цилиндра при давлении 13 МПа и концентрации 1 кг/м^3 для суспензии была определена скорость истечения струи (1). Так, например, при диаметре насадки 0,002 м, давлении в рабочем цилиндре 13 МПа, концентрации 1 кг/м^3 и 60 °ШР время истечения суспензии 13,8 секунды.

Площадь поперечного сечения насадки

$$F = \frac{\pi \cdot 0,002^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2.$$

Скорость истечения струи имеет значение

$$v = \frac{0,005}{3,14 \cdot 10^{-6} \cdot 13,8} = 115,4 \text{ м/с}.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

При анализе полученных данных механические прочностные свойства готовых отливок при степени помола 60 °ШР по шкале Шоппер–Риглера, после размолла на безножевой размольной установке типа «струя-преграда», в сравнении с приведенными показателями в ГОСТ 11208–82 для целлюлозы сульфатной небеленой древесной (хвойной) различных марок, имеют более высокие показатели [3]. Так, например, значения сопротивления продавливанию и разрывной длины после размолла на установке 517 кПа и 10138 м соответственно. Тогда как значения этих же показателей в ГОСТ 11208–82 для марки НС-1 470 кПа и 9100 м соответственно, для марки НС-2 (высший сорт) 470 кПа и 8700 м.

В настоящее время все чаще получают изделия с использованием модифицированной целлюлозы. Это

связано с тем, что данный вид целлюлозы позволяет получать продукты с улучшенными или заданными свойствами. Установлено, что включение в композицию волокнистой массы порошковых целлюлозных материалов приводит к повышению не только прочностных связей между волокнами, но и оказывает дополнительное армирующее действие на бумажные материалы и выступает дополнительным барьером для жиронепроницаемой бумаги. А межмолекулярное взаимодействие полимерных компонентов за счет сближения волокон при уплотнении материала, и направленное ориентирование макромолекул повысит печатные свойства бумаги, что позволит наносить более качественный рисунок [9–11].

Несмотря на то, что изучением порошковых целлюлозных материалов занимаются с 1962 года, тем не менее, исследования процессов их получения и сегодня вызывают определенный интерес. Связано это с тем, что не всегда известными наукой способами удается получить образцы порошковой целлюлозы с предельной степенью полимеризации и высокой степенью кристалличности. Многие существующие способы получения порошковых целлюлозных материалов обладают рядом таких недостатков, как неудовлетворительная химическая чистота, использование агрессивных растворов неорганических кислот и низкие экологические показатели готового продукта [12–14].

Поэтому после размолла волокнистую массу подвергали гидролизу, с целью усиления разрушения структуры целлюлозы и получения из нее микрокристаллической целлюлозы (МКЦ). МКЦ получали методом кислотного гетерогенного гидролиза по схеме, включающей приготовление гидролизующего раствора, гидролиз целлюлозы, промывку, сушку, диспергирование и сортирование полученного целлюлозного порошка [15].

Регулируемыми параметрами процесса гидролиза являются температура и концентрация кислоты. Так как концентрация кислоты зависит от температуры реакции, то чем выше температура нагрева, тем менее концентрированный раствор кислоты следует использовать. В связи с этим было изучено влияние на результаты процесса гидролиза целлюлозы трех факторов: температуры гидролиза (интервал варьирования 70–120 °С), его продолжительности (интервал варьирования 60–120 мин) и концентрации соляной кислоты (интервал варьирования 1,5–3 %). Гидро модуль оставался постоянным (15:1). Оптимальные условия гидролиза определяли с помощью математического планирования эксперимента по трехфакторному плану Бокса. Входные параметры плана: температура x_1 и продолжительность x_2 гидролиза, концентрация разрушающего агента x_3 . Постоянными во всех точках эксперимента были: гидро модуль (15:1), условия промывки, сушки, размолла и сортирования. В качестве выходных параметров выбраны: выход y_b , степень полимеризации $y_{c-п}$ и белизна y_b порошковой целлюлозы.

В результате оптимизации, гидролиз (химическая обработка) образцов целлюлозы после размолла проводился при прочих равных условиях: температура $t = 85 \text{ °С}$, в присутствии 2,0 % соляной кислоты HCl ,

на установке для гидролиза продолжительностью 75 минут.

Так как главными особенностями порошковых целлюлозных материалов, характеризующими их применение, являются физическая инертность, морфология, микропористость частиц и высокоразвитая активная поверхность, которые определяются степенью полимеризации. В данной работе была определена характеристическая вязкость и степень полимеризации порошковой целлюлозы. Для этой цели применяли комплексное соединение гексанатрий тристарат железа, или так называемый железовиннонатриевый комплекс (ЖВНК), представляющий собой комплекс железа с тартратом натрия в растворе гидроксида натрия [15].

Анализ данных показал, что с повышением степени помола волокнистой массы до 78 °ШР степень полимеризации порошковой целлюлозы снижается, с 260 до 95. Это объясняется тем, что при механической обработке волокнистой суспензии, происходит не только увеличение наружной поверхности волокон и количества свободных гидроксильных групп на их поверхности, но и разрушение межмолекулярных связей внутри клеточной стенки волокна с образованием микротрещин. Все это приводит к увеличению скорости протекания реакции волокнистой суспензии с кислотой и снижению степени полимеризации порошковой целлюлозы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенного исследования:

- было выявлено, что механические прочностные свойства целлюлозы, полученной из биоповрежденной древесины, соответствуют показателям, приведенным в ГОСТ 11208–82;
- показана возможность использования биоповрежденной древесины при производстве высокопрочных технических и специальных упаковочных видов бумаг, оберточных, водонепроницаемых видов бумаг, основы для парафинирования, основы для клеевой ленты и различных видов картона.
- использование волокнистой суспензии, предварительно обработанной на безножевой размалывающей установке типа «струя-преграда» позволяет сократить расходы на проведение в дальнейшем химической обработки в процессе получения порошковой целлюлозы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бolestи и вредители хвойных и методы борьбы с ними [Электронный ресурс]. URL: <https://floraprice.ru/articles/sad/xvojnye-i-vechnozelenye-rasteniya/bolezni-khvoynyykh.html> (дата обращения: 01.03.2022).
2. Баранчиков Ю. Н., Петько В. М. Уссурийский полиграф – новый агрессивный вредитель пихты в Сибири // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2020. № 4.
3. ГОСТ 11208–82. Целлюлоза древесная (хвойная) сульфатная небеленая: межгосударственный стандарт: дата введения 1983-01-01 [Электронный ресурс] / Разработан и внесен Министерством лесной, целлюлоз-

но-бумажной и деревообрабатывающей промышленности СССР // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: сайт. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017905> (дата обращения: 20.02.2022).

4. Кутова Л. В. Комплексный параметр процесса обработки волокнистых суспензий безножевым способом в установке типа «струя-преграда» : дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 1998. 150 с.

5. Марченко Р. А. Интенсификация безножевого размала волокнистых полуфабрикатов в целлюлозно-бумажном производстве : дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2016. 161 с.

6. Алашкевич Ю. Д. Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах : дис. ... д-ра техн. наук. Л., 1980. 334 с.

7. Kaplyov E. V., Yurtayeva L. V., Alashkevich Yu. D., Vasilyeva D. Yu. Marchenko R. A. Investigation of the possibility of obtaining powdered cellulose using a non-knife method of grinding fibrous semi-finished products. APITECH III 2021. Journal of Physics: Conference Series. 2094 (2021) 042069. Doi: 10.1088/1742-6596/2094/4/042069.

