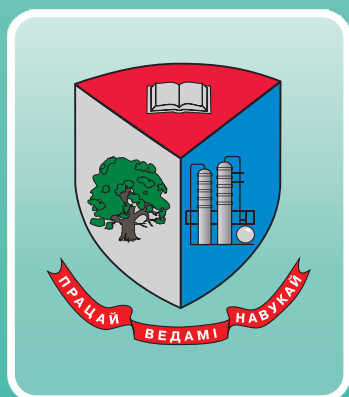



ISSN 2519-402X



ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал 

Серия 1

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО,
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
И ПЕРЕРАБОТКА
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ

№ 1 (240) 2021 год

Рубрики номера:

Лесная экология и лесоводство

Лесовосстановление и лесоразведение

Лесозащита и садово-парковое строительство

Туризм и лесохотничье хозяйство

Лесопромышленный комплекс.
Транспортно-технологические вопросы

Деревообрабатывающая промышленность



Минск 2021

Учреждение образования
«Белорусский государственный
технологический университет»

ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал

Издается с июля 1993 года

Серия 1

**ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО,
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
И ПЕРЕРАБОТКА
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ**

№ 1 (240) 2021 год

Выходит два раза в год

Минск 2021

Учредитель – учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Главный редактор журнала – Войтов Игорь Витальевич, доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь

Редакционная коллегия журнала:

Шетько С. В., кандидат технических наук, доцент (заместитель главного редактора), Республика Беларусь;
Жарский И. М., кандидат химических наук, профессор (заместитель главного редактора), Республика Беларусь;
Черная Н. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;
Прокопчук Н. Р., член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор, Республика Беларусь;
Водопьянов П. А., член-корреспондент НАН Беларуси, доктор философских наук, профессор, Республика Беларусь;
Новикова И. В., доктор экономических наук, профессор, Республика Беларусь;
Наркевич И. И., доктор физико-математических наук, профессор, Республика Беларусь;
Долгова Т. А., кандидат физико-математических наук, доцент, Республика Беларусь;
Торчик В. И., доктор биологических наук, Республика Беларусь;
Захарук Т., доктор педагогических наук, профессор, Республика Польша;
Пайвинен Ристо, доктор наук, профессор, Финляндская Республика;
Барчик Стэфан, доктор наук, профессор, Словацкая Республика;
Жантасов К. Т., доктор технических наук, профессор, Республика Казахстан;
Харша Ратнавир, доктор наук, профессор, Королевство Норвегия;
Рангелова Е. М., доктор педагогических наук, профессор, Республика Болгария;
Шкляр Б. Ш., профессор, Государство Израиль;
Хассель Л. Г., доктор наук, профессор, Королевство Швеция;
Флорик Е. А., кандидат биологических наук, доцент (секретарь), Республика Беларусь.

Редакционная коллегия серии:

Черная Н. В., доктор технических наук, профессор (главный редактор серии), Республика Беларусь;
Козлов Н. Т., доктор химических наук, профессор (заместитель главного редактора серии), Республика Беларусь;
Звягинцев В. Б., кандидат биологических наук, доцент, Республика Беларусь;
Каплич В. М., доктор биологических наук, профессор, Республика Беларусь;
Крук Н. К., кандидат биологических наук, доцент, Республика Беларусь;
Носников В. В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Республика Беларусь;
Шетько С. В., кандидат технических наук, доцент, Республика Беларусь;
Торчик В. И., доктор биологических наук, Республика Беларусь;
Парфенов В. И., академик НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор, Республика Беларусь;
Булавик И. М., доктор сельскохозяйственных наук, Республика Беларусь;
Кох Барбара, доктор наук, профессор, Федеративная Республика Германия;
Лакида П. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Украина;
Маркова И. А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Российская Федерация;
Пайвинен Ристо, доктор наук, профессор, Финляндская Республика;
Саевич К. Ф., доктор биологических наук, профессор, Республика Беларусь;
Сарнацкий В. В., доктор биологических наук, Республика Беларусь;
Тябера Альбинас, доктор наук, профессор, Литовская Республика;
Усеня В. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Республика Беларусь;
Коробко Е. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;
Вавилов А. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;
Бир Петр, доктор технических наук, профессор, Республика Польша;
Барчик Стэфан, доктор наук, профессор, Словацкая Республика;
Савельев А. Г., доктор технических наук, профессор, Латвийская Республика;
Балтрушайтис Антанас, кандидат технических наук, Литовская Республика;
Онегин В. И., доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники, Российская Федерация;
Башкиров В. Н., доктор технических наук, профессор, Российская Федерация;
Богданович Н. И., доктор технических наук, профессор, Российская Федерация;
Игнатович Л. В., кандидат технических наук, доцент (ответственный секретарь), Республика Беларусь;
Гордей Д. В., кандидат биологических наук (секретарь), Республика Беларусь.

Адрес редакции: ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.

Телефоны: главного редактора журнала – (+375 17) 343-94-32;

главного редактора серии – (+375 17) 374-80-46.

E-mail: root@belstu.by, <http://www.belstu.by>

Свидетельство о государственной регистрации средств массовой информации
№ 1329 от 23.04.2010, выданное Министерством информации Республики Беларусь.

Журнал включен в «Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований»

Educational institution
“Belarusian State Technological University”

PROCEEDINGS OF BSTU

Scientific Journal

Published monthly since July 1993

Issue 1

**FORESTRY.
NATURE MANAGEMENT.
PROCESSING OF RENEWABLE
RESOURCES**

No. 1 (240) 2021

Published biannually

Minsk 2021

Publisher – educational institution “Belarusian State Technological University”

Editor-in-chief – Voitau Ihar Vital’evich, DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus

Editorial (Journal):

Shet’ko S. V., PhD (Engineering), Associate Professor (deputy editor-in-chief), Republic of Belarus;
ZharSKIY I. M., PhD (Chemistry), Professor (deputy editor-in-chief), Republic of Belarus;
Chernaya N. V., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;
Prokopchuk N. R., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Chemistry), Professor, Republic of Belarus;
Vodop’yanov P. A., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Philosophy), Professor, Republic of Belarus;
Novikova I. V., DSc (Economics), Professor, Republic of Belarus;
Narkevich I. I., DSc (Physics and Mathematics), Professor, Republic of Belarus;
Dolgova T. A., PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Republic of Belarus;
Torchik V. I., DSc (Biology), Republic of Belarus;
Zakharuk T., DSc (Pedagogics), Professor, Republic of Poland;
Paivinen Risto, DSc, Professor, Republic of Finland;
Barcík Štefan, DSc, Professor, Slovak Republic;
Zhantassov K. T., DSc (Engineering), Professor, Republic of Kazakhstan;
Harsha Ratnaweera, DSc, Professor, Kingdom of Norway;
Rangelova E. M., DSc (Pedagogics), Professor, Republic of Bulgaria;
Shklyar B. Sh., Professor, State of Israel;
Hassel L. G., DSc, Professor, Kingdom of Sweden;
Flyurik E. A., PhD (Biology), Associate Professor (secretary), Republic of Belarus.

Editorial (Issue):

Chernaya N. V., DSc (Engineering), Professor (managing editor), Republic of Belarus;
Kozlov N. G., DSc (Chemistry), Professor (sub-editor), Republic of Belarus;
Zvyagintsev V. B., PhD (Biology), Associate Professor, Republic of Belarus;
Kaplich V. M., DSc (Biology), Professor, Republic of Belarus;
Kruk N. K., PhD (Biology), Associate Professor, Republic of Belarus;
Nosnikov V. V., PhD (Agriculture), Associate Professor, Republic of Belarus;
Shet’ko S. V., PhD (Engineering), Associate Professor, Republic of Belarus;
Torchik V. I., DSc (Biology), Republic of Belarus;
Parfenov V. I., Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Biology), Professor, Republic of Belarus;
Bulavik I. M., DSc (Agriculture), Republic of Belarus;
Koch Barbara, DSc, Professor, Federal Republic of Germany;
Lakida P. I., DSc (Agriculture), Professor, Ukraine;
Markova I. A., DSc (Agriculture), Professor, Russian Federation;
Paivinen Risto, DSc, Professor, Republic of Finland;
SaeVich K. F., DSc (Biology), Professor, Republic of Belarus;
Sarnatskiy V. V., DSc (Biology), Republic of Belarus;
Tebèra Albinas, DSc, Professor, Republic of Lithuania;
Usenya V. V., DSc (Agriculture), Professor, Republic of Belarus;
Korobko E. V., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;
Vavilov A. V., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;
Beer Piotr, DSc (Engineering), Professor, Republic of Poland;
Barcík Štefan, Professor, Slovak Republic;
Savel’ yev A. G., DSc (Engineering), Professor, Republic of Latvia;
Baltrushaitis Antanas, PhD (Engineering), Republic of Lithuania;
Onegin V. I., DSc (Engineering), Professor, Honored Worker of Science and Engineering, Russian Federation;
Bashkirov V. N., DSc (Engineering), Professor, Russian Federation;
Bogdanovich N. I., DSc (Engineering), Professor, Russian Federation;
Ignatovich L. V., PhD (Engineering), Associate Professor (executive editor), Republic of Belarus;
Gordey D. V., PhD (Biology) (secretary), Republic of Belarus.

Contact: 13a, Sverdlova str., 220006, Minsk.

Telephones: editor-in-chief (+375 17) 343-94-32;

managing editor (+375 17) 374-80-46.

E-mail: root@belstu.by, <http://www.belstu.by>

ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО

УДК 630*182.4; 630*161.32

Г. Я. Климчик, О. Г. Бельчина

Белорусский государственный технологический университет

ВЛИЯНИЕ СПЛОШНОЛЕСОСЕЧНЫХ И РАВНОМЕРНО-ПОСТЕПЕННЫХ РУБОК ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ НА ВОЗОБНОВЛЕНИЕ И ЖИВОЙ НАПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ ЕЛЬНИКОВ ОРЛЯКОВЫХ И КИСЛИЧНЫХ В ПЕРВЫЕ ГОДЫ ПОСЛЕ РУБОК

Рассмотрено влияние сплошнолесосечных и равномерно-постепенных рубок главного пользования в ельниках кисличном и орляковом на видовой состав нижних ярусов растительности в первые годы после рубок. Установлено, что травяной покров до проведения рубок на исследуемых пробных площадях представлен преимущественно лесными видами-эдикаторами растений. В богатых условиях местопрорастания в первые годы после проведения сплошнолесосечных рубок из состава живого напочвенного покрова полностью выпадают наиболее типичные для спелого древостоя виды – *Rhytidadelphus triquetrus*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Plagiomnium medium*, *Dicranum polysetum*. Появляются луговые и сорные гелиофиты: *Sonchus arvensis*, *Rumex acetosella*, *Vicia cracca*, *Polygonum aviculare*, *Capsella bursa-pastoris*. Отмечено интенсивное возобновление *Populus tremula* и распространение *Rubus idaeus*. Сравнительная оценка проективного покрытия и видового разнообразия показывает, что в живом напочвенном покрове происходят сукцессионные процессы. Эти данные после проведения равномерно-постепенной рубки показывают о сохранении устойчивого фитоценоза, типичного для данных условий местопрорастания. Здесь в большей степени сохраняются виды лесной флоры. Без надлежащих уходов после проведения 1-го приема равномерно-постепенных рубок возможно формирование вторичных мелколиственных лесов.

Ключевые слова: сплошнолесосечная и равномерно-постепенная рубки, видовое разнообразие, сукцессии, живой напочвенный покров.

Для цитирования: Климчик Г. Я., Бельчина О. Г. Влияние сплошнолесосечных и равномерно-постепенных рубок главного пользования на возобновление и живой напочвенный покров ельников орляковых и кисличных в первые годы после рубок // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 5–12.

G. Ya. Klimchik, O. G. Bel'china

Belarusian State Technological University

INFLUENCE OF CONTINUOUS CUTTING AND UNIFORMLY GRADUAL MAIN USE CUTTINGS ON RESTORATION AND LIVING SOIL COVER OF EARLYAKOV AND ACID SPIRITS IN THE FIRST YEARS AFTER THE CUTTING

The influence of clear-cut and uniformly gradual felling of main use in oxalis and bracken spruce forests on the species composition of the lower layers of vegetation in the first years after felling is considered. It was found that the grass cover before the felling on the test plots under study is represented mainly by edification forest plant species. In the rich growing conditions in the first years after clearcutting, the species most typical for a mature forest stand completely disappear from the living ground cover – *Rhytidadelphus triquetrus*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Plagiomnium medium*, *Dicranum polysetum*. Meadow and weed heliophytes appear: *Sonchus arvensis*, *Rumex acetosella*, *Vicia cracca*, *Polygonum aviculare*, *Capsella bursa-pastoris*. Intensive renewal of *Populus tremula* and distribution of *Rubus idaeus* were noted. A comparative assessment of the projective cover and species diversity shows that sharp successive processes occur in the living ground cover. These indicators after uniform-gradual felling indicate the preservation of a stable phytocenosis, typical for the given growing conditions. The species of forest flora are mostly preserved here. Without proper care, after the 1st method of uniform-gradual felling, the formation of secondary small-leaved forests.

Key words: clear-cutting, species diversity, successions, living ground cover.

For citation: Klimchik G. Ya., Bel'china O. G. Influence of continuous cutting and uniformly gradual main use cuttings on restoration and living soil cover of earlyakov and acid spirits in the first years after the cutting. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 5–12 (In Russian).

Введение. Структура и флористический состав лесов Беларуси находятся в зависимости не только от зональных особенностей лесной растительности, но и от ее изменений в результате вырубок и лесовосстановительных работ. Практически все леса в прошлом были объектами рубок. Свой первозданный облик сохранили лишь лесные «острова» среди труднопроходимых болот, участки болотных березовых и сосновых лесов. Следствием сплошных и выборочных рубок часто является не только смена основных лесообразующих пород, но и полное или частичное изменение флористического состава [1]. Сплошные рубки были и остаются одним из главных факторов воздействия человека на лесной покров. Имеется большое количество научных публикаций, где описываются последствия таких рубок, в том числе происходящие после них изменения микроклимата, физических и химических свойств почвы, живого напочвенного покрова, а также процесс возобновления леса на вырубках и в разных лесорастительных условиях [1–3]. В результате интенсификации рубок леса и последующего его восстановления происходят значительные изменения породного состава, структуры и продуктивности древостоев. Антропогенно преобразованные леса в большинстве случаев характеризуются упрощенным составом и структурой растительности, относительно четкими границами. Современный лесной покров можно рассматривать как крупную терминированную, динамическую сукцессионную систему.

Динамика формирования лесов, их породный состав и структура древостоя в настоящее время определяются, главным образом, различными технологиями их восстановления, проведения рубок ухода и главного пользования, другими лесохозяйственными мероприятиями [3]. Ель относится к одной из наиболее продуктивных древесных пород, а еловые леса – это сфера интенсивной хозяйственной деятельности [4]. Сплошнолесосечные рубки и равномерно-постепенные рубки главного пользования леса в разной степени оказывают влияние на изменения экологических условий, перестройку фитоценоза, который активно реагирует на внешние вмешательства. Реакция нижних ярусов растительности направлена на сохранение биоценоза путем освоения дополнительных ресурсов, а также вовлечение их в биокруговорот и восстановление прежнего уровня продуктивности лесной экосистемы [5–8].

Наблюдение за процессами сукцессии после прохождения ельников кисличных и орляковых сплошными и равномерно-постепенными рубками главного пользования дает возможность сравнить и оценить интенсивность восстановления лесного биоценоза. Сравнительный анализ видового разнообразия нижних ярусов леса позволит установить закономерные реакции восстановительных процессов в вышеуказанных типах леса на хозяйственные мероприятия.

Основная часть. Цель наших исследований – оценить влияние сплошнолесосечных и равномерно-постепенных рубок главного пользования на возобновление и видовое флористическое разнообразие живого напочвенного покрова. Работа выполнена в рамках проекта ВФДР/GEF/CQS/16/29-34/18 и по заданию 56 ГПФОИ «Ресурсы растительного и животного мира». Было заложено 4 пробные площади в ельниках кисличном и орляковом в Литвянском лесничестве Негорельского учебно-опытного лесхоза (табл. 1).

На изучаемых участках проводились сплошнолесосечные рубки главного пользования без сохранения подроста, а также равномерно-постепенные рубки главного пользования. В вышеуказанных типах леса исследовалось видовое флористическое разнообразие до проведения рубок, в первый и второй вегетативный период после рубок. Учет естественного возобновления и подлеска проводился методом сплошного пересчета на 10 круговых учетных площадках размером 20 м² каждая, заложенных равномерно по диагоналям пробных площадей, согласно ТКП [9]. Для изучения живого напочвенного покрова использовалась общепринятая методика геоботанических исследований А. Г. Воронова, К. Раункиера, а также шкалы обилия Друде [10].

Флористическое сходство растений напочвенного покрова до и после рубки древесного яруса оценено с использованием коэффициента флористического сходства (индекс Жаккара):

$$K_j = \frac{c}{a + b - c},$$

где a – число видов в одном сообществе; b – число видов в другом сообществе; c – число видов, общих для двух сообществ. Пределы этого коэффициента от 0 до 1, причем $K_j = 1$ означает полное сходство сообществ (абсолютное совпадение списков), а $K_j = 0$ – сообществ не имеют ни одного общего вида [11, 12].

Таблица 1

Таксационная характеристика объектов исследования

№ пробной площади	Состав	Возраст, лет	Запас, м ³ /га	Тип леса/ТУМ	Вид рубки
1	6Е2Б1Д1Ос	90	507	Е _{кис} /D ₂	Сплошнолесосечная рубка главного пользования без сохранения подроста
2	6Е2Б1Д1Ос	90	507	Е _{кис} /D ₂	Сплошнолесосечная рубка главного пользования без сохранения подроста
3	8Е1Ос1Оч	90	470	Е _{орл} /С ₂	Равномерно-постепенная рубка главного пользования
4	8Е1Ос1Оч	90	470	Е _{орл} /С ₂	Равномерно-постепенная рубка главного пользования

На объектах в ельнике кисличном было зарегистрировано 23 вида растений живого напочвенного покрова. В травяно-кустарничковом ярусе зафиксировано 18 видов (*Vaccinium myrtillus*, *Pteridium aquilinum*, *Dryopteris spinulosa*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Athyrium filix-femina*, *Rubus caesius*, *Oxalis acetosella*, *Galeobdolon luteum*, *Luzula pilosa*, *Equisetum sylvaticum*, *Majanthemum bifolium*, *Hieracium sylvularum*, *Carex digitata*, *Viola canina*, *Fragaria vesca*, *Stellaria nemorum*, *Geranium robertianum*, *Melampyrum sylvaticum*), в мохово-лишайниковом ярусе – 5 видов (*Rhytidiadelphus triquetrus*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Plagiomnium medium*, *Dicranum polysetum*).

До проведения рубок живой напочвенный покров был хорошо развит, в большей части однородный, равномерный, с четко выраженной ярусностью. Общее проективное покрытие растительности составляло: травяно-кустарничковый ярус – 80,0%, мохово-лишайниковый – 58,0%. В травяно-кустарничковом ярусе доминировала *Oxalis acetosella* (≈65,0%), в мохово-лишайниковом ярусе – *Hylocomium splendens* (≈20,0%), *Pleurozium schreberi* (≈25,0%). Встречаемость видов варьировала от 0,5 до 97,5%. Степень обилия по Друде: 7 видов – copiosae, 14 видов – sparsae, 2 вида – solitariae.

Учитываемый подрост до рубки оценен как редкий (до 2000 шт./га), средней высоты (0,6–1,5 м), представлен видами *Picea abies*, *Quercus robur*, *Populus tremula*, *Acer platanoides*; подлесок редкий, по высоте средний в угнетенном состоянии (*Sorbus aucuparia*, *Frangula alnus*, *Corylus avellana*, *Rubus idaeus*, *Rubus caesius*).

Живой напочвенный покров ельника орлякового до проведения рубок представлен 21 видом растений. Из них 16 видов травяно-кустарничкового яруса (*Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Pteridium aquilinum*, *Athyrium filix-femina*, *Dryopteris spinulosa*, *Equisetum sylvaticum*, *Oxalis acetosella*, *Majanthemum bifolium*, *Ajuga reptans*, *Lactuca muralis*, *Hieracium sylvularum*, *Luzula pilosa*, *Urtica dioica*, *Carex digitata*, *Lysimachia vulgaris*, *Trientalis europaea*) и 5 видов

мохово-лишайникового яруса (*Rhytidiadelphus triquetrus*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Plagiomnium medium*, *Dicranum polysetum*). Все растения в покрове характеризовались как лесные, произрастающие в типичных условиях своего местопроизрастания. Общее проективное покрытие по ярусам растительности живого напочвенного покрова составляло 60,0% травяно-кустарничкового яруса и 45,0% мохово-лишайникового. В травяно-кустарничковом ярусе доминировала *Oxalis acetosella* (≈45,0%), в мохово-лишайниковом ярусе – *Hylocomium splendens* (≈22,0%). Встречаемость различных видов варьирует от 0,5 до 97,5%. Степень обилия по Друде: 2 вида – copiosae, 12 видов – sparsae, 8 видов – solitariae.

Подрост редкий (до 2000 шт./га), средней высоты (0,6–1,5 м), представлен видами *Picea abies*, *Populus tremula*, *Quercus robur*, *Acer platanoides*; подлесок оценен как редкий, по высоте средний, представлен *Sorbus aucuparia*, *Frangula alnus*, *Euonymus verrucosus*, *Corylus vellaana*, *Rubus idaeus*.

Проведение сплошнолесосечной рубки характеризуется значительными изменениями экологических условий территории. При отсутствии материнского древостоя увеличивается освещенность, степень испарения с верхних горизонтов почвы, при этом изменяется ее влажность, резко возрастает диапазон колебания температур, вырубка подвергается ветровым потокам. Условия для лесной растительности становятся неблагоприятными, в результате такой компонент, как живой напочвенный покров, меняет свое видовое разнообразие. После проведения сплошнолесосечной рубки на всех участках наблюдалось резкое снижение проективного покрытия лесной травянистой растительности и отмирание до полного исчезновения мохово-лишайникового яруса (рис. 1).

Лишь изредка, под защитой пней, встречаются *Luzula pilosa*, *Carex digitata*, *Majanthemum bifolium*, находящиеся в угнетенном состоянии, не способные пройти полный цикл развития. Это связано с резким изменением климатических условий и согласуется с исследованиями, проведенными ранее в Беларуси [13–18].

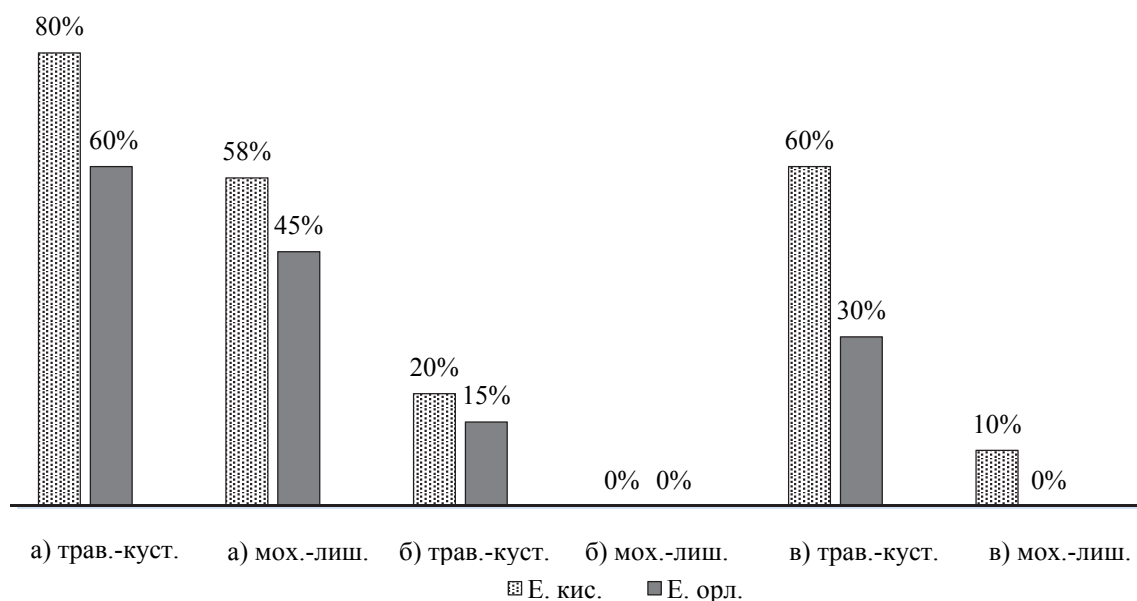


Рис. 1. Динамика проективного покрытия в ельниках в зависимости от вида рубок: а) до рубок; б) сплошнолесосечная рубка; в) равномерно-постепенная рубка

На участках, пройденных сплошнолесосечной рубкой без сохранения подроста, в ельнике кисличном в первый год живой напочвенный покров начали заселять светолюбивые луговые травянистые растения (*Sonchus arvensis*, *Rumex acetosella*, *Vicia cracca*, *Polygonum aviculare*, *Capsella bursa-pastoris*). Уже в первый вегетационный сезон после рубки можно наблюдать массовое появление *Populus tremula*, куртинные всходы *Rubus idaeus*. Большая часть площади остается мертвопокровной.

На исследуемых участках в ельнике кисличном во второй вегетационный сезон отмечено массовое зарастание *Populus tremula* (10 000 шт./га) и распространение куртин *Rubus idaeus*. Флористическое разнообразие луговых видов увеличивается до 11 видов (*Equisetum pratense*, *Poa annua*, *Stellaria media*, *Stellaria nemorum*, *Stellaria holostea*, *Fragaria vesca*, *Lactuca muralis*, *Urtica dioica*, *Sonchus arvensis*, *Vicia cracca*, *Viola canina*). Представители мхов отсутствуют. Общее проективное покрытие составляет 20%. Несмотря на создание лесных культур идет интенсивное зарастание вырубki естественным возобновлением *Populus tremula*, *Sorbus aucuparia* и *Rubus idaeus*.

На пробных площадях ельника орлякового, пройденных сплошнолесосечной рубкой без сохранения подроста, наблюдается аналогичная картина. В первый вегетационный сезон происходит полное отмирание мохово-лишайникового яруса, оставшиеся дерники представителей *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*, обнаруженные в тени пней, единичны и находятся в состоянии усыхания и нежизнеспособности.

Воздействие на почву лесозаготовительных машин и в целом технологического процесса рубки как антропогенного фактора дает возможность заселению этой территории только луговыми видами. В первый год после рубки встречаются *Sonchus arvensis*, *Polygonum aviculare*, *Capsella bursa-pastoris*, *Vicia cracca*. Встречаемость обнаруженных видов составляет не более 5%, степень обилия по Друде – *solitariae* или *unicum*.

Во второй год в живом напочвенном покрове происходит резкое и массовое зарастание площади луговыми видами, увеличение видового разнообразия подлесочных пород, интенсивный захват территории *Rubus idaeus*. Флористическое разнообразие в ельнике орляковом составляет 18 видов (*Chamaecytisus ruthenicus*, *Luzula pilosa*, *Sonchus arvensis*, *Juncus effuses*, *Viola canina*, *Polygonum aviculare*, *Chamaenerion angustifolium*, *Plantago lanceolata*, *Trifolium pratense*, *Potentilla erecta*, *Rumex acetosella*, *Mentha arvensis*, *Fragaria vesca*, *Poa pratensis*, *Urtica dioica*, *Capsella bursa-pastoris*, *Viola arvensis*, *Dactylis glomerata*). Общее проективное покрытие живого напочвенного покровасоставило около 15%. Идет интенсивное возобновление *Populus tremula*, из подлесочных пород единично встречаются *Salix caprea*, *Sambucus racemosa*. Количественная оценка вторичного лесного сообщества на данных участках показывает, что коренной елово-лиственный древостой в кисличных и орляковых типах леса при сплошной рубке может сменяться лиственным с явным преобладанием осины. Доминирование осины на вырубках этой группы типов леса обусловлено следующими факторами: повсеместным

участием ее в коренных материнских древостоях, высокой порослеобразующей способностью (от корней и пней), слабым влиянием микроклиматических факторов на ход вегетативного возобновления осины, активным нарушением верхнего почвенного слоя. Эти факторы благоприятствуют появлению побегов из спящих почек на корнях осины и обильному рассеиванию семян от близлежащих стен леса.

В подобных случаях указанная порода за 1–3 года сможет полностью заселить сплошные вырубку даже при небольшом ее участии в составе материнского древостоя.

При оценке лесного фитоценоза в живом напочвенном покрове оказалось, что при сплошной рубке, как правило, не происходит исчезновение старых или появление новых видов растений, но резко изменяются их состав и доминанты. Это автоматически ведет к изменению видового состава, численности и проективного покрытия, которые в свою очередь могут повлиять на естественный ход развития компонентов лесного биоценоза [2].

После проведения равномерно-постепенной рубки в ельнике кислочном видовой состав лесных видов в большей части сохранился, за исключением мхов, которые практически выпали вследствие воздействия не только изменения микроклиматических условий, но и распространения более конкурентоспособных видов травянистой растительности в данных условиях.

На момент исследований травяно-кустарничковый ярус насчитывал 17 видов (*Vaccinium myrtillus*, *Pteridium aquilinum*, *Dryopteris spinulosa*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Oxalis acetosella*, *Galeobdolon luteum*, *Luzula pilosa*, *Equisetum sylvaticum*, *Majanthemum bifolium*, *Hieracium sylvularum*, *Carex digitata*, *Viola canina*, *Fragaria vesca*, *Stellaria nemorum*, *Geranium robertianum*, *Aegopodium podagraria*, *Melampyrum sylvaticum*). Мохново-лишайниковый ярус составил 2 вида – *Pleurozium schreberi*, *Plagiomnium medium*. В связи с прорубкой волоков и содействием естественному возобновлению снизилось проективное покрытие всех видов.

Снижение полноты при проведении первого приема привело к повсеместному возобновлению на площади *Populus tremula*. Менее обильно идет

возобновление *Rubus idaeus*, *Frangula alnus*, *Sorbus aucuparia*, *Acer platanoides*.

Проективное покрытие после равномерно-постепенной рубки в ельнике орляковом по травяно-кустарничковому ярусу снизилось на 30%. Представители мохово-лишайникового яруса выпали. Изменилось обилие таких лесных видов, как *Vaccinium myrtillus* и *Oxalis acetosella*, также появились луговые и сорные виды. В ходе возобновления происходит массовое зарастание *Populus tremula*, и только. Зарегистрировано два вида подлесочной породы – *Rubus idaeus* и *Sambucus racemosa*. Видовое разнообразие травяно-кустарничкового яруса составило 13 видов (*Vaccinium myrtillus*, *Pteridium aquilinum*, *Fragaria vesca*, *Urtica dioica*, *Oxalis acetosella*, *Anthoxanthum odoratum*, *Poa pratensis*, *Lysimachia vulgaris*, *Scorzonera autumnalis*, *Rumex acetosella*, *Polygonum aviculare*, *Equisetum sylvaticum*, *Ajuga reptans*).

Анализ полученных данных говорит, что до рубок в обоих рассматриваемых типах леса в составе преобладали типичные виды-эдификаторы живого напочвенного покрова. Среди экологических групп растений доминировали по отношению к свету сциофиты, по отношению к плодородию почв мезотрофы и по отношению к влажности почвы мезофиты.

Полученные данные свидетельствуют о том, что после проведения сплошнолесосечных рубок на всех исследуемых участках теряется устойчивость и жизнеспособность лесных видов живого напочвенного покрова. Испытывая стрессовые изменения условий, в первую очередь исчезает мохово-лишайниковый ярус. Начинается процесс освоения территории светлюбивыми растениями, устойчивыми к недостатку влаги, т. е. гелиофитами и ксерофитами (рис. 2). Отмечаются среди этих видов луговые и сорные представители. На этих участках после проведения 1-го приема рубки возобновление *Picea abies* не дало ожидаемых результатов. Произошло довольно интенсивное возобновление *Populus tremula* и разрастание живого напочвенного покрова. Это связано, скорее всего, с отсутствием в этот период семенного года и поражением шишек ели шишковой огневкой (*Dioryctria abietella*).

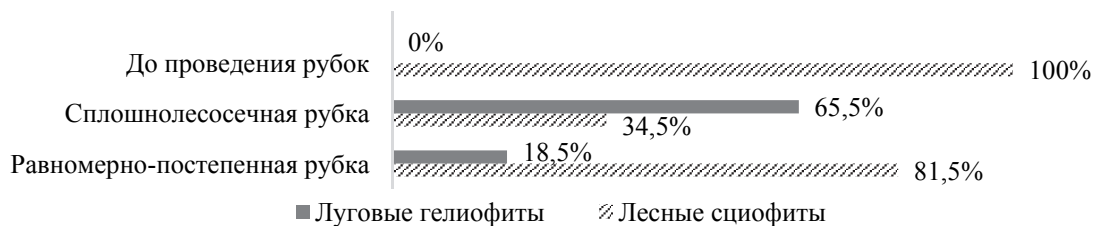


Рис. 2. Долевое участие видов в живом напочвенном покрове в зависимости от рубок

После проведения 1-го приема равномерно-постепенных рубок такого агрессивного внедрения растений открытых пространств, как при сплошнолесосечных рубках, не наблюдается. Во флористическом составе живого напочвенного покрова все также преобладают в основном лесные виды. Однако коэффициент сходства Жаккара показывает наличие существенных изменений в составе флоры живого напочвенного покрова (табл. 2).