8. Канавеллис Р. Струйный удар и кавитационное разрушение // Теоретические основы инженерных расчетов. М., 1968. Т. 90, № 3. С. 39–98.

9. Сунайт В. Н. Получение порошковой целлюлозы из древесной массы : дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03. СПб., 2019. 134 с.

10. González, I., Alcalà, M., Chinga-Carrasco, G. et al. From paper to nanopaper: evolution of mechanical and physical properties. Cellulose 21, 2599–2609 (2014).

11. Habibi Y., Lucia L. A., Rojas O. J. Cellulose nanocrystals: chemistry, self-assembly, and applications // Chemistry Review. 2010. № 6. 3479 pp. // Ioelovich M. Cellulose nanostructured natural polymer. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2014. 77 pp.

12. Пат. 2478664 С2 Российская Федерация. Способ получения порошковой целлюлозы / Фролова Светлана Валерьевна; заявл. 16.05.2011; опубл. 10.04.2013. 8 с.

13. Пат. 2528261 О Российская Федерация. Способ получения микрокристаллической целлюлозы / Торлопов Михаил Анатольевич; заявл. 22.03.2013; опубл. 10.09.2014. 7 с.

14. Пат. 2684082 О Российская Федерация. Способ получения микрокристаллической целлюлозы / Никольский Сергей Николаевич; заявл. 11.04.2018; опубл. 03.04.2019. 10 с.

15. Практические работы по химии древесины и целлюлозы / А. В. Оболенская, В. П. Щеголев, Г. Л. Аким и др. М. : Лесн. пром-ть, 1985. 412 с.

REFERENCES

1. Bolezni i vrediteli khvoynyykh i metody bor'by s nimi [Elektronnyy resurs]. URL: <https://floraprice.ru/articles/sad/xvojnye-i-vechnozelenye-rasteniya/bolezni-khvoynyykh.html> (data obrashcheniya: 01.03.2022).
2. Baranchikov Yu. N., Pet'ko V. M. Ussuriyskiy poligraf – novyy agressivnyy vreditel' pikhty v Sibiri // Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik. 2020. № 4.

3. GOST 11208–82. Tsellyuloza drevesnaya (khvoy-naya) sul'fatnaya nebelenaya: mezhgosudarstvennyy standart: data vvedeniya 1983-01-01 [Elektronnyy resurs] / Razrabotan i vnesen Ministerstvom lesnoy, tsellyulozno-bumazhnoy i derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti SSSR // Elektronnyy fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov: sayt. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017905> (data obrashcheniya: 20.02.2022).
4. Kutovaya L. V. Kompleksnyy parametr protsessa obrabotki voloknistykh suspenziy beznozhevym sposobom v ustanovke tipa "struya–pregrada" : dis. ... kand. tekhn. nauk. Krasnoyarsk, 1998. 150 s.
5. Marchenko R. A. Intensifikatsiya beznozhevogo razmola voloknistykh polufabrikatov v tsellyulozno-bumazhnom proizvodstve : dis. ... kand. tekhn. nauk. Krasnoyarsk, 2016. 161 s.
6. Alashkevich Yu. D. Osnovy teorii gidrodinamicheskoy obrabotki voloknistykh materialov v razmol'nykh mashinakh : dis. ... d-ra tekhn. nauk. L., 1980. 334 s.
7. Kaplyov E. V., Yurtayeva L. V., Alashkevich Yu. D., Vasilyeva D. Yu. Marchenko R. A. Investigation of the possibility of obtaining powdered cellulose using a non-knife method of grinding fibrous semi-finished products. APITECH III 2021. Journal of Physics: Conference Series. 2094 (2021) 042069. Doi: 10.1088/1742-6596/2094/4/042069.
8. Kanavellis R. Struynny udar i kavitatsionnoye razrusheniye // Teoreticheskiye osnovy inzhenernykh raschetov. M., 1968. T. 90, № 3. S. 39–98.
9. Sunayt V. N. Polucheniye poroshkovoy tsellyulozy iz drevesnoy massy : dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.03. SPb., 2019. 134 s.
10. González, I., Alcalá, M., Chinga-Carrasco, G. et al. From paper to nanopaper: evolution of mechanical and physical properties. Cellulose 21, 2599–2609 (2014).
11. Habibi Y., Lucia L. A., Rojas O. J. Cellulose nanocrystals: chemistry, self-assembly, and applications // Chemistry Review. 2010. № 6. 3479 pp. // Ioelovich M. Cellulose nanostructured natural polymer. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2014. 77 pp.
12. Pat. 2478664 S2 Rossiyskaya Federatsiya. Sposob polucheniya poroshkovoy tsellyulozy / Frolova Svetlana Valer'yevna; zayavl. 16.05.2011; opubl. 10.04.2013. 8 s.
13. Pat. 2528261 O Rossiyskaya Federatsiya. Sposob polucheniya mikrokristallicheskoй tsellyulozy / Torlopov Mikhail Anatol'yevich; zayavl. 22.03.2013; opubl. 10.09.2014. 7 s.
14. Pat. 2684082 O Rossiyskaya Federatsiya. Sposob polucheniya mikrokristallicheskoй tsellyulozy / Nikol'skiy Sergey Nikolayevich; zayavl. 11.04.2018; opubl. 03.04.2019. 10 s.
15. Prakticheskiye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy / A. V. Obolenskaya, V. P. Shchegolev, G. L. Akim i dr. M. : Lesn. prom-t', 1985. 412 s.

© Юртаева Л. В., Алашкевич Ю. Д., 2022

Поступила в редакцию 28.12.2021
Принята к печати 01.04.2022

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

УДК 630.892

Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XL, № 2. С. 164–167

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДИСТИЛЛЯЦИИ ЭФИРНОГО МАСЛА ИЗ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА*

И. В. Мацкевич, В. Н. Невзоров, Ж. А. Кох

Красноярский государственный аграрный университет
Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, просп. Мира, 90
E-mail: imatskevichv@mail.ru

*Изучали образцы древесной зелени растений рода *Juniperus* на возможность использования их в качестве источника эфирных масел. Объект исследования – древесная зелень растений рода *Juniperus* (*Juniperus communis*, *Juniperus sibirica*, *Juniperus sabina*) заготовленная в Братском районе Иркутской области в сентябре 2021 года. Исследованы процессы дистилляции эфирного масла из древесной зелени можжевельника рода *Juniperus*. Исследованные процессы дистилляции эфирных масел позволили отдавать предпочтение методу гидродистилляции, при котором эфирное масло имеет качественные показатели, приближенные к значениям показателей нормативных документов. Выбран наиболее эффективный способ получения эфирного масла методом гидродистилляции в лабораторных условиях из древесной зелени растений рода *Juniperus*, определена массовая доля полученного эфирного масла и исследованы его физико-химические показатели, которые показали, что самая высокая массовая доля эфирного масла была обнаружена в древесной зелени *Juniperus sibirica*.*

Ключевые слова: исследование, эфирные масла, дистилляция, можжевельник обыкновенный, можжевельник сибирский, можжевельник казацкий, показатель преломления, массовая доля, относительная плотность.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 2, P. 164–167

STUDY OF ESSENTIAL OIL DISTILLATION PROCESSES FROM JUNIPER WOOD HERBS

I. V. Matskevich, V. N. Nevzorov, Zh. A. Koch

Krasnoyarsk State Agrarian University
90, Mira Av., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation
E-mail: imatskevichv@mail.ru

*Samples of *Juniperus* herbs for their possible use as a source of essential oils were studied. The object of research is wood greens of plants of genus *Juniperus* (*Juniperus communis*, *Juniperus sibirica*, *Juniperus sabina*) harvested in Bratsk area of Irkutsk region in September 2021. The processes of distillation of essential oil from tree greens of *Juniperus* genus were studied. The studied processes of essential oils distillation allowed to give preference to the method of hydrodistillation, in which the essential oil has quality parameters close to those of normative documents. The most effective method of obtaining essential oil by hydrodistillation in laboratory conditions from woody herbs of *Juniperus* genus plants was chosen, the mass fraction of the obtained essential oil was determined and its physical and chemical parameters were studied, which showed that the highest mass fraction of essential oil was found in woody herbs *Juniperus sibirica*.*

Keywords: study, essential oils, distillation, *Juniperus communis*, *Juniperus sibirica*, *Juniperus sabina*, refractive index, mass fraction, relative density.