Таблица 2
Коэффициент флористического сходства на участках до и после проведения рубок

Вид рубки	Тип леса	
	Е. кис.	Е. орл.
Сплошнолесосечная	0,13	0,11
Равномерно-постепенная	0,54	0,33

Заключение. Сплошнолесосечные рубки вызывают стрессовую реакцию типичных представителей видов-эдикаторов живого напочвенного покрова. Интенсивно повышающееся проективное покрытие площади луговой и сорной растительностью не дает возможности характеризовать восстановительный процесс как изначальное состояние биоценоза. Происходят значительные сукцессионные изменения в результате нарушения верхних ярусов растительности и подстилки путем технологического вмешательства. С исчезновением древостоя освобождается значительная часть световых и почвенных ресурсов,

территорию начинают заселять светолюбивые травы. Рубка способствует выпадению типичных представителей, произрастающих в затенении под защитой полога от прямых солнечных потоков. Удаление древесного яруса коренного фитоценоза приводит к смене доминантов напочвенного покрова. Уже в первые годы можно наблюдать «захват» территории обильным возобновлением *Populus tremula*. На многочисленных особо загущенных участках с возобновлением осины травяно-кустарничковый ярус отсутствует.

Равномерно-постепенная рубка в меньшей степени влияет на смену видового состава в живом напочвенном покрове. В травяно-кустарничковом ярусе происходят лишь незначительные изменения проективного покрытия и увеличения доли участия светолюбивых трав. Однако изреживание древостоя приводит к исчезновению мохово-лишайникового яруса. Это обусловлено как изменением микроклиматических условий, так и распространением более конкурентоспособных травянистых видов на образовавшихся открытых участках. Однако преобладание в составе живого напочвенного покрова лесных сциофитов и сциогелиофитов не дает возможности массового зарастания территории представителями луговых трав, образующих плотные дерники, которые в будущем могли бы препятствовать естественному возобновлению ели. Основную опасность представляет возобновление осины, которое на короткое время может привести к смене доминантов в данных растительных сообществах.

Список литературы

1. Мерзвинский Л. М. Изменения флористического состава рекреационных лесов Белорусского Поозерья // Мониторинг и оценка состояния растительного покрова: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–8 окт. 2003 г. / Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. Минск, 2003. С. 151–152.
2. Чмыр А. Ф. Влияние сплошных рубок на флору и фауну лесов // Лесное хозяйство. 2000. № 1. С. 32–33.
3. Сарнацкий В. В. Сукцессии лесной растительности и их значение в повышении эффективности использования почвенных и климатических ресурсов // Лесное и охотничье хозяйство. 2006. № 6. С. 23–26.
4. Петрикова Ж. М. Особенности сукцессионных процессов в еловых лесах и на их сплошных вырубках в условиях Беларуси // Труды Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси. Минск, 2008. Вып. 36. Ботаника (исследования). С. 185–199.
5. Беляева Н. В., Григорова О. И. Структурные изменения в живом напочвенном покрове после сплошных рубок, проведенных в комплексе с механической подсушкой осины // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. 2010. Вып. 190. С. 15–24.
6. Горчаковский П. М. Широколиственные леса и их место в растительном покрове Южного Урала. М.: Наука, 1972. 147 с.
7. Казанская Н. С., Ланина В. В., Марфенин Н. Н. Как сохранить природные леса // Природа. 1974. № 10. С. 14–20.
8. Рысин Л. П. Методика оценки последствий рекреационного лесопользования // Лесной вестник. 2000. № 6. С. 56–59.
9. Технические требования при лесоустройстве. Отвод и таксация лесосек в лесах Республики Беларусь. ТКП 622-2018 (33090). Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2018. 96 с.

10. Федорук А. Т. Ботаническая география. Полевая практика. Минск: Изд-во БГУ, 1976. 224 с.
11. Василевич В. И. Статистические методы в геоботанике. Л.: Наука, 1969. 232 с.
12. Зайцева Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.
13. Санников С. Н. Типы вырубок, динамика живого напочвенного покрова и его роль в последующем возобновлении сосны в Припышминских борах-зеленомошниках // Электронный архив УГЛТУ. URL: <http://elar.usfeu.ru> (дата обращения: 29.11.2020).
14. Маленко А. А., Малиновский А. А. Влияние возраста древостоя на изменения живого напочвенного покрова // Лесное хозяйство: Аграрный вестник Урала. 2011. № 10 (89). С. 78–81.
15. Сукцессии лесной растительности в связи с лесохозяйственной деятельностью / Г. Я. Климчик [и др.] // Труды БГТУ. 2011. № 1 (139): Лесное хоз-во. С. 92–96.
16. Забелло К. Л., Мироненко А. Я., Навойчик Л. Л. Изменение кислотности почвы и живого напочвенного покрова в зависимости от возраста сосновых насаждений // Лесоведение и лесное хозяйство. 1973. Вып. 7. С. 16–21.
17. Ермолова Л. С. Динамика травяного покрова в связи с лесоводственными процессами. М.: Наука, 1981. 137 с.
18. Рай Е. А., Бурова Н. В., Слаников С. И. Влияние оставления деревьев при сплошной рубке на флористическое разнообразие [Электронный ресурс] // Научная электронная библиотека «Киберленинка». URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 05.11.2020).

References

1. Merzhvinskiy L. M. Changes in the floristic composition of the recreational forests of the Belarusian Poozerie. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Monitoring i otsenka sostoyaniya rastitel'nogo pokrova"* [Materials of the International scientific and practical conference "Monitoring and assessment of the state of the vegetation cover"]. Minsk, 2003, pp. 151–152 (In Russian).
2. Chmyr A. F. Impact of clearcutting on flora and fauna of forests. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 2000, no. 1, pp. 32–33 (In Russian).
3. Sarnatskiy V. V. Successions of forest vegetation and their importance in increasing the efficiency of using soil and climatic resources. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2006, no. 6, pp. 23–26 (In Russian).
4. Petrikova Zh. M. Features of succession processes in spruce forests and on their clear felling in Belarus. *Trudy Instituta eksperimental'noy botaniki NAN Belarusi* [Proceedings of Institute of Experimental Botany of NAS of Belarus], 2008, issue 36: Botany (researches), pp. 185–199 (In Russian).
5. Belyaeva N. V., Grigoryeva O. I. Structural changes in the living ground cover after solid cuttings carried out in combination with mechanical drying of aspen. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the St. Petersburg Forestry Academy], 2010, issue 190, pp. 15–24 (In Russian).
6. Gorchakovskiy P. M. *Shirokolistvennyye lesa i ikh mesto v rastitel'nom pokrone Yuzhnogo Urala* [Broad-leaved forests and their place in the vegetation cover of the Southern Urals]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 147 p.
7. Kazanskaya N. S., Lanina V. V., Marfenin N. N. How to preserve natural forests. *Priroda* [Nature], 1974, no. 10, pp. 14–20 (In Russian).
8. Rysin L. P. Methodology for assessing the consequences of recreational forest use. *Lesnoy vestnik* [Forest bulletin], 2000, no. 6, pp. 56–59 (In Russian).
9. ТКР 622-2018 (33090). Technical requirements for forest management. Branch and taxation of cutting areas in the forests of the Republic of Belarus. Minsk, Ministry of Forestry of the Republic of Belarus Publ., 2018. 96 p. (In Russian).
10. Fedoruk A. T. *Botanicheskaya geografiya. Polevaya praktika* [Botanical geography. Field practice]. Minsk, BGU Publ., 1976. 224 p.
11. Vasilevich V. I. *Statisticheskiye metody v geobotanike* [Statistical methods in geobotany]. Leningrad, Nauka Publ., 1969. 232 p.
12. Zayceva G. N. *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 424 p.
13. Sannikov S. N. *Tipy vyrubok, dinamika zhivogo napochvennogo pokrova i yego rol' v posleduyushchem vozobnovlenii sosny v Pripyshminskikh borakh-zelenomoshnikakh* [Types of felling, the dynamics of live ground cover and its role in the subsequent renewal of pine in Pripishminskiy pine forest with green mosses]. Available at: <http://elar.usfeu.ru> (accessed 29.11.2020).
14. Malenko A. A., Malinovsky A. A. Influence of forest stand age on changes in live ground cover. *Lesnoye khozyaystvo: Agrarnyy vestnik Urala* [Forestry: Agricultural journal of Ural], 2011, no. 10, pp. 78–81 (In Russian).

15. Klimchik G. Ya., Pashkevich L. S., Shiman D. V., Muhurov L. I. Succession of forest vegetation in connection with forestry activities. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 1: Forestry, pp. 92–96 (In Russian).

16. Zabello K. L., Mironenko A. Ya., Navoichik L. L. The change in the acidity of soil and live ground cover depending on the age of pine stands, forest science and forestry. *Lesovedeniye i lesnoye khozyaystvo* [Forest and Woodworking Industry], 1973, issue 7, pp. 16–21 (In Russian).

17. Ermolova L. S. *Dinamika travyanogo pokrova v svyazi s lesovodstvennymi protsessami* [Dynamics of grass cover in connection with forestry processes]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 137 p.

18. Ray E. A., Burova N. V., Slastnikov S. I. *Vliyaniye ostavleniya derev'yev pri sploshnoy rubke na foristicheskoye raznoobraziye* [The effect of tree abandonment during clear cutting on floristic diversity]. Available at: <https://cyberleninka.ru> (accessed 05.11.2020).

Информация об авторах

Климчик Геннадий Яковлевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: les@belstu.by

Бельчина Олеся Григорьевна – магистрант кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: belchyna@belstu.by

Information about the authors

Klimchik Gennadiy Yakovlevich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: les@belstu.by

Bel'china Olesya Grigor'yevna – Master's degree student, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: belchyna@belstu.by

Поступила 26.11.2020

УДК 630*232:630*221.411:630*174.754

А. А. Прищепов

Белорусский государственный технологический университет

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛИНЕЙНОГО ПРИРОСТА ПОДРОСТА СОСНЫ ДО И ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ РУБКИ ОБНОВЛЕНИЯ

Для проведения исследований были заложены три пробные площади на территории лесного фонда Нарочанского лесничества ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз» в выделах с одинаковыми условиями произрастания (сосняк мшистый), где был проведен первый прием рубок обновления и присутствует подрост сосны обыкновенной предварительной генерации. Одна пробная площадь (контрольная) заложена в выделе с аналогичными условиями произрастания, где рубка обновления не проводилась. На каждой пробной площади были подобраны модельные особи подроста сосны предварительной генерации, у которых проводилось измерение годовых приростов в высоту за весь период жизни. Полученные данные были подвержены статистическому анализу с применением *t*-критерия Стьюдента для установления достоверности различий между значениями прироста соснового подроста.

В результате исследований было установлено, что в период жизни соснового подроста до проведения рубки обновления различия в показателях линейного прироста на экспериментальных и контрольной пробных площадях статистически не различимы. В период жизни после проведения рубки обновления значения линейного прироста на пробных площадях в среднем на 44,3% выше, чем на контрольной пробной площади. Также установлено, что проведение первого приема рубки обновления способствовало увеличению среднегодового линейного прироста подроста сосны обыкновенной на 33,5%.

Ключевые слова: рубка обновления, сосна обыкновенная, линейный прирост.

Для цитирования: Прищепов А. А. Сравнительный анализ показателей линейного прироста подроста сосны до и после проведения рубки обновления // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 13–19.

A. A. Prishchepov

Belarusian State Technological University

COMPARATIVE ANALYSIS OF INDICATORS OF LINEAR GROWTH OF PINE UNDERGROWTH BEFORE AND AFTER THE REGENERATION FELLING

To carrying out of research three trial plots were laid on the territory of the forest fund of the Vileika Experimental Forestry in the areas with the same growing conditions (*Pinetum pleuroziosum*), where the first reception of regeneration felling was carried out and there is an pine undergrowth preliminary generation. One trial plot (control) was laid in an area with similar growing conditions, where regeneration felling was not carried out. On each trial plot, model specimens of pine undergrowth of preliminary generation were selected, in which the annual height growths were measured for the entire life period. The data obtained were subjected to statistical analysis using the Student's *t*-test to establish the reliability of differences between the values of the growth of pine undergrowth.

As a result of the research, it was found that during the life of pine undergrowth before the regeneration felling, the differences in linear growth rates on the experimental and control trial plots are not statistically distinguishable. During the period of life after the regeneration felling, the values of linear growth on the trial plots are on average 44.3% higher than on the control trial plot. It was also found that the first reception of regeneration felling contributed to an increase in the average annual linear growth of pine undergrowth by 33.5%.

Key words: regeneration felling, *Pinus sylvestris* L., linear growth.

For citation: Prishchepov A. A. Comparative analysis of indicators of linear growth of pine undergrowth before and after the regeneration felling. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 13–19 (In Russian).

Введение. Текущий прирост деревьев является объективным показателем, который характеризует их рост и состояние, а также синтезирует результаты жизнедеятельности растительного

организма. Особое значение имеет этот показатель для оценки состояния подроста, так как древостой может оказывать на его формирование как отрицательное, так и положительное воздействие [1].

Прирост деревьев в сосняках является важнейшим таксационным показателем как отдельно стоящего дерева, так и всего древостоя. С помощью прироста можно оценить потенциальную продуктивность древостоя, добротность условий местопроизрастания, конкурентные взаимоотношения между компонентами насаждений [2].

Значительное влияние на прирост деревьев могут оказывать внешние факторы среды. Изменение прироста в пределах одного участка леса может различаться по всем годам либо иметь сходство в отдельные годы. Это может быть связано с особенностями климатических условий в различные годы [1].

В условиях ограниченности ресурсов линейный и радиальный приросты сосны вступают в конкурентные отношения за накопленные в древесине запасы питательных веществ. При этом линейный прирост играет роль доминанта по отношению к радиальному, пользуясь преимуществом в использовании запаса ресурсов. Данный механизм, носящий адаптивный характер, обуславливает продвижение кроны в доминирующей ярус даже в ущерб механической прочности ствола, обеспечивая дереву необходимый уровень инсоляции [3].

На величину прироста соснового подростка в высоту также влияет возрастной этап дерева. В возрасте самосева сосна обыкновенная имеет неразвитую корневую систему и небольшую фотосинтезирующую поверхность. По мере разрастания корней и увеличения поверхности хвои ассимилирующая способность растений становится больше, приводя к сравнительно быстрому приросту древесины [4].

Исследованиями было установлено, что прирост дерева по диаметру и высоте достаточно интенсивен в период с 10 до 30 лет, а после постепенно начинает убывать [5].

Наибольшая изменчивость прироста наблюдается в сосняках возраста прореживаний, уменьшаясь в возрасте проходных рубок. Это можно объяснить тем, что в возрасте прореживаний происходит наибольшая дифференциация деревьев как по высоте, так и по энергии роста. Поэтому данный этап развития характеризуется быстрым ростом деревьев в высоту [6, 7].

В некоторых исследованиях минимальный прирост подростка наблюдался в возрасте 4 лет, максимальный – в 10 лет. На открытом месте интенсивность роста тем больше, чем крупнее подрост. Под пологом рост идет более равномерно и не прослеживается строгая, как на открытом месте, закономерность, так как на прирост в высоту под пологом леса большое влияние оказывают лимитирующие факторы (свет, биогенные вещества, пожары и т. д.) [8, 9].

В возрасте молодняка влияние полноты на прирост по высоте прослеживается достаточно четко: где наименьшая полнота – прирост максимален, с наибольшей полнотой – минимален [1].

Почвенный фактор не оказывает существенного воздействия на изменчивость линейного прироста сосны. Геоморфология рельефа также не является основополагающим фактором, влияющим на изменчивость прироста [10].

Плохой рост подростка сосны под пологом взрослых древостоев обусловлен не только недостатком света, но и тем, что деревья материнского древостоя своими мощными и хорошо развитыми корнями перехватывают питательные вещества и влагу из почвы [8].

Снятие верхнего гумусового горизонта положительно влияет на появление самосева, однако отрицательно сказывается на дальнейшем формировании подростка, в то время как его перемишивание с минеральной частью почвы благоприятно воздействует как на появление самосева хозяйственно ценных пород, так и на его дальнейший рост и развитие. Поэтому годичный прирост по высоте оказывается больше у тех экземпляров подростка, которые формируются на межбороздном пространстве после проведения там минерализации почвы культиватором КЛБ-1,7 в агрегате с трактором МТЗ-82, в отличие от соснового подростка, растущего по дну борозды на обнаженной почве после проведения ее минерализации плугом ПКЛ-70. Разница в годичном приросте между вариантами достигает более 20 см [11].

Немаловажную роль на прирост деревьев в высоту играет генетический фактор. Формирование изменчивости годичного прироста в высоту в пределах отдельных местообитаний может определяться в первую очередь генетическими факторами, обуславливающими диапазон развития признака [12, 13].

После проведения рубок ухода в течение первых нескольких лет прирост сосны уменьшается по сравнению с деревьями таких же размеров до рубки ухода, что, возможно, связано с приспособлением к новым условиям, а впоследствии с накоплением ресурсов. Восстановление текущего прироста в высоту до уровня «до рубки» в чистых сосновых насаждениях мшистых происходит в течение 3–5 лет в зависимости от погодных условий [14, 15].

Основная часть. Для проведения исследований были подобраны выделы на территории лесного фонда Нарочанского лесничества ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз» с одинаковыми условиями произрастания (тип леса – сосняк мшистый, эдафотоп – А₂), в которых рубка обновления проводилась в один и тот же год. Обязательным условием являлось наличие подростка сосны обыкновенной предварительной генерации (сформированного до момента проведения рубки).