* Работа выполнена при поддержке Краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках выполнения научных исследований и разработок по проекту «Разработка и изготовление малогабаритной модульной установки для производства можжевелевого эфирного масла в районах Арктики и Крайнего Севера», проект № 2021110907919.

ВВЕДЕНИЕ

Эфирные масла определяются как летучие вторичные метаболиты растений, которые придают растению характерный запах и вкус. В России в больших объемах добывают эфирные масла из древесной зелени хвойных пород, а другие виды эфирных масел в основном поступают из стран импортеров: Индия – 41,5 %, Германия – 10,7 %, США – 7,2 %, Китай – 6,0 %, Великобритания – 5,1 %. Потребность России в эфирных маслах составляет более 200 т в год [1]. Эфирные масла широко используются в медицинской, фармацевтической, косметической ветеринарной и пищевой промышленности. Многие виды масел используются в качестве ароматизаторов и пищевых добавок. Активно изучаются другие направления применения: в качестве репеллентов и инсектицидов, антимикробных препаратов. Высокая стоимость зарубежного импортного сырья потребовало решение вопросов развития производства эфирного масла на ресурсах внутри страны [2].

Выполненные исследования [3–6] показали, что для производства эфирных масел в России имеется большой перечень эфиромасленичного сырья которое можно использовать для промышленного производства эфирных масел. Известно, что растения, произрастающие в экстремальных условиях, могут обладать особыми физико-химическими и биологическими свойствами. Флора северных территорий Красноярского края, как по разнообразию, так и по численности видов имеет свои характерные особенности и представляет интерес для получения ценных эфиромасленичных продуктов. Выполненный анализ биоразнообразия растительных ресурсов позволил выделить специфический биообъект – растения рода *Juniperus*.

Можжевельники видов *Juniperus communis*, *Juniperus sibirica*, *Juniperus sabina* имеют широкий ареал распространения по всей территории Красноярского края, при этом было установлено, что можжевельники данных видов недостаточно изучены на предмет содержания и накопления эфирного масла в отдельных частях растительного сырья в соответствии с требованиями нормативных документов [8].

Цель работы. Исследовать процессы дистилляции эфирных масел из образцов древесной зелени растений рода *Juniperus* (*Juniperus communis*, *Juniperus sibirica*, *Juniperus sabina*) для определения наиболее эффективного метода получения эфирного масла соответствующего требованиям по массовой доли эфирного масла и физико-химическим показателям.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – древесная зелень растений рода *Juniperus* (*Juniperus communis*, *Juniperus sibirica*, *Juniperus sabina*) заготовленная в Братском районе Иркутской области в сентябре 2021 года. Экспериментальные исследования проводились в лаборатории кафедры Технология, оборудование бродильных и пищевых производств, Красноярского ГАУ. После сбора древесную зелень измельчали до частиц разме-

ром 2–5 мм. Влажность исследуемых образцов сырья составляла 65–70 %. Извлечение эфирного масла проводили методами пародистилляции и гидродистилляции, навески сырья весом 200 г с использованием дистиллированной воды в соотношении сырье : вода (1:6) в колбе объемом 1 л с обратным холодильником. В полученных образцах эфирного масла определяли массовую долю масла, относительную плотность и показатель преломления. Таким образом, анализировали не только количественные показатели, но и показатели качества. Для расчета массовой доли эфирного масла в процентах применяли метод, рекомендованный ГОСТ ISO 8897–2017. Масло эфирное можжевельное (*Juniperus communis* L.) [8]. Для определения показателя преломления согласно ГОСТ ISO 280–2014 «Масла эфирные. Метод определения показателя преломления использовали рефрактометр [9]. Для определения относительной плотности эфирного масла использовали ГОСТ ISO 279–2014 Масла эфирные. Метод определения относительной плотности при температуре 20 °C. Контрольный метод [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании полученных экспериментальных данных по изучению процесса пародистилляции и гидродистилляции эфирных масел из древесной зелени можжевельника видов *Juniperus communis*, *Juniperus sibirica*, *Juniperus sabina* было определено, что метод выделения эфирных масел влияет на объем выделенного эфирного масла.

В табл. 1 приведены сравнительные данные по выходу эфирного масла из исследуемых образцов *Juniperus communis*, *Juniperus sibirica*, *Juniperus sabina* по объему при пародистилляции и гидродистилляции.

Анализ табл. 1 показывает, что объем полученного эфирного масла в экспериментальных образцах напрямую зависит от метода дистилляции, при этом установлено, что наибольший выход эфирного масла получен из древесной зелени *Juniperus sibirica*.

Полученные образцы можжевельного эфирного масла (табл. 2) были исследованы на основные качественные показатели в соответствии с требованиями ГОСТ ISO 280–2014 Масла эфирные. Метод определения показателя преломления использовали рефрактометр. Для определения относительной плотности эфирного масла использовали ГОСТ ISO 279–2014 Масла эфирные. Метод определения относительной плотности при температуре 20 °C.

Анализ табл. 2 показывает, что наиболее эффективным является способ гидродистилляции, относительная плотность исследуемых образцов составила для *Juniperus communis* 0,895 г/см³, *Juniperus sibirica* 0,871 г/см³, *Juniperus sabina* 0,872 г/см³ что соответствует требованиям, предъявляемым к эфирным маслам. Эффективность исследуемых способов дистилляции эфирного масла из древесной зелени можжевельника определялась согласно ГОСТ ISO 8897–2017, результаты определения массовой доли эфирного масла приведены в табл. 3.

Таблица 1
Объем полученных эфирных масел

Наименование древесной зелени можжевельника	№ образца	Методы выделения эфирных масел	
		Пародистилляция	Гидродистилляция
		Объем полученных эфирных масел, см ³	
<i>Juniperus communis</i>	1	2,10	2,20
	2	2,00	2,30
	3	2,30	2,30
Среднее значение		2,13	2,26
<i>Juniperus sibirica</i>	1	2,40	2,60
	2	2,50	2,80
	3	2,50	2,80
Среднее значение		2,46	2,70
<i>Juniperus sabina</i>	1	1,80	2,00
	2	2,00	2,20
	3	1,90	2,20
Среднее значение		1,90	2,13

Таблица 2
Показатели качества эфирных масел

Наименование эфирного масла	№ образца	Способ извлечения эфирного масла			
		Пародистилляция		Гидродистилляция	
		Относительная плотность, г/см ³	Показатель преломления	Относительная плотность, г/см ³	Показатель преломления
<i>Juniperus communis</i>	1	0,890	1,4898	0,895	1,4906
	2	0,891	1,4897	0,894	1,4908
	3	0,891	1,4898	0,896	1,4906
Среднее значение		0,891	1,4898	0,895	1,4907
<i>Juniperus sibirica</i>	1	0,859	1,4691	0,871	1,4729
	2	0,862	1,4690	0,873	1,4724
	3	0,865	1,4692	0,869	1,4722
Среднее значение		0,862	1,4691	0,871	1,4725
<i>Juniperus sabina</i>	1	0,863	1,4701	0,871	1,4722
	2	0,864	1,4702	0,873	1,4721
	3	0,864	1,4702	0,873	1,4722
Среднее значение		0,864	1,4702	0,872	1,4722

Таблица 3
Массовая доля эфирного масла

Название эфирного масла	Массовая доля эфирного масла из среднего значения образца, %	
	Пародистилляция	Гидродистилляция
<i>Juniperus communis</i>	0,95	1,01
<i>Juniperus sibirica</i>	1,06	1,19
<i>Juniperus sabina</i>	0,82	0,92

Анализ табл. 3 показывает, что массовая доля эфирного масла из среднего значения образцов имеет наибольший выход из древесной зелени *Juniperus sibirica* при использовании метода гидродистилляции и составляет 1,19 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены исследования процессов дистилляции эфирного масла из древесной зелени можжевельника видов *Juniperus communis*, *Juniperus sibirica*, *Juniperus sabina*, заготовленных в Братском районе Иркутской области в сентябре 2021 года и при проведении экспериментальных исследований образцы древесной зелени были измельчены до частиц размером 2–5 мм. Извлечение эфирного масла проводили методами пародистилляции и гидродистилляции, полученные образцы эфирных масел были изучены по объему выхо-

да в соответствии с методом выделения эфирных масел, определены показатели качества и массовая доля эфирных масел. Выполненные исследования показали, что объем полученного эфирного масла в экспериментальных образцах напрямую зависит от метода дистилляции, при этом установлено, что наибольший выход эфирного масла получен из древесной зелени *Juniperus sibirica*, массовая доля эфирного масла из среднего значения образцов составила 1,19 %. При использовании метода гидродистилляции значение всех исследуемых показателей выше, чем при пародистилляции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Ткаченко К. Г. Флора России – потенциальный источник перспективных эфиромасличных растений //

Научный и инновационный потенциал развития производства, переработки и применения эфиромасличных и лекарственных растений : материалы Междунар. науч.-практ. конф. 2019. С. 7–144.

2. Сокращение сброса пихтового масла при его производстве / Т. В. Невзорова, В. Н. Невзоров, С. В. Хижняк, Р. А. Степень // Вестник КрасГАУ. 2011. № 10 (61). С. 201–204.

3. Невзоров, В. Н., Кох Ж. А., Мацкевич И. В. Совершенствование процесса отгонки эфирного масла из семян черной смородины // Наука, образование и бизнес: новый взгляд или стратегия интеграционного взаимодействия. Нальчик : Кабардино-Балкар. гос. аграр. ун-т им. В. М. Кокова, 2021. С. 148–152.

4. Невзоров В. Н., Струков А. А., Мацкевич И. В., Кох Ж. А. Эфирные масла хвойных сибирских растений Красноярского края как объект регионального экспорта // Приоритетные направления развития регионального экспорта продукции АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Красноярск, 13–20 ноября 2019 г.) ; Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2019. С. 102–106.

5. Ткаченко К. Г., Варфоломеева Е. А. Эфирные масла – репелленты и/или инсектициды. Перспективы использования для защиты растений // Инновационное развитие экономики : материалы Второго Крымского инвестиционного форума. ФГБУН «НИИСХ Крыма», Науч.-техн. Союз Крыма. 2020. С. 109–114.

6. Ткаченко К. Г., Зенкевич И. Г., Коробова М. М. Особенности переработки растительного сырья для увеличения выхода эфирных масел // Растительные ресурсы. 1998. Т. 34, Вып. 3. С. 129–137.

7. Ткаченко К. Г. Эфирномасличные растения и эфирные масла: достижения и перспективы, современные тенденции изучения и применения // Вестник Удмуртского университета. Биология: науки о земле. 2011. Вып. 1. С. 88–100.

8. ГОСТ ISO 8897–2017. Масло эфирное можжевельное (*Juniperus communis* L.). Технические условия. М. : Стандартинформ, 2019. 8 с.

9. ГОСТ ISO 280–2014. Масла эфирные. Метод определения показателя преломления. М. : Стандартинформ, 2016. 8 с.

10. ГОСТ ISO 279–2014. Масла эфирные. Метод определения относительной плотности при температуре 20 °С. М. : Стандартинформ, 2015. 8 с.

REFERENCES

1. Tkachenko K. G. Flora Rossii – potentsial'nyy istochnik perspektivnykh efiromaslichnykh rasteniy //

Nauchnyy i innovatsionnyy potentsial razvitiya proizvodstva, pererabotki i primeneniya efiromaslichnykh i lekarstvennykh rasteniy : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2019. S. 7–144.

2. Sokrashcheniye sbrosa pikhtovogo masla pri yego proizvodstve / T. V. Nevzorova, V. N. Nevzorov, S. V. Khizhnyak, R. A. Stepen' // Vestnik KraSGAU. 2011. № 10 (61). S. 201–204.

3. Nevzorov, V. N., Kokh Zh. A., Matskevich I. V. Sovershenstvovaniye protsessa otgonki efirnogo masla iz semyan chernoy smorodiny // Nauka, obrazovaniye i biznes: novyy vzglyad ili strategiya integratsionnogo vzaimodeystviya. Nal'chik : Kabardino-Balkar. gos. agrar. un-t im. V. M. Kokova, 2021. S. 148–152.

4. Nevzorov V. N., Strukov A. A., Matskevich I. V., Kokh Zh. A. Efirn-yye masla khvoynykh sibirskikh rasteniy Krasnoyarskogo kraya kak ob'yekt regional'nogo eksporta // Prioritetn-yye napravleniya razvitiya regional'nogo eksporta produktsii APK : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Krasnoyarsk, 13–20 noyabrya 2019 g.) ; Krasnoyar. gos. agrar. un-t. Krasnoyarsk, 2019. S. 102–106.

5. Tkachenko K. G., Varfolomeyeva Ye. A. Efirn-yye masla – repellenty i/ili insektitsidy. Perspektivy ispol'zovaniya dlya zashchity rasteniy // Innovatsionnoye razvitiye ekonomiki : materialy Vtorogo Krymskogo investitsionnogo foruma. FGBUN “NIISKH Kryma”, Nauch.-tekhn. Soyuz Kryma. 2020. S. 109–114.

6. Tkachenko K. G., Zenkevich I. G., Korobova M. M. Osobennosti pererabotki rastitel'nogo syr'ya dlya uvelicheniya vykhoda efirnykh masel // Rastitel'n-yye resursy. 1998. T. 34, Vyp. 3. S. 129–137.

7. Tkachenko K. G. Efirnomaslichn-yye rasteniya i efirn-yye masla: dostizheniya i perspektivy, sovremennyye tendentsii izucheniya i primeneniya // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologiya: nauki o zemle. 2011. Vyp. 1. S. 88–100.

8. GOST ISO 8897–2017. Maslo efirnoye mozhzhevelovoye (*Juniperus communis* L.). Tekhnicheskiye usloviya. M. : Standartinform, 2019. 8 s.