Таблица 1

Значения линейного прироста подростка сосны обыкновенной до проведения рубки обновления

Номер ПП	Средний возраст, лет	Средняя высота, см	Средний линейный прирост по годам, см					Средний линейный прирост за период, см	Сравнение с контролем, %
			2009	2010	2011	2012	2013		
1	15,3	246,1	10,4 ± 3,25	13,9 ± 5,32	16,3 ± 4,85	15,8 ± 4,04	15,8 ± 4,51	14,4 ± 4,39	+6,9
2	14,8	237,4	10,4 ± 3,44	15,6 ± 6,13	17,7 ± 5,27	16,7 ± 4,33	16,1 ± 3,28	15,3 ± 4,49	+12,4
3	15,6	246,7	10,6 ± 3,52	14,6 ± 5,75	16,9 ± 5,30	15,7 ± 4,37	15,7 ± 2,74	14,7 ± 4,33	+8,8
1к	15,1	163,2	11,5 ± 3,25	14,0 ± 5,32	11,5 ± 1,82	12,5 ± 3,85	17,5 ± 5,16	13,4 ± 3,88	–

Всего было заложено четыре пробные площади (ПП). В трех из них в 2013 г. был проведен первый прием рубки обновления. Четвертая пробная площадь является контрольной.

Пробная площадь № 1 заложена в 83-м квартале 3-м выделе, интенсивность рубки – 18%.

Пробная площадь № 2 заложена в 103-м квартале 8-м выделе, интенсивность рубки – 21%.

Пробная площадь № 3 заложена в 103-м квартале 17-м выделе, интенсивность рубки – 17%.

Контрольная пробная площадь № 1к заложена в 82-м квартале 12-м выделе. Рубка обновления здесь не проводилась.

На каждой пробной площади были подобраны 20 модельных особей подростка сосны, у которых с помощью мерной рулетки измерялись общая высота и ежегодный линейный прирост. Возраст определялся глазомерно путем подсчета количества мутовок.

Результаты измерений были разделены на два массива данных: «до проведения рубки обновления» (с 2009 по 2013 г.) и «после проведения рубки обновления» (период с 2014 по 2020 г.). Полученные значения обрабатывались в Microsoft Excel с применением режима «Описательная статистика», позволяющего сгенерировать одномерный статистический отчет по основным показателям: среднее значение прироста в высоту за каждый год, стандартное отклонение от среднего значения величины прироста и средний линейный прирост за весь рассматриваемый период [16].

Результаты описательной статистики данных измерений линейного прироста на пробных площадях до проведения рубки обновления представлены в табл. 1.

Как показано в табл. 1, до проведения рубки обновления средние значения линейного прироста на экспериментальных и контрольной пробных площадях практически не отличаются. Максимальное превышение над контролем наблюдается на ПП 2 и составляет 12,4%.

Результаты описательной статистики данных измерений линейного прироста на пробных площадях после проведения рубки обновления представлены в табл. 2.

Проанализировав показатели табл. 2, можно заметить, что значения линейного прироста соснового подростка на пробных площадях с проведенным первым приемом рубки обновления значительно (до 45,4%) превышают показатели линейного прироста на контрольной пробной площади.

Для дальнейшего сравнительного анализа привели значения линейного прироста по трем пробным площадям к общим средним значениям, чтобы сравнить их с показателями линейного прироста на контрольной пробной площади, а также установить, являются ли наблюдаемые различия в значениях линейных приростов в период после проведения первого приема рубки обновления статистически достоверными.

Таблица 2

Значения линейного прироста подростка сосны обыкновенной после проведения рубки обновления

Номер ПП	Средний возраст, лет	Средняя высота, см	Средний линейный прирост по годам, см							Средний линейный прирост за период, см	Сравнение с контролем, %
			2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
1	15,3	246,1	18,1 ± 4,06	21,8 ± 5,39	17,2 ± 6,03	18,7 ± 6,82	19,8 ± 6,50	27,5 ± 6,69	35,2 ± 5,35	22,6 ± 5,84	+45,1
2	14,8	237,4	17,1 ± 4,17	22,3 ± 5,51	16,0 ± 6,22	17,7 ± 6,38	17,6 ± 6,78	25,5 ± 7,52	34,2 ± 7,17	21,5 ± 6,25	+42,3
3	15,6	246,7	16,6 ± 3,53	22,1 ± 5,03	17,4 ± 5,68	19,6 ± 6,83	19,3 ± 5,94	27,9 ± 7,28	35,8 ± 6,84	22,7 ± 5,88	+45,4
1к	15,1	163,2	11,0 ± 2,47	11,5 ± 3,10	12,0 ± 1,32	10,0 ± 1,26	15,0 ± 3,80	13,5 ± 1,64	13,9 ± 1,57	12,4 ± 2,16	–

Таблица 3

Сводная таблица средних значений годового линейного прироста на пробных площадях

Номер ПП	Линейный прирост по годам, см											
	до проведения рубки обновления					после проведения рубки обновления						
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ПП 1	10,4	13,9	16,3	15,8	15,8	18,1	21,8	17,2	18,7	19,8	27,5	35,2
ПП 2	10,4	15,6	17,7	16,7	16,1	17,1	22,3	16,0	17,7	17,6	25,5	34,2
ПП 3	10,6	14,6	16,9	15,7	15,7	16,6	22,1	17,4	19,6	19,3	27,9	35,8
ППс (среднее)	10,5	14,7	17,0	16,1	15,9	17,3	22,1	16,9	18,7	18,9	27,0	35,1
ПП 1к (контроль)	11,5	14,0	11,5	12,5	17,5	11,0	11,5	12,0	10,0	15,0	13,5	13,9

Данные средних значений годового линейного прироста на пробных площадях представлены в табл. 3.

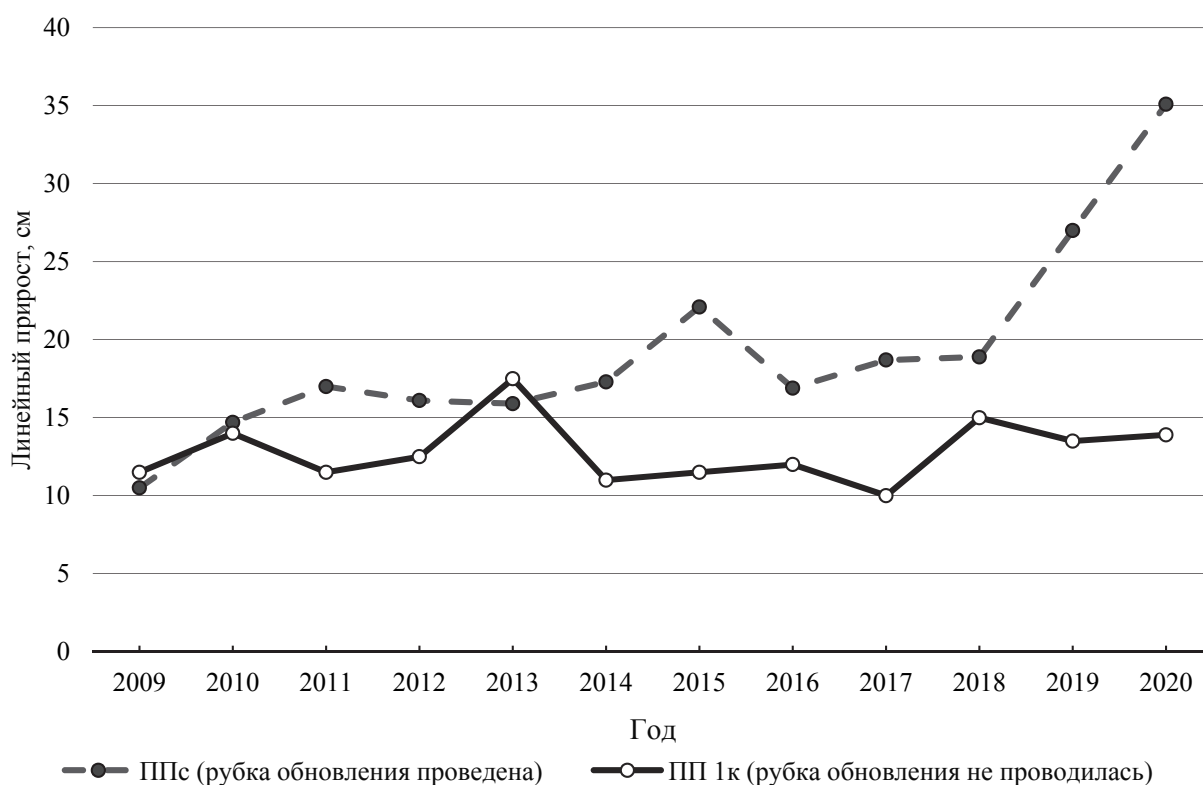
Используя средние значения годового линейного прироста по трем пробным площадям (ППс) и значения линейного прироста на контрольной пробной площади (ПП 1к) из табл. 3 был построен график изменения линейного прироста подростка сосны на пробных площадях по годам. Этот график представлен на рисунке.

Данный рисунок позволяет увидеть, как с течением времени после проведения рубки обновления (2013 г.) величина годового линейного прироста постепенно увеличивается в отличие от контрольной пробной площади, где показатели прироста остались примерно на том же уровне, что и в период 2009–2013 гг.

Чтобы установить, являются ли наблюдаемые различия между значениями прироста на пробных площадях с проведенной рубкой обновления и значениями прироста на контрольной пробной площади статистически значимыми, данные подверглись статистическому анализу с помощью пакета «Анализ данных» в Microsoft Excel [16].

Так как сравниваемые показатели прироста исследуются в пределах одного периода времени, но на разных участках, то анализируемые выборки в данном случае являлись независимыми. Поэтому для анализа использовался двухвыборочный *t*-критерий Стьюдента с различными дисперсиями [17].

Результаты статистического анализа данных по периодам представлены в табл. 4.



Динамика линейного прироста подростка сосны по годам на пробных площадях

Таблица 4

Результаты статистического анализа данных по периодам в Microsoft Excel

Статистический показатель	Период			
	2009–2013 гг.		2014–2020 гг.	
	ППс	ПП 1к	ППс	ПП 1к
Среднее	14,79	13,35	22,24	12,38
Дисперсия	6,56	6,30	44,11	3,09
Наблюдения	5	5	7	7
Гипотетическая разность средних	0		0	
df	8		7	
<i>t</i> -Статистика	0,89797		3,79617	
$P(T \leq t)$ одностороннее	0,19771		0,00337	
<i>t</i> критическое одностороннее	1,85955		1,89458	
$P(T \leq t)$ двухстороннее	0,39542		0,00675	
<i>t</i> критическое двухстороннее	2,30600		2,36462	

В табл. 4 отражено, что в период 2009–2013 гг. (до проведения рубки обновления) значение показателя «*t*-статистика» составляет 0,898, что меньше значения *t* критического как одностороннего (1,860), так и двухстороннего (2,310). Данный факт говорит о том, что присутствующие незначительные различия в приростах между экспериментальными и контрольной пробными площадями в период до проведения рубки являются случайными и средние значения прироста не считаются достоверно отличающимися друг от друга, т. е. значения приростов принадлежат к одной совокупности данных и статистически не различимы.

Следовательно, на основании использования двухвыборочного *t*-критерия Стьюдента можно сделать вывод, что до проведения рубки обновления подрост сосны на всех пробных площадях имеет одинаковый темп роста в высоту [17].

Совершенно иная ситуация наблюдается в период 2014–2020 гг. (после проведения рубки обновления). Здесь значение показателя «*t*-статистика» (3,796) выше значения *t* критического как одностороннего (1,895), так и двухстороннего (2,365). Это значит, что различия между значениями приростов на пробных площадях с проведенной рубкой обновления и значениями приростов на контрольной пробной площади не случайные и средние значения приростов достоверно различаются между собой.

Проанализировав данные различия, было определено, что показатели прироста на пробных площадях в среднем на 44,3% превышают аналогичные показатели на контроле.

Более того, учитывая, что *t*-статистика больше *t* критического двухстороннего, наблюдаемые различия между средними значениями

приростов являются статистически достоверными на уровне значимости $\alpha = 0,05$, т. е. на 95%-ном доверительном уровне [17].

Сравнение между собой средних значений прироста в пределах пробных площадей, пройденных рубками обновления, до и после проведения рубки показало, что в результате проведения первого приема рубки обновления средний годичный линейный прирост подрост сосны обыкновенной увеличился на 33,5%.

На основании вышеизложенного и результатов анализа с применением *t*-критерия Стьюдента можно сделать вывод об эффективности проведения рубок обновления в сосняках мшистых и их влиянии на величину показателя среднего годичного линейного прироста соснового подростка.

Закключение. В результате проведения исследований в сосняках мшистых Нарочанского лесничества ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз» было установлено следующее:

1) рубки обновления оказывают положительное влияние на формирование и темп роста в высоту подростка сосны обыкновенной;

2) проведение первого приема рубки обновления в сосняке мшистом способствует увеличению среднегодичного линейного прироста подростка сосны обыкновенной предварительной генерации на 33,5%;

3) на 95%-ном доверительном уровне установлено, что средние значения линейного прироста подростка сосны обыкновенной в насаждениях, пройденных рубками обновления, в среднем на 44,3% выше, чем в аналогичных по условиям произрастания насаждениях, где рубка обновления не проводилась.

Список литературы

1. Ангалыт Е. М. Анализ прироста соснового подростка и молодняка в сосново-ясеневых культурах // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 6 (44). С. 31–34.

2. Мачык М. Ш. Прирост подростка сосны в высоту в условиях Усинского лесничества // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 6 (62). С. 255–258.
3. Кухта А. Е. Линейный и радиальный приросты сосны обыкновенной в Волжско-Камском и Центрально-Лесном государственных природных заповедниках // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2010. № 3. С. 88–93.
4. Янбаев Ю. А. Динамика роста подростка сосны обыкновенной на неосваиваемых землях // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (72). С. 150–151.
5. Басакова И. Н. Ход роста искусственных насаждений сосны обыкновенной в условиях Бузулукского бора // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 2 (64). С. 50–53.
6. Кожевников А. М. Изменение текущего прироста в ельниках при разной степени их изреживания // Лесное хозяйство. 1973. № 2. С. 34–38.
7. Луганский Н. А. Лесоведение: учебник. Екатеринбург: УГЛТУ, 2010. 432 с.
8. Тагиров В. В. Изменчивость годичного прироста в высоту подростка сосны обыкновенной в разных лесорастительных условиях // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. № 2. С. 139–143.
9. Мачык М. Ш. Ход роста молодых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Хвойные бореальной зоны. 2018. Т. 36, № 4. С. 316–321.
10. Романовская А. А. Изменчивость линейного прироста посадок и естественного возобновления сосны обыкновенной на территории Пензенской области // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2017. № 1. С. 4–13.
11. Борко А. Ч. Влияние минерализации почвы на текущий прирост соснового подростка по высоте после проведения полосно-постепенных рубок // Труды БГТУ. № 1: Лесное хозяйство. 2013. С. 61–63.
12. Тагиров В. В. О средовой и генетической составляющих различий прироста в высоту у сосны обыкновенной на заброшенных сельскохозяйственных землях // Вестник Башкирского университета. 2015. Т. 20, № 3. С. 889–891.
13. Тагиров В. В. Об индивидуальной изменчивости прироста в высоту у подростка сосны обыкновенной на заброшенных сельскохозяйственных землях // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10 (185). С. 97–99.
14. Парамонов Е. Г. Интенсивность роста подростка сосны в пригородных лесах // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 9 (95). С. 46–48.
15. Лековская М. В. Влияние рубок ухода на текущий прирост в высоту сосняков мшистых Барановичского лесхоза // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2014. № 39. С. 69–72.
16. Макарова Н. В. Статистика в Excel: учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
17. Борздова Т. В. Основы статистического анализа и обработка данных с применением Microsoft Excel: учеб. пособие. Минск: ГИУСТ БГУ, 2011. 75 с.

References

1. Angal't E. M. Analysis of the increment of pine undergrowth and young growth in pine-ash crops. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State Agrarian University], 2013, no. 6 (44), pp. 31–34 (In Russian).
2. Machyk M. Sh. Growth of pine undergrowth in height in the conditions of Usinsky forestry. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii* [State-of-the-art research and innovation], 2016, no. 6 (62), pp. 255–258 (In Russian).
3. Kukhta A. E. Linear and radial increments of pine in the Volzhsko-Kamsky and Central Forest State Natural Reserves. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Forest Bulletin], 2010, no. 3, pp. 88–93 (In Russian).
4. Yanbaev Yu. A. Growth dynamics of pine undergrowth on uncultivated lands. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State Agrarian University], 2018, no. 4 (72), pp. 150–151 (In Russian).
5. Basakova I. N. Growth course of artificial plantations of pine in the conditions of the Buzuluk pine forest. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State Agrarian University], 2017, no. 2 (64), pp. 50–53 (In Russian).
6. Kozhevnikov A. M. Changes in the current growth in spruce forests at different degrees of thinning. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 1973, no. 2, pp. 34–38 (In Russian).