9. GOST ISO 280–2014. Masla efirn-yye. Metod opredeleniya pokazatelya prelomleniya. M. : Standartinform, 2016. 8 s.

10. GOST ISO 279–2014. Masla efirn-yye. Metod opredeleniya otnositel'noy plotnosti pri temperature 20 °C. M. : Standartinform, 2015. 8 s.

© Мацкевич И. В., Невзоров В. Н., Кох Ж. А., 2022

Поступила в редакцию 10.01.2022
Принята к печати 01.04.2022

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ДЕЛИГНИФИКАЦИЯ ПШЕНИЧНОЙ СОЛОМЫ: ПЕРОКСИДНАЯ ВАРКА И ЩЕЛОЧНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ*

Р. З. Пен, И. Л. Шапиро, Ю. А. Амбросович, В. Р. Пен

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

Стебли пшеничной соломы (Triticum sp.), заготовленной в Емельяновском районе Красноярского края, делигнифицировали окислительным способом в две ступени. Вначале отрезки стеблей длиной 2...3 см обрабатывали водным раствором пероксида водорода и уксусной кислоты (первая ступень). Уксусная кислота окисляется до перуксусной кислоты, которая, в свою очередь, окисляет лигнин. Условия окислительной ступени: начальная концентрация уксусной кислоты 36 %, пероксида водорода – 12 %, серной кислоты (катализатор образования перуксусной кислоты) – 0,45 %; гидромодуль 3; температура 85 °С; продолжительность 2 часа. Затем полученный с выходом 85,8 % в виде неразделившегося на волокна полупроваренный продукт обрабатывали водным раствором гидроксида натрия (вторая ступень) для растворения окисленного лигнина. Условия второй ступени: гидромодуль 3; температура 85 °С; концентрацию щелочи изменяли в интервале от 2 до 4 %, продолжительность – от 0,5 до 1,5 часа. Зависимости выхода технической целлюлозы и «непровара» от переменных факторов аппроксимировали уравнениями регрессии второго порядка, которые использовали для графического представления результатов в виде поверхностей отклика и вычисления оптимальных условий процесса методом нелинейного математического программирования. Максимальный выход технической целлюлозы 40,2 % при отсутствии «непровара» получен при концентрации щелочи 3,6 % и продолжительности 1,5 часа. Соломенная целлюлоза может быть использована вместо лиственной целлюлозы в композиции с целлюлозой из древесины хвойных пород при производстве массовых видов бумаги и картона.

Ключевые слова: солома пшеницы, хвойная древесина, лиственная древесина, соломенная целлюлоза, делигнификация соломы, окислительная делигнификация, перуксусная кислота.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 2, P. 168–172

OXIDATIVE DELIGNIFICATION OF WHEAT STRAW: PEROXIDE COOKING AND ALKALINE EXTRACTION

R. Z. Pen, I. L. Shapiro, Y. A. Ambrosovich, V. R. Pen

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

The stalks of wheat straw Triticum sp., harvested in the Yemelyanovsky District of the Krasnoyarsk Krai, were delignified by an oxidizing method in two stages. Initially, segments of stalks 2...3 cm long were treated with an aqueous solution of hydrogen peroxide and acetic acid (the first stage). Acetic acid is oxidized to peracetic acid, which in turn oxidizes lignin. Conditions of the oxidizing stage: initial concentration of acetic acid is 36 %, hydrogen peroxide – 12 %, sulfuric acid (catalyst for the formation of peracetic acid) – 0.45 %; hydromodule 3; temperature 85 °C; duration is 2 hours. Then, the semi-cooked product obtained with a yield of 85.8 % in the form of undivided fibers was treated with an aqueous solution of sodium hydroxide (second stage) to dissolve oxidized lignin. Conditions of the second stage: hydromodule 3; temperature 85 °C; alkali concentration was changed in the range from 2 to 4 %, duration – from 0.5 to 1.5 hours. The dependences of the yield of technical pulp and “non-steam” on variable factors were approximated by second-order regression equations, which were used to graphically represent the results in the form of response surfaces and calculate optimal process conditions by nonlinear mathematical programming. The maximum yield of technical cellulose of 40.2 % in the absence of “non-steam” was obtained at an alkali concentration of 3.6 % and a duration of 1.5 hours.

Keywords: wheat straw, straw cellulose, softwood pulp, hardwood pulp, straw delignification, oxidative delignification, peracetic acid.

* Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Глубокой переработки растительного сырья» проекта «Технология и оборудование химической переработки биомассы растительного сырья» (номер темы FEFE-2020-0016).

ВВЕДЕНИЕ

Лесосырьевая база большинства существующих и проектируемых целлюлозно-бумажных предприятий в Российской Федерации относится к бореальной зоне с преобладающей долей хвойных пород (в Красноярском крае и Иркутская области – до 85 ... 88 %). Между тем, при производстве многих массовых видов бумаги используют смеси целлюлозы из древесины хвойных и лиственных пород, при этом доля последних может составлять 30 % и более [1]. Лиственные волокнистые полуфабрикаты в композиции бумаги обеспечивают более однородную структуру листа, в котором короткие волокна лиственной целлюлозы заполняют пространство в сетке из длинных трахеид хвойной целлюлозы. Это улучшает печатные и некоторые другие свойства бумаги. Установлена возможность использования соломенной целлюлозы вместо лиственной целлюлозы в композиции с сульфатной хвойной целлюлозой для производства бумаги без ухудшения свойств продукции.

На протяжении последних десятилетий прослеживается тенденция увеличения доли соломы злаковых растений в сырьевом балансе целлюлозно-бумажных предприятий многих стран с развитой лесохимической промышленностью. Этому способствует ряд обстоятельств: с одной стороны, дефицит древесного сырья и необходимость сохранения лесов, как части глобальной экологической системы планеты; с другой – значительные размеры выращивания зерновых культур во многих регионах мира и необходимость квалифицированного использования соломы – побочного продукта сельскохозяйственного производства. Первое место по объёму переработки в целлюлозном производстве и числу опубликованных исследований принадлежит соломе пшеницы [1–12].

Ранее была установлена возможность получения качественной технической целлюлозы путем делигнификации стеблей пшеничной соломы пероксидом водорода и перуксусной кислотой [6; 11; 12]. Разработанная технология привлекает доступностью растительного сырья – отходов сельскохозяйственного зернового производства, а также наименьшим (из существующих промышленных способов производства целлюлозы) воздействием на окружающую среду.

В числе нерешенных пока задач – необходимость максимального снижения расходов используемых реагентов (пероксида водорода и уксусной кислоты). Это может быть сделано, в частности, путем уменьшения жидкостного модуля при делигнификации («варке»). Промышленностью освоена техника щелочных и сульфитных варок древесного сырья при жидкостных модулях 3,2...3,8 в реакторах (варочных котлах) непрерывного действия.

Имеет смысл обсудить еще одну возможность совершенствования процесса. Эксперименты с использованием древесного сырья показали [13], что окисленный лигнин плохо растворяется в уксуснокислой среде, для его более полного извлечения целесообразно использовать щелочную экстракцию при повышенной температуре. Это дало основание полагать, что двухступенчатый процесс, при котором в первой ступени проводится неглубокая окислительная обра-

ботка без растворения основной массы лигнина, а во второй ступени – щелочная экстракция частично окисленного лигнина, может оказаться более эффективным. Выполненные исследования подтвердили справедливость предположения [14–15]. Условия и результаты окислительной делигнификации пшеничной соломы при низком жидкостном модуле (первая ступень варки) опубликованы ранее [16]. Далее приведены результаты исследований, целью которых было уточнение параметров щелочной экстракции (вторая ступень варки).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сырьём для исследования служили стебли пшеничной соломы (*Triticum sh.*), заготовленной в Емельяновском районе Красноярского края. Стебли, разрезанные на отрезки длиной до 5 см, подвергали окислительной обработке водным раствором уксусной кислоты, пероксида водорода и серной кислоты (катализатор). Условия окислительной ступени: начальная концентрация уксусной кислоты 36 % (6 г-моль/л), пероксида водорода 12 %, серной кислоты 0,45 %; жидкостный модуль 3, температура изотермической обработки 85 °С, продолжительность 120 мин. Выход продукта 85,8 % от исходной соломы. Концентрация остаточных реагентов в щелоке: пероксида водорода 9,18 %, перуксусной кислоты 1,33 %. Выполненные ранее аналогичные эксперименты с использованием хвойной древесины в качестве сырья показали [14], что хорошие результаты делигнификации могут быть достигнуты в тех случаях, когда первая (окислительная) ступень завершается при достижении выхода твердого остатка 80...85 % с массовой долей лигнина в нем 18...20 %.

Из промытого и высушенного на воздухе продукта отбирали пробы массой 2 г в пересчете на массу абсолютно сухого (а. с.) вещества и обрабатывали водным раствором гидроксида натрия. Постоянные условия обработки: гидромодуль 3, температура 85 °С.

Концентрацию щелочи и продолжительность обработки варьировали согласно плану эксперимента (трехуровневый план второго порядка на кубе [17], табл. 1, столбцы 2 и 3):

X_1 – концентрация NaOH в щелочной ступени (интервал варьирования 2...4 %);

X_2 – продолжительность щелочной ступени (0,5...1,5 час).

По окончании щелочной обработки твердый остаток промывали струей воды в лабораторной сееже на сите с отверстиями диаметром 3 мм. Остаток на сите считали «непроваром». Прошедшую через сито волокнистую массу (техническую целлюлозу) и непровар высушивали и взвешивали. Результаты эксперимента характеризовали двумя выходными параметрами (табл. 1, столбцы 4 и 5, средние значения из двух опытов):

Y_1 – общий выход твердого остатка (волокнистая целлюлоза и непровар), проценты от исходного сырья (соломы);

Y_2 – выход непровара, проценты от исходного сырья (соломы).

Таблица 1
Условия и результаты эксперимента

Номера режимов	Условия опытов		Результаты опытов	
	X_1 , %	X_2 , час.	Y_1 , %	Y_2 , %
1	2,0	0,5	49,2	8,6
2	3,0	0,5	41,9	1,7
3	4,0	0,5	38,3	0,0
4	2,0	1,0	42,1	3,0
5	3,0	1,0	36,4	1,1
6	4,0	1,0	40,5	0,0
7	2,0	1,5	40,6	3,1
8	3,0	1,5	40,6	0,0
9	4,0	1,5	37,6	0,0

Зависимости выходных параметров от переменных факторов аппроксимировали уравнениями регрессии второго порядка:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{22}X_2^2.$$

Коэффициенты регрессии и статистические характеристики результатов приведены в табл. 2. Уравнения использованы для наглядного графического представления и вычисления оптимальных условий процесса.

Таблица 2
Коэффициенты регрессии и статистические характеристики

Параметры уравнений	Величины параметров	
	Y_1	Y_2
b_0	67,9	35,3
b_1	-7,4	-14,2
b_2	-16,9	-17,6
b_{11}	0,2	1,5
b_{12}	2,0	2,8
b_{22}	4,3	3,4
Коэффициент детерминации, R^2 , %	96,3	93,4
Стандартная ошибка, $s\{Y\}$	1,25	1,17

На рис. 1 изображена поверхность отклика зависимости общего выхода твердого остатка от переменных условий щелочной экстракции. Как и следовало ожидать, увеличение обоих факторов X_1 и X_2 в пределах изученного факторного пространства сопровождается значительным снижением выхода Y_1 из-за растворения окисленных в первой ступени компонентов соломы. Это соответствует имеющейся априорной информации о процессе [13].

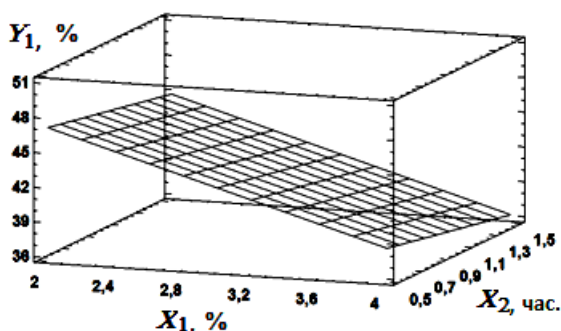


Рис. 1. Зависимость выхода твердого остатка от условий щелочной обработки

Рис. 2 иллюстрирует зависимость выхода непровара Y_2 от условий щелочной экстракции. Увеличение обоих факторов, концентрации щелочи и продолжительности обработки, сопровождается уменьшением выхода непровара вплоть до его полного исчезновения (правая нижняя часть рисунка), что также соответствует априорной информации.

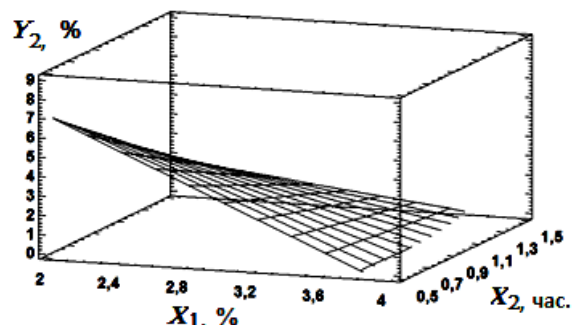


Рис. 2. Зависимость выхода непровара от условий щелочной обработки

Полученные уравнения регрессии позволяют формулировать и решать задачи оптимизации изучаемого процесса. Следующая задача приведена в качестве примера: в пределах изученного факторного пространства найти условия, обеспечивающие максимальный выход целлюлозы при отсутствии непровара. Математическая формулировка задачи:

$$Y_1 = f_1(X_1, X_2) \rightarrow \max; Y_2 = f_2(X_1, X_2) = 0;$$

$$2 < X_1 < 4; 0,5 < X_2 < 1,5.$$

Решение этой задачи, относящейся к типу нелинейного программирования, найдено с использованием пакета MatCAD [17; 18]: $X_1 = 3,2$ %; $X_2 = 1,5$ часа; $Y_1 = 40,6$ %; $Y_2 = 0$. Оно близко к условиям и результатам опыта № 8 (см. табл. 1). Выход целлюлозы, соответствующий этому решению, называется «точка сепарирования».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Двухступенчатый окислительно-экстракционный способ делигнификации относится к числу «зеленых» технологий. Благодаря «мягким» параметрам процесса (температура ниже 100 °С, атмосферное давление, относительно небольшая продолжительность) инженерное оформление его практической реализации будет проще в сравнении с традиционными технологиями. Одна из возможностей – организация переработки соломы в виде отдельного потока в составе крупного сульфат-целлюлозного предприятия. Это позволит регенерировать гидроксид натрия и утилизировать перешедшие в раствор органические вещества совместно с черным щелоком основного производства по принятой на предприятии технологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Linda J. Tsang, Jan D. Reid, Ewen C. Coxworth. Delignification of Wheat Straw by *Pleurotus* spp. under Mushroom-Growing Conditions // Applied and Environ-

mental. Microbiology. 1987. Vol. 53. No. 6. P. 1304–1306.