7. Luganskiy N. A. *Lesovedeniye: uchebnik* [Forestry: textbook]. Ekaterinburg, UGLTU Publ., 2010, 432 p.
8. Tagirov V. V. Variability of annual growth in height of pine undergrowth in different forest growing conditions. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir State Agrarian University], 2018, no. 2, pp. 139–143 (In Russian).
9. Machyk M. Sh. Growth progress of young pine trees (*Pinus sylvestris* L.). *Khvoynnye boreal'noy zony* [Boreal conifers], 2018, vol. 36, no. 4, pp. 316–321 (In Russian).
10. Romanovskaya A. A. Variability of linear growth of plantings and natural regeneration of pine in the Penza region. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry], 2017, no. 1, pp. 4–13 (In Russian).
11. Borko A. Ch. Influence of soil mineralization on the current increment of pine undergrowth in height after strip-gradual felling. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], no. 1: Forestry, 2013, pp. 61–63 (In Russian).
12. Tagirov V. V. On the environmental and genetic components of the differences in height gain in pine on abandoned agricultural lands. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir University], 2015, vol. 20, no. 3, pp. 889–891 (In Russian).
13. Tagirov V. V. On the individual variability of the increase in height in Scots pine undergrowth on abandoned agricultural lands. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State University], 2015, no. 10 (185), pp. 97–99 (In Russian).
14. Paramonov E. G. Growth rate of pine undergrowth in suburban forests. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Altai State Agrarian University Bulletin], 2012, no. 9 (95), pp. 46–48 (In Russian).
15. Lekovskaya M. V. Effect of thinning on the current growth in height of pinetum pleuroziosum forests in Baranovichi forestry. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forestry complex], 2014, no. 39, pp. 69–72 (In Russian).
16. Makarova N. V. *Statistika v Excel: uchebnoye posobiye* [Statistics in Excel: a tutorial]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2002. 368 p.
17. Borzdova T. V. *Osnovy statisticheskogo analiza i obrabotka dannykh s primeneniym Microsoft Excel: uchebnoye posobiye* [Basics of statistical analysis and data processing using Microsoft Excel: a tutorial]. Minsk, GIUST BGU Publ., 2011. 75 p.

Информация об авторе

Прищепов Алексей Александрович – магистр сельскохозяйственных наук, аспирант кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alexey-fox94@mail.ru

Information about the author

Prishchepov Aleksey Aleksandrovich – Master of Agriculture, PhD student, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alexey-fox94@mail.ru

Поступила 12.10.2020

УДК 630*114:630*174.754:630*221.411

А. А. Прищепов, К. В. Лабоха

Белорусский государственный технологический университет

**ИЗМЕНЕНИЯ В ЖИВОМ НАПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ
СОСНЯКОВ МШИСТЫХ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ
ПЕРВОГО ПРИЕМА РУБКИ ОБНОВЛЕНИЯ**

Для проведения исследований были заложены семь пробных площадей в лесном фонде ГЛХУ «Бегомльский лесхоз», ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз», ГЛХУ «Пуховичский лесхоз» и ГЛХУ «Ивьевский лесхоз» в выделах, где был проведен первый прием рубок обновления. На каждой пробной площади закладывались 25 учетных площадок (раункиеров) размером 1×1 м, на которых проводился учет всех видов растений по травяно-кустарничковому и мохово-лишайниковому ярусам. Для каждого вида были определены проективное покрытие, коэффициент встречаемости.

В камеральных условиях для живого напочвенного покрова рассчитывались такие статистические показатели, как видовое богатство, видовая насыщенность и индекс Симпсона с целью установления их зависимости от срока давности проведения рубки обновления.

Было установлено, что с увеличением срока давности проведения рубки обновления показатель видовой насыщенности постепенно снижается на протяжении 6–7 лет и в живом напочвенном покрове происходит смещение от равных долей участия всех видов к доминированию одного или нескольких видов.

Ключевые слова: рубка обновления, сосняк, живой напочвенный покров.

Для цитирования: Прищепов А. А., Лабоха К. В. Изменения в живом напочвенном покрове сосняков мшистых после проведения первого приема рубки обновления // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 20–25.

A. A. Prishchepov, K. V. Labokha

Belarusian State Technological University

**CHANGES IN THE FIELD LAYER OF *PINETUM PLEUROZIOSUM*
AFTER THE FIRST RECEPTION OF REGENERATION FELLING**

To carrying out of research seven trial plots were laid in the forest fund of the Begoml Forestry, the Vileika Experimental Forestry, the Pukhovichi Forestry and the Ivye Forestry in the areas where the first reception of regeneration felling was carried out. On each trial plot, 25 discount areas 1×1 m in size were laid, on which all species of plants were counted along the grass-shrub and moss-lichen layers. For each species, projective cover and occurrence rate were determined.

In the office environment for field layer, such statistical indicators as species richness, species saturation and Simpson's index were calculated in order to establish their dependence on the limitation period of the regeneration felling.

It was found that with an increase in the limitation period of regeneration felling, the indicator of species saturation gradually decreases over 6–7 years, and in the field layer there is a shift from equal shares of all species to the dominance of one or several species.

Key words: regeneration felling, pinery, field layer.

For citation: Prishchepov A. A., Labokha K. V. Changes in the field layer of *Pinetum pleuroziosum* after the first reception of regeneration felling. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 20–25 (In Russian).

Введение. Проведение рубок обновления в сосняках влияет на видовой состав живого напочвенного покрова. Замечено, что интенсивность рубки может влиять на видовое разнообразие и способствовать увеличению доли фитомассы лесных видов в живом напочвенном покрове [1].

В подзоне предлесостепных сосново-березовых лесов рубки обновления являются эффективным способом омоложения насаждения без

использования искусственного восстановления леса. Установлено, что после проведения рубки обновления в живом напочвенном покрове может насчитываться от 10 до 30 видов. Максимальное количество видов наблюдается в основном насаждении с полнотой 0,6 после проведения двух приемов рубки обновления [2].

Задернение почвы негативно влияет на укоренение и прорастание подроста сосны [1].

Также для прорастания семян не менее важными показателями являются влажность и мощность лесной подстилки, ее толщина, степень разложения и плотность [3].

Наравне с этим на внедрение и дальнейший рост самосева оказывает большое влияние мощность развития живого напочвенного покрова и его видовой состав [4].

Замечено, что через пять лет после проведения рубки обновления происходит значительное снижение видового разнообразия, в то время как общая масса живого напочвенного покрова увеличивается [5].

После проведения рубки обновления в сосняках наблюдается увеличение доли лекарственных, пищевых и кормовых видов растений [6].

Экспериментально было выявлено, что проведение двухприемной рубки обновления способствует увеличению доли медоносных видов растений до 47% [1].

Исследования показали, что проведение рубки обновления площадковым способом (при размере вырубаемых площадок 0,2 га) способствует накоплению фитомассы живого напочвенного покрова до 2560 кг/га. Если размер вырубаемых площадок не превышает 0,4 га, то доминирующее положение в живом напочвенном покрове занимают лесные виды растений (до 80% от общей фитомассы живого напочвенного покрова) [7].

При размере вырубаемых участков 0,3 га наблюдается максимальное значение надземной фитомассы. Если увеличить размер вырубаемых участков более 0,3 га, то это приведет к увеличению в два раза видового разнообразия [8, 9].

Выявлено, что максимальное количество видов в живом напочвенном покрове наблюдается спустя 14 лет после проведения рубки обновления интенсивностью 35%. Полнота насаждения после рубки составила 0,4 [10].

Такие виды как иван-чай узколистый, вороний глаз и копытень европейский встречались только в тех сосняках, где интенсивность рубки обновления была до 40%, а полнота насаждения после рубки была от 0,4 до 0,6 [2].

Проведение рубки обновления вне зависимости от ее интенсивности способствует увеличению в живом напочвенном покрове доли ягодниковых видов растений (черника, брусника, земляника лесная), что приводит к увеличению рекреационной привлекательности насаждения. Огромное воздействие на живой напочвенный покров оказывают антропогенные факторы [11].

Эстетическая привлекательность насаждения в рекреационных сосняках во многом зависит от живого напочвенного покрова. Установлено, что после проведения рубки обновления

происходит увеличение количества ягодных и цветущих растений, что способствует увеличению рекреационной привлекательности. В связи с этим на этапе проектирования мероприятий по повышению продуктивности лесов необходимо учитывать данные о живом напочвенном покрове [8, 12].

Основная часть. Для исследований были заложены семь пробных площадей (ПП) в сосняках мшистых в лесном фонде ГЛХУ «Бегомльский лесхоз», ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз», ГЛХУ «Пуховичский лесхоз» и ГЛХУ «Ивьевский лесхоз» в выделах, где был проведен первый прием рубки обновления.

Пробная площадь № 1 заложена в 77-м квартале 59-м выделе Бегомльского лесничества ГЛХУ «Бегомльский лесхоз». Ее площадь составила 0,12 га. Рубка обновления интенсивностью 22% здесь проведена в 2018 г.

Пробная площадь № 2 заложена в 77-м квартале 62-м выделе Бегомльского лесничества ГЛХУ «Бегомльский лесхоз». Размер данной пробной площади составил 0,12 га. Рубка обновления интенсивностью 23% в данном выделе проведена в 2017 г.

Пробная площадь № 3 заложена в 19-м квартале 1-м выделе Шацкого лесничества ГЛХУ «Пуховичский лесхоз». Размер данной пробной площади составил 0,12 га. Рубка обновления интенсивностью 20% в данном выделе проведена в 2014 г.

Пробная площадь № 4 заложена в 155-м квартале 9-м выделе Нарочанского лесничества ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз». Размер данной пробной площади составил 0,12 га. Рубка обновления интенсивностью 24% в данном выделе проведена в 2013 г.

Пробная площадь № 5 заложена в 83-м квартале 3-м выделе Нарочанского лесничества ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз». Размер данной пробной площади составил 0,12 га. Рубка обновления интенсивностью 18% в данном выделе проведена в 2013 г.

Пробная площадь № 6 заложена в 93-м квартале 14-м, 16-м выделах Ивьевского лесничества ГЛХУ «Ивьевский лесхоз». Размер данной пробной площади составил 0,12 га. Рубка обновления интенсивностью 20% здесь проведена в 2012 г.

Пробная площадь № 7 заложена в 16-м квартале 64-м выделе Шацкого лесничества ГЛХУ «Пуховичский лесхоз». Размер данной пробной площади – 0,12 га. Рубка обновления интенсивностью 20% здесь проведена в 2012 г.

Для исследования живого напочвенного покрова на каждой пробной площади закладывались по 25 учетных площадок (раункиеров) размером 1×1 м [13].

На каждом раункиере учитывались все виды по травяно-кустарничковому и мохово-лишайниковому ярусам [14, 15]. Для каждого вида определялись проективное покрытие и коэффициент встречаемости.

Видовое разнообразие живого напочвенного покрова на пробных площадях представлено в табл. 1.

В камеральных условиях для живого напочвенного покрова были рассчитаны такие статистические показатели, как видовое богатство, видовая

насыщенность и индекс Симпсона с целью установления их зависимости от срока давности проведения первого приема рубки обновления.

Результаты статистической обработки данных учета живого напочвенного покрова на пробных площадях представлены в табл. 2.

Используя данные табл. 2, проанализировали зависимость показателя видовой насыщенности от срока давности проведения рубки обновления.

Таблица 1

Видовое разнообразие живого напочвенного покрова на пробных площадях

Вид	ПП 1		ПП 2		ПП 3		ПП 4		ПП 5		ПП 6		ПП 7	
	проективное покрытие, %	встречаемость, %	проективное покрытие, %	встречаемость, %	проективное покрытие, %	встречаемость, %	проективное покрытие, %	встречаемость, %	проективное покрытие, %	встречаемость, %	проективное покрытие, %	встречаемость, %	проективное покрытие, %	встречаемость, %
Травяно-кустарничковый ярус														
<i>Achillea millefolium</i> L.	<1	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Asarum europaeum</i> L.	–	–	–	–	1	20	–	–	–	–	–	–	2	32
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hill.	3	16	5	28	–	–	10	48	4	40	–	–	–	–
<i>Carex digitata</i> L.	–	–	–	–	7	96	–	–	–	–	–	–	2	32
<i>Carex hirta</i> L.	2	12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	<1	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Convallaria majalis</i> L.	–	–	<1	8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Deschampsia cespitosa</i> L.	<1	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Dryopteris spinulosa</i> (Sw.) Watt	–	–	–	–	2	24	–	–	–	–	–	–	2	16
<i>Festuca ovina</i> L.	10	40	20	84	–	–	5	32	1	16	5	40	1	20
<i>Fragaria vesca</i> L.	–	–	–	–	6	84	–	–	–	–	1	20	2	32
<i>Hieracium pilosella</i> L.	2	8	<1	8	–	–	<1	8	–	–	4	40	–	–
<i>Hieracium sylvularum</i> L.	–	–	–	–	4	52	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Ledum palustre</i> L.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Lupinus polyphyllus</i> L.	2	16	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd	<1	8	<1	12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Melampyrum nemorosum</i> L.	5	52	8	76	–	–	2	24	4	48	–	–	–	–
<i>Milium effusum</i> L.	–	–	<1	8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Oxalis acetosella</i> L.	–	–	–	–	6	72	–	–	–	–	–	–	3	52
<i>Rubus saxatilis</i> L.	1	8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Rumex acetosella</i> L.	–	–	<1	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Thymus serpyllum</i> L.	<1	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	1	12	10	56	7	60	6	32	11	32	3	32	58	100
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	29	72	22	96	2	36	20	88	22	72	6	52	2	32
<i>Veronica chamaedrys</i> L.	<1	4	2	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Veronica officinalis</i> L.	<1	8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Мохово-лишайниковый ярус														
<i>Dicranum polysetum</i> (Brid.)	20	60	2	36	–	–	6	64	6	28	5	32	2	20
<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Schimp.	38	64	80	92	61	100	2	16	–	–	8	52	–	–
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.	24	68	9	58	18	68	90	100	82	100	64	100	11	64
<i>Ptilium crista-castrensis</i> (Hedw.) De Not	–	–	–	–	–	–	–	–	7	20	–	–	–	–

Таблица 2

Статистические показатели учета живого напочвенного покрова на пробных площадях

Номер ПП	Год рубки	Интенсивность рубки, %	Видовое богатство, шт.	Видовая насыщенность, видов/га	Индекс Симпсона
1	2018	22	19	158	0,17
2	2017	23	14	117	0,29
3	2014	20	10	83	0,33
4	2013	24	9	75	0,44
5	2013	18	8	67	0,40
6	2012	20	9	75	0,46
7	2012	20	11	92	0,43

Видовая насыщенность – это показатель, который определяется как среднее число видов на единицу площади (на 1 м² или на 1 га) [16].

График зависимости видовой насыщенности от срока давности рубки обновления представлен на рис. 1.

Как показано на рис. 1, с увеличением срока давности рубки обновления видовая насыщенность снижается, т. е. со временем количество видов на единицу площади становится меньше. Данная тенденция наблюдается на протяжении 6–7 лет после проведения первого приема рубки. Затем снижение показателя видовой насыщенности прекращается и в соответствии с трендом начинает постепенно увеличиваться. Согласно рис. 1, значение величины достоверности

аппроксимации ($R^2 = 0,9508$) близко к 1, что говорит о минимальной ошибке аппроксимации и высокой точности прогноза [17].

Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что если количество видов снижается, то доля участия какого-либо вида может увеличиваться. Для проверки данной гипотезы рассчитывался индекс Симпсона.

Индекс Симпсона – это показатель, который позволяет выявить степень доминирования одного или нескольких видов в сообществе. Значение индекса бывает максимальным в случае доминирования только одного вида и стремится к нулю при равенстве долей участия всех видов [16].

График зависимости индекса Симпсона от срока давности рубки обновления представлен на рис. 2.