2. Junenez I., Maestre F., Torre M. J., Perez I. Organosolv pulping of wheat straw by use of methanol-water mixtures // Tappi J. 1997. Vol. 80, No. 12. P. 148–154.

3. Epelde Gonzalo I., Lindgren C. T., Lindstrom M. E. Kinetics of wheat straw delignification in soda and kraft pulping // J. Wood Chem. and Technol. 1998. Vol. 18, No. 1. P. 69–82.

4. Sudhagar M., Tabil L. G., Sokhansanj S. Grinding performance and physical properties of wheat barley straws, corn stover and switchgrass // Biomass and Bioenergy. 2004. No. 27. P. 339–352.

5. Sun X. F., Sun R. C., Su Y., Sun J. X. Comparative study of crude and purified cellulose from wheat straw // J. Agricult. Food Chemist. 2004. Vol. 52. P. 839–847.

6. Делигнификация соломы пшеницы смесью уксусной кислоты и пероксида водорода в присутствии сернокислотного катализатора / Б. Н. Кузнецов, В. Г. Данилов, И. Г. Судакова и др. // Химия растительного сырья. 2009. № 4. С. 39–44.

7. Zia-ullah Khokhar, Syed Q., Nadeem M., Baig S., Irfan M., Gul I., Tipu I., Aslam S., Zahoor Q., Samra M. Athar A. Delignification of Wheat Straw with Acid and Hydro-Steam under Pressure // World Applied Sciences Journal. 2010. No. 11(12). P. 1524–1530.

8. Крупин В. И., Демьяновская Н. В., Кудряшов В. Н. Солома – сырьё для бумажной промышленности // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2010. № 3. С. 50–51.

9. Yimmon B. M., Gogate P. R., Horvath M. Cavitation assisted delignification of wheat straw: A review // Ultrasonics Sonochemistry. 2012. Vol. 19. P. 984–993. DOI: 10.1016/j.ultsorich.2012.02.007.

10. Zhulan Liu, Yunfeng Cao, Hua Yao, Siqi Wu. Oxygen Delignification of Wheat Straw Soda Pulp with Anthraquinone Addition // BioResources. 2013. Vol. 8. P. 1306–1319.

11. Пен Р. З., Каретникова Н. В., Шапиро И. Л. Катализируемая делигнификация растительного сырья пероксидом водорода и пероксикислотами (обзор) // Химия растительного сырья. 2020. № 4. С. 329–347. DOI: 10.14258/jcprm.2020048119.

12. Pen R. Z., Shapiro I. L., Silin D. R. Delignification of plant raw materials with peroxo compounds // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration : International Conference (2020, December 8). Beijing, China. 2020. Part 3. P. 163–168.

13. Пен Р. З., Бывшев А. В., Шапиро И. Л., Мирошниченко И. В., Тарабанько В. Е. Низкотемпературная окислительная делигнификация древесины. 8. Пероксидная варка и щелочная экстракция // Химия растительного сырья. 2001. № 3. С. 5–10.

14. Пен Р. З., Бывшев А. В., Шапиро И. Л., Мирошниченко И. В., Тарабанько В. Е. Низкотемпературная окислительная делигнификация древесины. 9. Пероксидная варка древесины разных пород // Химия растительного сырья. 2001. № 3. С. 11–15.

15. Шулепова А. А., Мирошниченко И. В., Пен Р. З., Бывшев А. В. Влияние породы древесины на ход двухступенчатой пероксидной варки // Химико-лесной комплекс – проблемы и решения. Т. 1. Красноярск : СибГТУ, 2001. С. 305–306.

16. Пен Р. З., Шапиро И. Л., Коркина М. А., Каретникова Н. В. Делигнификация пшеничной соломы пероксисоединениями при низком жидкостном модуле // Решетневские чтения [Электронный ресурс] : материалы XXV Междунар. науч.-практ. конф. (10–12 нояб. 2021, г. Красноярск) в 2 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; СибГТУ им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2021. Ч. 2. С. 127–128. URL: <https://reshetnev.sibsau.ru/page/materialy> (дата обращения: 18.12.2021).

17. Пен Р. З. Планирование эксперимента в Statgraphics Centurion. Красноярск : СибГТУ, 2014. 293 с.

18. Пен Р. З., Пен В. Р. Статистические методы математического моделирования, анализа и оптимизации технологических процессов. С.-Петербург : Лань, 2020. 308 с.

REFERENCES

1. Linda J. Tsang, Jan D. Reid, Ewen C. Coxworth. Delignification of Wheat Straw by Pleurotus spp. under Mushroom-Growing Conditions // Applied and Environmental. Microbiology. 1987. Vol. 53. No. 6. R. 1304–1306.

2. Junenez I., Maestre F., Torre M. J., Perez I. Organosolv pulping of wheat straw by use of methanol-water mixtures // Tappi J. 1997. Vol. 80, No. 12. P. 148–154.

3. Epelde Gonzalo I., Lindgren C. T., Lindstrom M. E. Kinetics of wheat straw delignification in soda and kraft pulping // J. Wood Chem. and Technol. 1998. Vol. 18, No. 1. P. 69–82.

4. Sudhagar M., Tabil L. G., Sokhansanj S. Grinding performance and physical properties of wheat barley straws, corn stover and switchgrass // Biomass and Bioenergy. 2004. No. 27. P. 339–352.

5. Sun X. F., Sun R. C., Su Y., Sun J. X. Comparative study of crude and purified cellulose from wheat straw // J. Agricult. Food Chemist. 2004. Vol. 52. P. 839–847.

6. Delignifikatsiya solomy pshenitsy smes'yu uksusnoy kisloty i peroksida vodoroda v prisutstvii sernokislotnogo katalizatora / B. N. Kuznetsov, V. G. Danilov, I. G. Sudakova i dr. // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2009. № 4. S. 39–44.

7. Zia-ullah Khokhar, Syed Q., Nadeem M., Baig S., Irfan M., Gul I., Tipu I., Aslam S., Zahoor Q., Samra M. Athar A. Delignification of Wheat Straw with Acid and Hydro-Steam under Pressure // World Applied Sciences Journal. 2010. No. 11(12). P. 1524–1530.

8. Krupin V. I., Dem'yanovskaya N. V., Kudryashov V. N. Soloma – syr'yё dlya bumazhnoy promyshlennosti // Tsellyuloza. Bumaga. Karton. 2010. № 3. С. 50–51.

9. Yimmon B. M., Gogate P. R., Horvath M. Cavitation assisted delignification of wheat straw: A review // Ultrasonics Sonochemistry. 2012. Vol. 19. P. 984–993. DOI: 10.1016/j.ultsorich.2012.02.007.

10. Zhulan Liu, Yunfeng Cao, Hua Yao, Siqi Wu. Oxygen Delignification of Wheat Straw Soda Pulp with Anthraquinone Addition // BioResources. 2013. Vol. 8. P. 1306–1319.

11. Pen R. Z., Karetnikova N. V., Shapiro I. L. Kataliziruyemaya delignifikatsiya rastitel'nogo syr'ya peroksidom vodoroda i peroksikislotami (obzor) // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2020. № 4. S. 329–347. DOI: 10.14258/jcprm.2020048119.