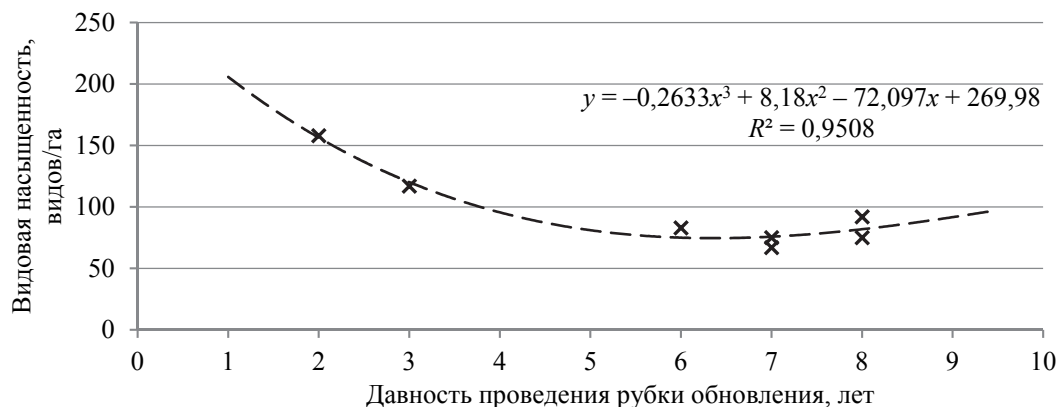


Рис. 1. График зависимости видовой насыщенности от срока давности рубки обновления

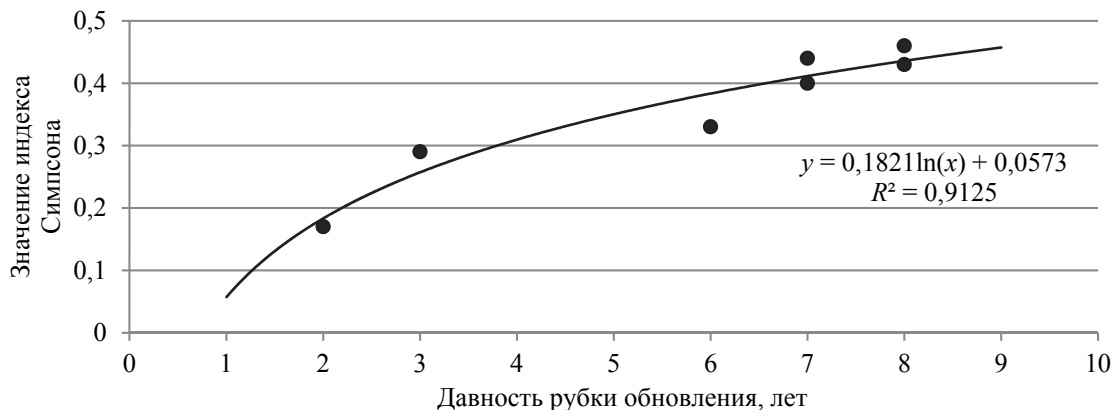


Рис. 2. График зависимости индекса Симпсона от срока давности рубки обновления

Рис. 2 показывает, что значение индекса Симпсона постепенно увеличивается с увеличением срока давности проведения рубки. Это свидетельствует о том, что в живом напочвенном покрове спустя время после проведения первого приема рубки обновления начинает происходить смещение от равного распределения долей участия всех видов к доминированию одного вида.

Заключение. В результате исследования живого напочвенного покрова было установлено, что после проведения первого приема

рубки обновления в сосняках мшистых показатель видовой насыщенности уменьшается на протяжении 6–7 лет, спустя которые снижение прекращается и количество видов на единицу площади начинает постепенно увеличиваться.

Также было выявлено, что с увеличением срока давности проведения первого приема рубки обновления в живом напочвенном покрове наблюдается смещение от равных долей участия всех видов к доминированию одного или нескольких видов.

Список литературы

1. Залесов С. В. Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь», и реакция их компонентов на проведение рубок обновления. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. 278 с.
2. Бачурина С. В. Влияние рубок обновления в сосняках на видовой состав и надземную фитомассу живого напочвенного покрова // Аграрный вестник Урала: сб. науч. тр. Урал. гос. аграрн. ун-та. 2016. № 1 (143). С. 54–58.
3. Санников С. Н. Экология естественного возобновления сосны под пологом леса. М.: Наука, 1985. 152 с.
4. Лабоха К. В. Лесоведение: учеб. пособие. Минск: БГТУ, 2018. 264 с.
5. Магасумова А. Г. Лесоводственно-экономическая эффективность рубки обновления в сосняках Среднего Урала: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03 // Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург, 2004. 24 с.
6. Залесов С. В. Распределение надземной фитомассы живого напочвенного покрова по хозяйственному значению в рекреационных сосняках, пройденных рубками обновления // Научные ведомости. Сер.: Естественные науки. Вып. 40. 2017. № 18 (267). С. 87–93.
7. Магасумова А. Г. Влияние размера вырубаемых площадок при рубках обновления на распределение надземной фитомассы живого напочвенного покрова по ценотипам // Леса России и хозяйство в них. 2016. Вып. 2 (57). С. 42–47.
8. Магасумова А. Г. Влияние рубок обновления на лесную подстилку в сосновых насаждениях ГБУ «Курганский лесопожарный центр» // Леса России и хозяйство в них. 2016. Вып. 3 (58). С. 20–26.
9. Сидоренков Г. В. Видовой состав и надземная фитомасса живого напочвенного покрова при рубках обновления в сосняках площадковым способом // Аграрное образование и наука. 2016. № 3. С. 25.
10. Бачурина С. В. Влияние рубок обновления в сосняках на живой напочвенный покров // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1. С. 9.
11. Бачурина А. В. Надземная фитомасса ягодниковых видов живого напочвенного покрова в рекреационных сосняках, пройденных рубками обновления // Леса России и хозяйство в них. 2017. Вып. 1 (60). С. 33–40.
12. Луганский Н. А. Ландшафтные рубки // Лесн. хоз-во. 2007. № 6. С. 20–22.
13. Воронов А. Г. Геоботаника: учеб. пособие. 2-е изд. М.: Высш. шк., 1973. 384 с.
14. Пашкевич Л. С. Батаніка: дапаможнік. Мінск: БДТУ, 2009. 96 с.
15. Парфенов В. И. Определитель высших растений Беларуси. Минск: Дизайн ПРО, 1999. 472 с.
16. Мэгарран А. Е. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 181 с.
17. Борздова Т. В. Основы статистического анализа и обработка данных с применением Microsoft Excel: учеб. пособие. Минск: ГИУСТ БГУ, 2011. 75 с.

References

1. Zalesov S. V. *Sostoyaniye lesnykh nasazhdeniy, podverzhennykh vliyaniyu promyshlennykh pollyutantov ZAO "Karabashmed", i reaktsiya ikh komponentov na provedeniye rubok obnovleniya* [The state of forest stands subject to the influence of industrial pollutants of Karabashmed CJSC, and the reaction of their components to regeneration felling]. Ekaterinburg, Ural State Forestry University Publ., 2017. 278 p.
2. Bachurina S. V. The effect of regeneration felling in pine forests on the species composition and above-ground phytomass of field layer. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2016, no. 1 (143), pp. 54–58 (In Russian).
3. Sannikov S. N. *Ekologiya yestestvennogo vozobnovleniya sosny pod pologom lesa* [Ecology of natural regeneration of pine under the forest canopy]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 152 p.

4. Labokha K. V. *Lesovedeniye: uchebnoye posobiye* [Forest science: a tutorial]. Minsk, BGTU Publ., 2018. 264 p.
5. Magasumova A. G. *Lesovodstvenno-ekonomicheskaya effektivnost' rubki obnovleniya v sosnyakakh Srednego Urala. Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk* [Forestry and economic efficiency of regeneration felling in the pine forests of the Middle Urals. Abstract of thesis cand. of agricul. sci.]. Ekaterinburg, 2004. 24 p.
6. Zalesov S. V. Distribution of aboveground phytomass of field layer by economic value in recreational pine forests covered by regeneration felling. *Nauchnyye vedomosti* [Scientific Sheets], series: Natural Sciences, issue 40, 2017, no. 18 (267), pp. 87–93 (In Russian).
7. Magasumova A. G. The influence of the size of the cut areas during the regeneration felling on the distribution of aboveground phytomass of living soil cover by cenotypes. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and the economy in them], 2016, issue 2 (57), pp. 42–47 (In Russian).
8. Magasumova A. G. The effect of regeneration felling on forest litter in pine plantations of the Kurgan Forest Fire Center. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and the economy in them], 2016, no. 3 (58), pp. 20–26 (In Russian).
9. Sidorenkov G. V. Species composition and above-ground phytomass of living soil cover during regeneration felling in pine forests using the platform method. *Agrarnoye obrazovaniye i nauka* [Agricultural education and science], 2016, no. 3, p. 25 (In Russian).
10. Bachurina S. V. The effect of regeneration felling in the pinery on field layer. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, no. 1–1, p. 9 (In Russian).
11. Bachurina A. V. Elevated phytomass of the berry species of living soil cover in recreational pine forests covered by felling of regeneration. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and the economy in them], 2017, issue 1 (60), pp. 33–40 (In Russian).
12. Luganskiy N. A. Landscape felling. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 2007, no. 6, pp. 20–22 (In Russian).
13. Voronov A. G. *Geobotanika: uchebnoye posobiye* [Geobotany: a tutorial]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1973. 384 p.
14. Pashkevich L. S. *Batanika: dapamozhnik* [Botany: manual]. Minsk, BGTU Publ., 2009. 96 p.
15. Parfenov V. I. *Opredelitel' vysshikh rasteniy Belarusi* [Key to Higher Plants of Belarus]. Minsk, Dizayn PRO Publ., 1999. 472 p.
16. Megarran A. E. *Ekologicheskoye raznoobraziye i yego izmereniye* [Ecological diversity and its measurement]. Moscow, Mir Publ., 1992. 181 p.
17. Borzdova T. V. *Osnovy statisticheskogo analiza i obrabotka dannykh s primeneniym Microsoft Excel: uchebnoye posobiye* [Basics of statistical analysis and data processing using Microsoft Excel: a tutorial]. Minsk, GIUST BGU Publ., 2011. 75 p.

Информация об авторах

Прищепов Алексей Александрович – магистр сельскохозяйственных наук, аспирант кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alexey-fox94@mail.ru

Лабоха Константин Валентинович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Labokha@belstu.by

Information about the authors

Prishchepov Aleksey Aleksandrovich – Master of Agriculture, PhD student, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alexey-fox94@mail.ru

Labokha Konstantsin Valentinovich – PhD (Agriculture), Associate Professor, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Labokha@belstu.by

Поступила 12.10.2020

УДК 630*231:630*915

А. В. Углынец, Д. К. Гарбарук

Полесский государственный радиационно-экологический заповедник

**ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ ЛЕСА В ОТСЕЛЕННЫХ ДЕРЕВНЯХ,
РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ
ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

В зоне отчуждения Чернобыльской АЭС на территории оставленных человеком деревень происходит трансформация растительного покрова с образованием сообществ лесного типа.

На большей части отселенных деревень, расположенных на песчаных почвах, образовались насаждения с преобладанием акации белой, клена ясенелистного, сливы домашней, березы повислой, осины. Под их пологом сформировался подростово-подлесочный ярус различного состава и густоты.

Видовое разнообразие образовавшихся фитоценозов обусловлено составом дендрофлоры отселенных деревень и примыкающих лесов, а степень их участия в насаждениях – биологическими особенностями видов, количеством и характером размещения источников семян, почвенными условиями.

В подросте доминирует ясень обыкновенный, распространение остальных видов редкое или единичное. Ход естественного возобновления местных твердолиственных пород под пологом древостоев оценивается от неудовлетворительного до хорошего. Прогалины зарастают лесом медленно.

Возобновление леса сдерживается недостатком семенного материала, неблагоприятным световым режимом под пологом древостоев, высокой густотой подлеска, плотным злаковым покровом, низким плодородием, сухостью и сильным задернением почв, негативным влиянием диких копытных.

В перспективе прогнозируется повышение роли местных лесных пород и смена ими древостоев интродуцированными и плодовыми видами. Актуальным вопросом является необходимость разработки мер борьбы с широко распространенными чужеродными вредоносными видами – акацией белой и кленом ясенелистным.

Ключевые слова: зона отчуждения, отселенные деревни, естественное возобновление леса.

Для цитирования: Углынец А. В., Гарбарук Д. К. Естественное возобновление леса в отселенных деревнях, расположенных на песчаных почвах в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 26–41.

A. V. Uglyanets, D. K. Garbaruk

Polesye State Radiation-Ecological Reserve

**NATURAL FORESTS REGENERATION IN EVICTED VILLAGES LOCATED
ON SANDY SOILS OF THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT
EXCLUSION ZONE**

In the Chernobyl Exclusion Zone on the territory of villages left by man, vegetation cover is transformed with the formation of forest-type communities.

In most of the evicted villages, located on sandy soils, formed forest plantations with a predominance of white acacia, ash-leaved maple, home plum, silver birch, aspen. Under their canopy, a understory-undergrowth layer of various composition and density was formed.

Species diversity of phytocenoses formed due to the composition dendroflora evicted villages and adjoining forests. The degree of participation of species in phytocenoses is determined by their biological characteristics, distribution of seed source and soil conditions.

In the undergrowth layer is dominated by common ash, the distribution of other species is rare or isolated. The course of natural renewal of local hardwoods species under the canopy of stands is estimated from unsatisfactory to good. The glades are overgrown with forest slowly and unsatisfactorily.

Renewal of the forest is hindered by a failure of seed material, unfavorable light conditions under the canopy of stands, high density of understory, dense grass cover, low fertility, dryness and strong grassing-down of the soil, the negative influence of wild ungulates.

In the future, the role of local forest breeds is expected to increase. Over time, they will replace stands of introduced and fruit species. An actual issue is the need to develop measures to combat widespread alien harmful species-white acacia and ash-leaved maple.

Key words: Exclusion Zone, evicted villages, natural forest regeneration.

For citation: Uglyanets A. V., Garbaruk D. K. Natural forests regeneration in evicted villages located on sandy soils of the Chernobyl Nuclear Power Plant Exclusion Zone. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240) pp. 26–41 (In Russian).

Введение. После катастрофы на Чернобыльской АЭС (далее – ЧАЭС) на прилегающей к ней загрязненной радионуклидами территории была создана зона эвакуации (отчуждения). Из нее в 1986–1993 гг. было эвакуировано население 95 деревень, занимавших 3,3 тыс. га [1]. Абсолютное большинство бывших населенных пунктов (далее – б. н. п.) расположено на водно-ледниковых и аллювиальных ландшафтах в долине реки Припять, которая в юго-восточной части совмещена с долиной Днепра. Почвы этих ландшафтов преимущественно песчаные, реже супесчаные, подстилаемые мощными рыхлыми песками, в понижениях рельефа оглеенные [2].

В б. н. п., внезапно лишившихся фактора интенсивной хозяйственной деятельности, началось восстановление географически обусловленных лесных ландшафтов. Заращение лесом отселенных деревень в первое время протекало медленно [1, 3, 4]. Наиболее активно древесно-кустарниковой растительностью покрывались селитебные пустоши и садово-огородные участки [4].

Важнейшая роль залесения б. н. п. на радиоактивно загрязненных землях заключается в препятствии вторичному переносу долгоживущих радионуклидов. Выявление закономерностей восстановления лесной растительности в б. н. п. актуально как для зоны отчуждения, так и для других территорий Беларуси, где произошли изменения растительности вследствие полного ухода человека [5].

Основная часть. На песчаных ландшафтах первой надпойменной террасы в левобережной части долины реки Припять подобрали три б. н. п., расположенных на крайнем северо-западе (Ломыш), в центре (Дроньки) и крайнем юго-востоке (Чикаловичи) зоны отчуждения ЧАЭС и лежащих практически на прямой линии с расстоянием между ними 28 и 42 км. В б. н. п. на территории жилой застройки, садово-огородных участков, вблизи озеленительных посадок заложили 17 временных пробных площадок (далее – ВПП) в сомкнувшихся насаждениях наиболее распространенных пород и на необлесившихся участках (прогалинах, пустырях) в соответствии с требованиями, изложенными в [6, 7].

На ВПП определяли гранулометрический состав почв полевыми методами [8], измеряли мощность органосодержащих горизонтов, устанавливали типы условий местопроизрастания (далее – ТУМ) по [9]. Перечет деревьев производили по двухсантиметровым ступеням толщины с определением высоты каждого дерева. Таксационные показатели древостоев рассчитывали в

соответствии с [10–12]. Запасы стволовой древесины акации белой, ясеня обыкновенного, кленов остролистного и ясенелистного, сливы домашней, вяза, груши обыкновенной, яблони домашней, шелковицы белой устанавливали по дубу, тополям белого и черного – по осине.

На ВПП производили сплошной учет подроста с молодняком и подлеска в соответствии с [6, 7, 13]. Успешность естественного возобновления местных твердолиственных пород в насаждениях устанавливали по шкале оценки естественного возобновления по хвойным и твердолиственным породам [13], на прогалинах – по [14].

Степень поврежденности растений подроста и подлеска дикими копытными определяли в соответствии с [15, 16].

Отселенные деревни расположены на участках плоского и плоско-волнистого рельефа, местами осложненного эоловыми формами. На ВПП преобладают песчаные почвы обычно с довольно мощным органомным горизонтом (табл. 1), улучшенным на садово-огородных участках и полях за счет многолетнего внесения органических удобрений.

В деревнях, оставленных человеком по разным причинам, процессы лесообразования протекают по-разному. На севере Беларуси (Березинский заповедник) в б. н. п. более чем за 40 лет не было образовано сомкнутых молодняков, кроме небольших насаждений ольхи серой [17]. В б. н. п. зоны отселения ЧАЭС на территории Ветковского района Гомельской области Беларуси наиболее активно сукцессионные процессы протекают на территории селитебных пустошей и садово-огородных участков. На начало 2000-х гг. в составе лесовозобновления присутствовало 12 древесных пород при доминировании березы повислой, клена ясенелистного, осины, ив козьей и ломкой. Общая густота возобновления древесных пород составляла 300–6000 шт./га [4].

В Украинском секторе зоны отчуждения ЧАЭС за первое десятилетие на 95% площади приусадебных участков образовались сомкнутые древостои из плодовых и декоративных древесно-кустарниковых видов с преобладанием кленов ясенелистного, остролистного и явора, а также березы, ясеня, ильма, липы вблизи материнских деревьев, к которым позже присоединились куртины корнеотпрысковых пород – акации белой, осины, тополя черного [18].

В деревнях белорусского сектора зоны отчуждения к моменту аварии на ЧАЭС сформировался определенный видовой состав дендрофлоры местного и инородного происхождения.

Таблица 1

Краткая характеристика почв на ВПП

Шифр ВПП	Гранулометрический состав, мощность органосодержащего горизонта, см	ТУМ
Л2	связнопесчаная, подстилаемая песком рыхлым, 55	A ₂ B ₂
Д1	супесчаная, оглеенная, подстилаемая песком рыхлым, 78	C ₃
Ч1	супесчаная, подстилаемая песком связным, ниже песком рыхлым, 71	C _{2,3}
Л4	рыхлопесчаная, 8	A ₁
Л3	связнопесчаная, подстилаемая песком рыхлым, 22	A ₂
Ч5	связнопесчаная, подстилаемая песком рыхлым, 13	A ₂
Д2	связнопесчаная, подстилаемая песком рыхлым, 46	A ₂ B ₂
Л5	связнопесчаная, подстилаемая песком рыхлым, 52	A ₂ B ₂
Д4	рыхлопесчаная, 26	A ₂
Ч2	связнопесчаная, подстилаемая песком рыхлым, 50	A ₂ B ₂
Д5	рыхлопесчаная, 15	A ₂
Ч6	связнопесчаная, подстилаемая песком рыхлым, 16	A ₂
Л6	связнопесчаная, подстилаемая песком рыхлым, 25	A ₂
Л1	связнопесчаная, подстилаемая песком рыхлым, 27	A ₂
Д3	связнопесчаная, подстилаемая песком рыхлым, 23	A ₂
Ч3	связнопесчаная, подстилаемая песком рыхлым, 43	A ₂ B ₂
Ч4	супесчаная, подстилаемая песком связным, ниже песком рыхлым, 43	B ₂ C ₂

На усадьбах, приусадебных участках, в садах, уличных и озеленительных посадках произрастали аборигенные лесные и интродуцированные плодовые, ягодные, орехоплодные и декоративные деревья и кустарники, их формы и сорта.

После эвакуации населения б. н. п. в первую очередь начали заселять древесно-кустарниковые виды, способные интенсивно размножаться корневыми отпрысками и семенами, при наличии вблизи плодоносящих растений. Возобновлению деревьев и кустарников способствовали обработанные приусадебные участки с мощными органосодержащими почвенными горизонтами, со слабо развитым травяным покровом и слабым задержанием почв.

В первые два десятилетия лесообразование в б. н. п. белорусской части зоны отчуждения ЧАЭС протекало медленно. Сначала появилась кустарниковая растительность из крушины и видов ив, которая создавала среду для возобновления древесных пород. В образовании древостоев участвовали 10 древесных видов (акация белая, береза повислая, вяз гладкий, дуб черешчатый, клен ясенелистный, липа мелколистная, осина, тополь черный, сосна обыкновенная, ясень обыкновенный) и 4 плодовых (вишня обыкновенная, груша обыкновенная, слива домашняя, яблоня домашняя). Но во второй половине 2000-х гг. лесные насаждения еще не были образованы [1, 3].

К 2019 г. в б. н. п., расположенных на песчаных почвах, на большей части подворий сформировались преимущественно смешанные насаждения лесного типа с преобладанием в составе древостоев акации белой, клена ясенелистного, сливы домашней, в меньшей степени – березы повислой.

Насаждения клена ясенелистного. Клен ясенелистный в Беларуси выращивается более 100 лет, главным образом в озеленительных посадках. Быстро растет на свежих супесях и легких суглинках. Кульминация прироста по высоте наступает в 5–15 лет. В 25 лет его деревья достигают 16,4 м в высоту и 32,4 см в диаметре. В 40-летних культурах в кисличном типе леса высота деревьев составляла 14–16 м, диаметр 16–34 см [19]. В Республике Беларусь отнесен к чужеродным вредоносным видам [20].

С середины XX в. клен ясенелистный широко использовался в озеленительных и придорожных посадках в современных границах зоны отчуждения ЧАЭС. В настоящее время он является самым распространенным древесным видом в б. н. п. Ломыш (около 25% площади), вторым по распространенности в б. н. п. Дроньки (20–25%) и Чикаловичи (15–20%). По их территории распределен неравномерно. Встречается одиночными экземплярами, группами, куртинами и сомкнутыми насаждениями разного возраста. Обильное плодоношение и агрессивность по отношению к травяным сообществам обеспечивают интенсивное распространение этой породы на открытые пространства б. н. п. и сопредельных территорий.

Древостои клена ясенелистного в б. н. п. (табл. 2) разновозрастные, нередко включают высаженные до аварии на ЧАЭС материнские деревья и появившиеся в разные годы после нее молодые растения. При общей их густоте 800–1320 шт./га на долю интродуцента приходится 61–100% деревьев от общего количества. К 23–36-летнему возрасту в древостоях накопились значительные запасы стволовой древесины.

Таблица 2

Таксационная характеристика насаждений в б. н. п. зоны отчуждения ЧАЭС

Шифр ВПП	ТУМ	Состав древостоя	Возраст, лет	Средние		Бонитет	Густота, шт./га	Сумма площадей сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га
				H, м	D, см				
Клен ясенелистный									
Л2	А ₂ В ₂	5Кля	23	13,0	15,7	>Ia	800	15,45	109
		4Я	30	17,6	18,8	>Ia	400	11,10	104
		1Аб	18	9,2	19,4	Ia,3	80	1,27	21
		+Б	15	13,5	14,0	>Ia	20	0,31	2
		+Яб	–	12,0	16,0	–	20	0,40	2
		Среднее, итого	–	14,2	16,8	–	1320	28,53	238
Ч1	С ₂₋₃	8Кля	32	15,4	20,5	Ia,2	583	19,29	156
		2Ил	30	13,6	16,9	Ia,6	250	5,59	35
		Среднее, итого	–	14,9	19,4	–	833	24,88	191
Д1	С ₃	10Кля	36	15,2	21,7	Ia,8	800	29,59	238
Акация белая									
Л4	А ₁	10Аб	16	5,0	4,8	I,3	9150	16,64	118
Ч5	А ₂	10Аб	30	11,0	14,2	I,7	1767	27,83	214
Л3	А ₂	8Аб	26	10,3	12,6	I,3	1571	19,70	143
		1Б	40	20,5	44,0	>Ia	14	2,17	20
		1Кля	28	13,5	18,0	Ia,3	72	1,81	14
		+Гш	–	14,0	28,0	–	14	0,88	9
		Среднее, итого	–	10,6	13,2	–	1671	24,56	186
Д2	А ₂ В ₂	10Аб	25	11,0	13,6	Ia,8	1120	16,16	123
		+Я	17	8,0	10,0	Ia,7	20	0,16	1
		+Тб	12	6,5	8,0	–	20	0,10	1
		+Яб	–	5,0	8,0	–	20	0,10	1
		Среднее, итого	–	10,8	13,3	–	1180	16,52	126
Слива домашняя									
Л5	А ₂ В ₂	8Сл	15	7,6	8,0	Ia,4	5533	27,92	153
		1Я	26	12,7	17,2	Ia,3	100	2,33	21
		1Гш	–	9,0	24,0	–	33	1,51	14
		+Кля	16	7,6	4,0	Ia,6	33	0,04	–
		Среднее, итого	–	7,7	8,2	–	5700	31,80	188
Ч2	А ₂ В ₂	10Сл	32	6,9	8,4	IV,0	2500	13,86	68
		+Я	18	10,0	12,0	>Ia	50	0,57	4
		Среднее, итого	–	7,0	8,5	–	2550	14,43	72
Д4	А ₂	4Сл	28	4,8	7,1	IV,4	833	3,23	20
		5Гш	–	11,4	29,2	–	44	2,98	31
		1Яб	–	5,1	8,5	–	167	0,94	6
		+Д	20	5,9	8,0	II,6	11	0,06	–
		+Б	11	7,2	5,9	>Ia	133	0,37	2
		+Кля	12	6,6	5,6	Ia,0	56	0,14	–
		Среднее, итого	–	5,4	7,9	–	1244	7,72	59
Осина, береза повислая									
Л6	А ₂	4Ос	16	13,5	13,6	>Ia	550	8,01	54
		3Кло	30	9,6	12,0	II,5	550	6,14	38
		2Б	16	10,2	10,1	>Ia	600	4,82	26
		1Кля	14	4,9	8,7	Ia,8	450	2,71	15
		Среднее, итого	–	9,8	11,2	–	2150	21,68	133
Д5	А ₂	10Б	16	14,0	12,9	>Ia	800	10,51	71
Ч6	А ₂	8Б	26	23,0	19,6	>Ia	700	21,76	227
		2Кля	23	12,3	10,1	Ia,0	800	6,36	39
		+Д	–	10,5	8,1	–	50	0,25	3
		+Кло	–	9,4	8,0	–	50	0,25	1
		+Яб	–	9,0	8,0	–	50	0,25	1
		Среднее, итого	–	16,6	13,9	–	1650	28,87	271

При этом деревья экзота характеризуются многосторонней кривизной, сильным сбегом, растут в основном наклонно и с возрастом почти ложатся на землю.

Установлено увеличение доли клена ясенелистного в составе, повышение показателей роста и продуктивности его древостоев с ростом влажности и плодородия почв ($A_2B_2-C_{2.3}-C_3$).

Обильный лиственный опад и образование в насаждениях клена ясенелистного мягкого гумуса способствует улучшению почвенного плодородия, которое в сочетании со слабым развитием травяного покрова обеспечивает появление и развитие естественного возобновления древесных и кустарниковых пород.

Подрост под пологом насаждений клена ясенелистного различной густоты (0,6–95 тыс. шт./га), разновысотный с преобладанием мелкого. В его составе 4–7 местных, интродуцированных и плодовых вида (табл. 3).

Доминирует ясень обыкновенный – 90–95% от общего количества возобновления древесных пород, обычен клен ясенелистный (до 1,6 тыс. шт./га). До 1,2–1,7 тыс. шт./га доходит густота подроста акации белой и клена остролистного. Дуб встречается редко и в небольшом количестве. Прочие

древесные виды возобновляются плохо. Предварительное естественное возобновление твердолиственных пород в двух насаждениях оценивается как хорошее, в одном – неудовлетворительное.

Высокая густота возобновления местных теневыносливых пород, прежде всего ясеня обыкновенного на ВПП Д1, обеспечена плодородием и влажностью почвы (табл. 1), достаточной освещенностью под пологом, наличием рядом в уличной посадке обильно плодоносящих деревьев ясеня обыкновенного и клена остролистного. Смягчение светового режима в этом насаждении обусловлено началом деградации древостоя, вступившего в климаксовую стадию. Отметим, что в его лесных культурах этот процесс начинается с 30–40 лет [19].

Успешному возобновлению ясеня обыкновенного на ВПП Л2 способствовали наличие вблизи плодоносящих деревьев и мягкий световой режим под пологом, обеспеченный примесью пород с относительно высокой светопропускной способностью крон – акации белой, ясеня обыкновенного, березы повислой. Снижение густоты подроста в этом насаждении связано с более низким почвенным плодородием.

Таблица 3

Возобновление древесных и кустарниковых пород под пологом насаждений клена ясенелистного

Шифр ВПП	Д1			Л2			Ч1		
	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %
Подрост									
Акация белая	4/127	25	0,0	3/106	1700	5,7	–	–	–
Вишня обыкновенная	–	–	–	7/119	120	0,4	–	–	–
Ильм шершавый	–	–	–	–	–	–	11/303	50	8,6
Груша обыкновенная	3/21	650	0,7	–	–	–	8/299	17	2,9
Дуб черешчатый	6/54	550	0,6	–	–	–	3/28	33	5,7
Клен остролистный	5/37	1475	1,5	3/64	20	0,1	–	–	–
Клен ясенелистный	5/63	1600	1,7	7/172	1220	4,1	4/95	483	82,8
Липа мелколистная	7/117	75	0,1	–	–	–	–	–	–
Ясень обыкновенный	7/53	90 450	95,4	7/35	26 600	89,7	–	–	–
Среднезвешенное, итого	7/53	94 825	100,0	7/45	29 660	100,0	5/115	583	100,0
Подлесок									
Бересклет европейский	2/33	40	0,9	5/54	3950	92,4	3/54	200	17,9
Ирга колосистая	–	–	–	3/79	25	0,6	–	–	–
Калина обыкновенная	–	–	–	3/76	50	1,2	–	–	–
Крушина ломкая	–	–	–	4/94	150	3,5	–	–	–
Рябина обыкновенная	–	–	–	4/56	100	2,3	–	–	–
Сирень обыкновенная	–	–	–	–	–	–	3/39	517	46,3
Слива домашняя	3/77	4540	99,9	–	–	–	6/182	383	34,3
Смородина черная	–	–	–	–	–	–	3/44	17	1,5
Среднезвешенное, итого	3/77	4580	100,0	5/56	4275	100,0	4/91	1117	100,0

Плохое возобновление лесообразующих пород при достаточно высоком богатстве почвы (ТУМ С_{2,3}) на ВПП Ч1 сдерживается отсутствием вблизи плодоносящих деревьев местных лесообразующих пород, кроме вяза шершавого, и в некоторой мере низкой освещенностью под пологом.

Подлесок в насаждениях клена ясенелистного небогатый (восемь пород, по 2–5 на ВПП), молодой, низкий (преимущественно 0,3–0,9 м), редкий и средней густоты (1,1–4,6 тыс. шт./га). В его составе доминируют антропофитные виды с преобладанием сливы домашней и сирени обыкновенной или местные лесные с доминированием бересклета европейского (табл. 3).

Насаждения акации белой. Акация белая в Беларуси культивируется с XVIII в., в основном в озеленительных посадках, преимущественно в южной и западной частях страны. Временами страдает от заморозков и морозов. При повреждениях ими формирует короткие, часто раздвоенные и искривленные стволы. Нетребовательна к почвам, но на сухих песках растет медленно, а на песках связных первые 5–15 лет весьма успешно. В 27 лет достигает 16–19 м в высоту и 20–33 см в диаметре [19].

Акация белая широко применялась при озеленении населенных пунктов и высаживалась в придорожных полосах на юге Беларуси. От полос иногда образовывала чистые насаждения [19]. Изредка вводилась в лесные культуры, из которых распространялась под полог примыкающих сосняков [20]. В настоящее время она признана агрессивным чужеродным видом и включена в Черную книгу флоры Беларуси [21].

В зоне отчуждения ЧАЭС акация белая размножается вегетативно (корневыми отпрысками и порослью от пня), а также семенами. Потепление климата в Полесье [22] привело к возрастанию роли семенного возобновления в ее расселении. Теперь это третья по распространенности порода в б. н. п. В бывших озеленительных посадках (скверы, группы и одиночные деревья) и вблизи них сформировала группы, куртины, сомкнутые насаждения («рощицы»), которые за счет корневых отпрысков непрерывно пополняются новыми поколениями растений, расширяются в пространстве, медленно наступая на сопредельные территории. Активно заселяет песчаные дюны возле б. н. п.

Древостои. В 11–35-летних насаждениях акации белой в южных районах страны средняя высота древостоев в середине 1980-х гг. составляла 9,3–14,5 м, средний диаметр – 7,1–15,7 см, класс бонитета – от Ia до II,8, густота древостоев – 1294–3117 шт./га, сумма площадей сечений – 9,6–25,2 м²/га, стволовой запас – 50–178 м³/га [20]. В эти рамки в основном укладываются характеристики ее древостоев, образовавшихся в

б. н. п. зоны отчуждения (табл. 2). Согласно таблице хода роста акации белой в Украине [23], насаждения ВПП Л3 и Д2 соответствуют V классу бонитета, ВПП Л4 и Ч5 – Va.

В б. н. п. насаждения акации белой произрастают в основном на сухих и свежих песчаных почвах. Древостои ее чистые по составу или с небольшим количеством плодовых деревьев, «захваченных» акацией при экспансии на садово-огородные участки, либо местных и интродуцированных видов, возобновившихся после ухода людей. Древостои довольно густые, низкорослые, разновозрастные, разновысотные. Сильная дифференциация в них деревьев обусловлена постоянным пополнением из подроста [20].

Рост и продуктивность лесных культур акации белой зависит от гранулометрического состава почв [20]. Некоторое повышение почвенного плодородия на ВПП Д2 обеспечило увеличение интенсивности роста деревьев интродуцента, снижение густоты древостоя, появление в составе других пород. Характерные для нее многостволость и многосторонняя кривизна стволов, увеличивающиеся на сухих песках [19, 20], наблюдаются и в насаждениях, сформировавшихся в б. н. п. зоны отчуждения.

Подрост в белоакациевых насаждениях (табл. 4) средней густоты или очень густой (3,8–13,3 тыс. шт./га). В составе присутствуют 10 видов древесных растений, по 3–7 в отдельных насаждениях. В их числе два плодовых вида, три интродуцента и пять аборигенных лесных пород. В долевом отношении преобладают акация белая (70,9–75,7%), ясень обыкновенный (74,4%), чермуха обыкновенная (64,8%).