12. Pen R. Z., Shapiro I. L., Silin D. R. Delignification of plant raw materials with peroxy compounds // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration : International Conference (2020, December 8). Beijing, China. 2020. Part 3. P. 163–168.

13. Pen R. Z., Byvshev A. V., Shapiro I. L., Miroshnichenko I. V., Taraban'ko V. Ye. Nizkotemperaturnaya okislitel'naya delignifikatsiya drevesiny. 8. Peroksidnaya varka i shchelochnaya ekstraktsiya // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2001. № 3. S. 5–10.

14. Pen R. Z., Byvshev A. V., Shapiro I. L., Miroshnichenko I. V., Taraban'ko V. Ye. Nizkotemperaturnaya okislitel'naya delignifikatsiya drevesiny. 9. Peroksidnaya varka drevesiny raznykh porod // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2001. № 3. S. 11–15.

15. Shulepova A. A., Miroshnichenko I. V., Pen R. Z., Byvshev A. V. Vliyaniye porody drevesiny na khod dvukhstupenchatoy peroksidnoy varki // Khimiko-lesnoy kompleks – problemy i resheniya. T. 1. Krasnoyarsk : SiBGU, 2001. S. 305–306.

16. Pen R. Z., Shapiro I. L., Korkina M. A., Karetnikova N. V. Delignifikatsiya pshenichnoy solomy peroksoyedineniyami pri nizkom zhidkostnom module // Reshetnevskiy chteniya [Elektronnyy resurs] : materialy XXV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (10–12 noyab. 2021, g. Krasnoyarsk) v 2 ch. / pod obshch. red. Yu. Yu. Loginova ; SiBGU im. M. F. Reshetneva. Krasnoyarsk, 2021. Ch. 2. S. 127–128. URL: <https://reshetnev.sibsau.ru/page/materialy> (data obrashcheniya: 18.12.2021).

17. Pen R. Z. Planirovaniye eksperimenta v Statgraphics Centurion. Krasnoyarsk : SiBGU, 2014. 293 s.

18. Pen R. Z., Pen V. R. Statisticheskiye metody matematicheskogo modelirovaniya, analiza i optimizatsii tekhnologicheskikh protsessov. S.-Peterburg : Lan', 2020. 308 s.

© Пен Р. З., Шапиро И. Л.,
Амбросович Ю. А., Пен В. Р.. 2022

Поступила в редакцию 27.01.2022
Принята к печати 01.04.2022

АВТОРСКАЯ ССЫЛКА

Авдеева Е. В., см. Безруких В. А.
Алашкевич Ю. Д., см. Юртаева Л. В.
Амбросович Ю. А., см. Пен Р. З.
Безруких В. А. Возможности аграрного природопользования бореальной зоны Приенисейской Сибири, с. 101–108
Белова А. И. Рост лесных культур ели европейской созданных сеянцами с закрытой корневой системой, с. 109–113
Бессонова Н. В., см. Выводцев Н. В.
Вайс А. А., см. Каштальянов П. А.
Выводцев Н. В. Закономерности роста насаждений ели в дальневосточном таежном лесном районе, с. 114–120
Зарипов Ш. Г. Совершенствование управлением процесса сушки листовенных пиломатериалов, с. 145–152
Каргина Е. В., см. Огурцов В. В.
Каштальянов П. А. Сбег нижней части стволов сосны в условиях Бирюсинского участкового лесничества, с. 121–127
Корниенко В. А., см. Зарипов Ш. Г.
Коротков А. А., см. Безруких В. А.
Кох Ж. А., см. Мацкевич И. В.
Кузнецова О. А., см. Безруких В. А.
Лигаева Н. А., см. Безруких В. А.
Матвеева И. С., см. Огурцов В. В.

Матвеева Р. Н., см. Попова С. В.
Мацкевич И. В. Исследование процессов дистилляции эфирного масла из древесной зелени можжевельника, с. 164–167
Невзоров В. Н., см. Мацкевич И. В.
Огурцов В. В. Общая постановка задачи оптимизации гибких поставок, с. 153–157
Пен В. Р., см. Пен Р. З.
Пен Р. З. Окислительная делигнификация пшеничной соломы: пероксидная варка и щелочная экстракция, с. 168–172
Полякова Е. С., см. Белова А. И.
Попова С. В. Изменчивость семян и сеянцев сосны кедровой сибирской с отселектированных деревьев бурятского происхождения, с. 128–134
Приходько О. Ю., см. Выводцев Н. В.
Ринчинов Б. Б., см. Попова С. В.
Тарасов П. А. Оценка влияния на почву смены сосняков березняками в зеленой зоне Красноярск, с. 135–144
Тарасова А. В., см. Тарасов П. А.
Хамитов Р. С., см. Белова А. И.
Хамитова С. М., см. Белова А. И.
Шапиро И. Л., см. Пен Р. З.
Юртаева Л. В. Способ получения микрокристаллической целлюлозы на основе биоповрежденной древесины, с. 158–163

AUTHOR'S LINK

- Alashkevich Yu. D.**, see Yurtayeva L. V.
- Ambrosovich Y. A.**, see Pen R. Z.
- Avdeeva E. V.**, see Bezrukikh V. A.
- Belova A. I.** Growth of european spruce forest crops created by seedlings with a closed root system, p. 109–113
- Bessonova N. V.**, see Vyvadtsev N. V.
- Bezrukikh V. A.** Opportunities for agricultural nature management in the boreal zone of the Yenisei Siberia, p. 101–108
- Kargina E. V.**, see Ogurtsov V. V.
- Kashtalyanov P. A.** Runoff of the lower part of pine trunks in the conditions of Biryusinsky district forestry, p. 121–127
- Khamitov R. S.**, see Belova A. I.
- Khamitova S. M.**, see Belova A. I.
- Korniyenko V. A.**, see Zaripov Sh. G.
- Korotkov A. A.**, see Bezrukikh V. A.
- Koch Zh. A.**, see Matskevich I. V.
- Kuznetsova O. A.**, see Bezrukikh V. A.
- Ligaeva N. A.**, see Bezrukikh V. A.
- Matskevich I. V.** Study of essential oil distillation processes from juniper wood herbs, p. 164–167
- Matveeva I. S.**, see Ogurtsov V. V.
- Matveeva R. N.**, see Popova S. V.
- Nevzorov V. N.**, see Matskevich I. V.
- Ogurtsov V. V.** General statement of the optimization problem of flexible delivery, p. 153–157
- Pen R. Z.** Oxidative delignification of wheat straw: peroxide cooking and alkaline extraction, p. 168–172
- Pen V. R.**, see Pen R. Z.
- Polyakova E. S.**, see Belova A. I.
- Popova S. V.** Variability of seeds and seedlings of siberian cedar pine from selected trees of buryat origin, p. 128–134
- Prikhodko O. Yu.**, see Vyvadtsev N. V.
- Rinchinov B. B.**, see Popova S. V.
- Shapiro I. L.**, see Pen R. Z.
- Tarasov P. A.** Assessment of the impact on the soil of the replacement of pine forests by birch forests in the green zone of Krasnoyarsk, p. 135–144
- Tarasova A. V.**, see Tarasov P. A.
- Vais A. A.**, see Kashtalyanov P. A.
- Vyvadtsev N. V.** Patterns of growth of spruce stands in the far eastern taiga forest area, p. 114–120
- Yurtayeva L. V.** A method for producing microcrystalline cellulose based on bio-damaged wood, p. 158–163
- Zaripov Sh. G.** Improving the management of the drying process of larch lumber, p. 145–152