Подрост акации белой густотой 1,3–3,9 тыс. шт./га встречается во всех насаждениях. Значительное количество возобновления ясеня обыкновенного (0,7 и 9,9 тыс. шт./га) и клена остролистного (1,1 тыс. шт./га) на некоторых ВПП обеспечено близким расположением плодоносящих деревьев этих пород. Во всех насаждениях в небольших количествах встречается дуб черешчатый.

Общая густота возобновления местных твердолиственных пород в белоакациевых насаждениях составляет 0,7–10,6 тыс. шт./га. Предварительное естественное возобновление леса на ВПП Л3 хорошее, на ВПП Л4 удовлетворительное, на остальных – неудовлетворительное.

Образование мягкого гумуса из опада акации белой, фиксация азота клубеньковыми бактериями и обогащение им почвы в сочетании с хорошей освещенностью под пологом создают благоприятные условия для возобновления и роста древесных и кустарниковых видов в ее насаждениях. Но возобновление хозяйственно ценных древесных пород сдерживает низкая водообеспеченность песчаных почв.

Подлесок под пологом древостоев акации белой (табл. 4) бедный (по 2–3 вида на ВПП, всего 7), редкий (0,04–1,1 тыс. шт./га), в основном средневысотный и крупный. Включает три лесных вида, три декоративных и один плодовой. Наиболее высоким количеством выделяется слива домашняя (табл. 4). Появление подлеска в значительной мере сдерживается отсутствием вблизи сменного материала лесных кустарников и неудовлетворительным возобновлением интродуцированных и плодовых пород.

Насаждения сливы домашней. Слива домашняя до аварии на ЧАЭС культивировалась в деревнях на каждой усадьбе. После эвакуации населения ее обильное плодоношение и способность интенсивно размножаться корневыми отпрысками обеспечили широкое распространение по территории. По количеству растений и занимаемой площади на момент исследований слива занимала первое место в б. н. п. Дроньки и Чикаловичи (до 25–35% площади садово-огородных участков и жилой застройке) и второе в б. н. п. Ломыш (до 20–30%).

Слива домашняя одной из первых сформировала в б. н. п. небольшие густые группы, куртины,

насаждения («рощицы»), фактически участки лесных фитоценозов, устойчивые во времени и расширяющиеся в пространстве. Нормативным документом [6] она отнесена к подлесочным породам. Однако с учетом масштабов распространения ее сомкнутых ценозов в б. н. п. и формирования в них лесной среды были проведены исследования насаждений этой породы в целях выявления их роли и значимости в возобновлении леса на территории б. н. п. зоны отчуждения.

Древостои сливы домашней в основном разновозрастные, густые, низкорослые, сильно дифференцированные по высоте, особенно там, где они постоянно пополняются молодыми экземплярами из числа подроста. В их составе встречаются старые плодовые деревья груши и яблони от бывших садов, а также возобновившиеся после эвакуации населения ясень обыкновенный, клен ясенелистный, береза повислая, дуб черешчатый (табл. 2). В наиболее бедных лесорастительных условиях (А₂) при слабом естественном возобновлении древостои сливы изреживаются и уже в 28-летнем возрасте находятся на стадии распада (ВПП Д4).

Таблица 4

Возобновление древесных и кустарниковых пород под пологом насаждений акации белой

Шифр ВПП	Л4			Ч5			Л3			Д2		
	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %
Подрост												
Акация белая	5/131	3900	75,7	10/258	1267	19,4	5/253	1929	14,5	9/267	2696	70,9
Груша обыкновенная	–	–	–	8/96	133	2,0	3/58	14	0,1	3/43	43	1,1
Дуб черешчатый	7/83	150	2,9	8/176	867	13,3	5/67	700	5,3	6/65	65	1,7
Клен остролистный	7/106	1100	21,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Клен ясенелистный	–	–	–	–	–	–	5/202	657	5,0	3/186	65	1,7
Осина	–	–	–	–	–	–	4/84	71	0,5	6/136	217	5,7
Тополь белый	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Черемуха обыкновенная	–	–	–	7/78	4233	64,8	–	–	–	–	–	–
Яблоня домашняя	–	–	–	5/57	33	0,5	6/88	29	0,2	5/64	43	1,1
Ясень обыкновенный	–	–	–	–	–	–	6/80	9886	74,4	7/132	674	17,8
Средневзвешенное, итого	6/124	5150	100,0	8/126	6533	100,0	6/111	13 286	100,0	8/226	3803	100,0
Подлесок												
Бересклет европейский	–	–	–	–	–	–	–	–	–	8/119	435	29,4
Боярышник мягковатый	–	–	–	–	–	–	20/620	14	32,6	–	–	–
Крушина ломкая	7/112	50	50,0	13/238	133	12,5	–	–	–	–	–	–
Роза майская	4/97	50	50,0	–	–	–	–	–	–	4/65	130	8,8
Сирень обыкновенная	–	–	–	1/19	33	3,1	–	–	–	–	–	–
Слива домашняя	–	–	–	4/79	900	84,4	–	–	–	6/213	913	61,8
Чубушник венечный	–	–	–	–	–	–	6/247	29	67,4	–	–	–
Средневзвешенное, итого	6/105	100	100,0	5/97	1066	100,0	11/368	43	100,0	6/172	1478	100,0

Подрост в насаждениях сливы домашней редкий (0,05–1,0 тыс. шт./га), представлен тремя лесными, двумя интродуцированными и двумя плодовыми породами. Чаще в его составе встречаются клен ясенелистный и дуб черешчатый. В деградирующем насаждении (ВПП Д4) в небольшом количестве присутствует возобновление ясеня обыкновенного, березы повислой и акации белой (табл. 5). Ход предварительного естественного возобновления местных твердолиственных пород под пологом сливовых насаждений в б. н. п. зоны отчуждения ЧАЭС неудовлетворительный.

Появлению и развитию подроста древесных пород под пологом сливовых насаждений препятствуют очень высокая густота древостоя (на ВПП Л5), высокая густота крупного возобновления сливы в сочетании с густым древостоем (на ВПП Ч2), бедная песчаная сильно задерненная почва с плотным злаковым покровом под редким древостоем (на ВПП Д4).

Подлесок в насаждениях сливы домашней (табл. 5) средней густоты или густой (2,1–10,4 тыс. шт./га). В его составе от одного до семи (всего девять) видов. Из них шесть плодово-ягодных, один декоративный и два местных лесных вида. Во всех насаждениях преобладает слива (65,2–100,0%) густотой 2,1–25,8 тыс. шт./га. Доля прочих пород, кроме бересклета европейского на ВПП Д4, незначительна.

С ухудшением плодородия почвы, повышением возраста, уменьшением средней высоты и густоты древостоев сливы домашней просматривается тенденция роста видовой разнообразия и густоты подлеска.

Насаждения местных мелколиственных пород. Несмотря на относительную близость стен леса и наличие источников семян в виде одиночных и групп деревьев в пределах б. н. п. молодое поколение березы повислой и осины встречается нечасто, а насаждения с их преобладанием крайне редки. Обе эти породы успешно поселяются в б. н. п. на пройденных пожарами участках и на бедных почвах со слабо развитым злаковым покровом.

Древостой. На сгоревшем около 20 лет назад подворье и части огорода образовался смешанный молодняк лиственных пород, в котором почти в равном количестве представлены осина, береза, клен ясенелистный и перенесший пожар клен остролистый (ВПП Л6) (табл. 2). В составе древостоя за счет более интенсивного роста преобладает осина. Интродуцированный клен в процессе формирования насаждения был подчинен быстрорастущими осиной и березой повислой. В березняках (ВПП Д5 и Ч6) примесь других пород также оказалась в подчиненном ярусе. Присутствует дуб черешчатый.

Таблица 5

Возобновление древесных и кустарниковых пород под пологом насаждений сливы домашней

Шифр ВПП	Л5			Ч2			Д4		
	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %
Подрост									
Акация белая	–	–	–	–	–	–	8/136	34	4,4
Береза повислая	–	–	–	–	–	–	6/150	195	25,0
Груша обыкновенная	–	–	–	–	–	–	13/130	23	2,9
Дуб черешчатый	–	–	–	3/22	50	100,0	7/77	161	20,6
Клен ясенелистный	2/41	1033	100,0	–	–	–	6/138	34	4,4
Яблоня домашняя	–	–	–	–	–	–	9/137	115	14,7
Ясень обыкновенный	–	–	–	–	–	–	4/51	218	28,0
Средневзвешенное, итого	2/41	1033	100,0	3/22	50	100,0	6/104	780	100,0
Подлесок									
Бересклет европейский	–	–	–	1/25	150	0,6	8/75	3172	30,4
Ирга колосистая	–	–	–	–	–	–	12/308	11	0,1
Крушина ломкая	–	–	–	–	–	–	9/188	92	0,9
Крыжовник обыкновенный	–	–	–	–	–	–	5/69	57	0,5
Сирень обыкновенная	–	–	–	4/61	150	0,6	–	–	–
Слива домашняя	3/76	2067	100,0	6/107	25 400	98,6	7/120	6805	65,2
Смородина золотистая	–	–	–	–	–	–	5/118	218	2,1
Смородина красная	–	–	–	3/52	50	0,2	5/62	80	0,8
Средневзвешенное, итого	3/76	2067	100,0	6/106	25 750	100,0	7/106	10 435	100,0

Подрост под пологом мелколиственных насаждений средней густоты (2,4–6,7 тыс. шт./га), разновысотный и довольно разнообразный. В его составе 13 пород (по 7–9 видов в насаждении), в том числе девять местных лесных, один интродуцент и три плодовых (табл. 6). Преобладают клен ясенелистный (48,4–62,1%) и дуб черешчатый (32,6%) при значительной доле участия березы повислой (11,9–20,3%), осины (20,3–30,8%), клена остролистного (20,4%). Во всех насаждениях в подросте встречается дуб черешчатый, в некоторых – редкое возобновление сосны обыкновенной.

Густота местных твердолиственных пород под пологом мелколиственных насаждений низкая (0,6–2,2 тыс. шт./га), оценка их возобновления неудовлетворительная.

Подлесок в мелколиственных насаждениях (табл. 6) от редкого (0,2 тыс. шт./га) до густого (5,4 тыс. шт./га). В составе от одной до шести пород, всего девять. В их числе шесть местных лесных, по одному плодovому, ягодному и деко-

ративному виду. По доле участию преобладают слива домашняя (51,4%), крушина ломкая (62,7%) и бересклет европейский (100%). Густой и более богатый подлесок образовался на месте частично выгоревшего при пожаре подворья.

Естественное возобновление древесных и кустарниковых видов в березняках лимитируется бедными суховатыми почвами и их задернением, в осиннике – высокой сомкнутостью древесного полога, ухудшающего световой режим.

На развитие возобновившихся древесно-кустарниковых видов под пологом древостоев существенно влияют дикие копытные животные, которыми повреждено 10–30% подроста и 40–45% подлеска преобладающих пород (табл. 7). Сильно страдают от диких копытных бересклет европейский, крушина ломкая, слива домашняя, несколько меньше – осина и клен остролистный. Гибель растений на уровне 5–6% отмечена у крушины ломкой, сливы домашней, акации белой.

Таблица 6

Возобновление древесных и кустарниковых пород под пологом насаждений мелколиственных пород

Шифр ВПП	Л6			Д5			Ч6		
	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %
Подрост									
Береза повислая	8/461	950	11,9	5/162	1359	20,3	–	–	–
Вишня обыкновенная	–	–	–	5/716	26	0,4	–	–	–
Груша обыкновенная	–	–	–	4/33	1410	21,1	8/124	150	2,9
Дуб черешчатый	5/26	200	2,5	5/40	2179	32,6	5/14	50	1,0
Ива белая	8/410	100	1,3	–	–	–	–	–	–
Клен остролистный	12/351	350	4,4	–	–	–	9/343	1050	20,4
Клен ясенелистный	8/291	3850	48,4	–	–	–	9/248	3200	62,1
Липа мелколистная	–	–	–	–	–	–	5/104	100	1,9
Осина	5/192	2450	30,8	3/58	1359	20,3	3/66	350	6,8
Сосна обыкновенная	14/137	50	0,6	8/87	77	1,2	–	–	–
Черемуха обыкновенная	–	–	–	–	–	–	11/350	50	1,0
Яблоня домашняя	–	–	–	5/64	282	4,2	9/182	150	2,9
Ясень обыкновенный	–	–	–	–	–	–	3/16	50	1,0
Средневзвешенное, итого	7/277	7950	100,0	8/124	6692	100,0	8/249	5150	100,0
Подлесок									
Бересклет европейский	–	–	–	4/37	51	1,7	3/28	250	100,0
Ива козья	14/445	150	2,8	–	–	–	–	–	–
Крушина ломкая	4/82	50	0,9	6/121	1897	62,7	–	–	–
Крыжовник обыкновенный	4/17	50	0,9	–	–	–	–	–	–
Роза майская	3/80	1000	18,3	–	–	–	–	–	–
Роза собачья	–	–	–	6/117	26	0,9	–	–	–
Рябина обыкновенная	–	–	–	4/85	26	0,9	–	–	–
Сирень обыкновенная	5/74	1400	25,7	–	–	–	–	–	–
Слива домашняя	5/161	2800	51,4	7/94	1026	33,9	–	–	–
Средневзвешенное, итого	5/130	5450	100,0	6/110	3026	100,0	3/28	250	100,0

Таблица 7

Поврежденность возобновления наиболее распространенных древесных и кустарниковых пород дикими копытными под пологом древостоев, %

Вид	Не поврежденные	Поврежденные				Погибшие
		всего	в том числе			
			до 10%	11–50%	51–90%	
Акация белая	84,3	10,7	3,0	3,2	4,5	5,0
Береза повислая	77,5	22,5	9,0	9,0	4,5	–
Клен остролистный	73,6	26,4	2,8	11,8	11,8	–
Клен ясенелистный	83,8	13,8	5,6	5,6	2,6	2,4
Осина	69,3	28,9	6,1	4,4	18,4	1,8
Ясень обыкновенный	87,7	10,7	0,4	6,0	4,3	1,6
Бересклет европейский	53,3	45,8	0,2	6,9	38,7	0,9
Крушина ломкая	52,1	41,5	5,3	9,6	26,6	6,4
Слива домашняя	51,8	42,5	3,2	13,3	26,0	5,7

Для лесных насаждений, образовавшихся в б. н. п. на песчаных почвах, характерны мелко-контурность, пространственная неоднородность. Состав их несвойственный для лесов региона и непостоянный даже на мизерных площадях.

Лесовозобновление на прогалинах. До 50% общей площади и до 10–25% площади подворий и садово-огородных участков в расположенных на песчаных почвах б. н. п. за более чем 30 лет не покрылись сомкнутыми насаждениями. На них встречаются высаженные до аварии на ЧАЭС единичные деревья плодово-ягодных пород, деревья и группы видов, возобновившихся после оставления деревень населением. Суммарное их количество на прогалинах обычно не превышает 200 шт./га, но на более богатых почвах (ВПП Ч4) оно существенно увеличивается (табл. 8). Молодые растения локализуются преимущественно вблизи плодоносящих деревьев и строений.

Подрост. В составе естественного возобновления на прогалинах выявлено 10 древесных пород (по 4–7 на ВПП), среди которых семь лесных, один интродуцент и два плодовых вида. Его густота составляла 0,2–6,5 тыс. шт./га, в том числе ценных твердолиственных пород – 0,06–5,4 тыс. шт./га (табл. 9).

На песчаных сильно задерненных почвах подрост редкий или единичный, на более богатых (ВПП Ч4) при близком произрастании плодоносящих деревьев ясеня обыкновенного и клена ясенелистного – средней густоты с доминированием (82,0%) ясеня.

Оценка естественного возобновления твердолиственных пород на всех прогалинах неудовлетворительная. Общей закономерностью является непрерывное наступление на них агрессивного чужеродного вида – клена ясенелистного.

Таблица 8

Таксационная характеристика древесных насаждений на прогалинах

Шифр ВПП	ТУМ	Состав древостоя	Возраст, лет	Средние		Бонитет	Густота, шт./га	Сумма площадей сечений, м ² /га	Полнота	Запас, м ³ /га
				H, м	D, см					
Л1	А ₂	8Кля	19	10,3	13,8	Ia,1	160	2,39	0,11	15
		2Тч	15	12,5	22,0	>Ia	10	0,38	0,02	4
		Среднее, итого	–	10,4	14,3	–	170	2,77	0,13	19
Д3	А ₂	8Сл	31	5,4	10,9	IV,6	122	1,38	0,11	6
		1Ос	17	13,5	26,0	>Ia	12	0,59	0,02	4
		1Гш	–	8,4	31,4	–	33	2,59	0,14	28
		Среднее, итого	–	6,6	16,0	–	167	4,56	0,27	38
Ч3	А ₂ В ₂	5Кля	30	10,1	19,8	II,2	59	1,82	0,09	14
		2Гш	–	8,5	22,4	–	18	0,71	0,04	7
		2Ш	–	10,0	34,0	–	4	0,41	0,02	4
		1Яб	–	6,0	19,6	–	9	0,28	0,02	2
		+Я	20	10,0	12,0	Ia,4	5	0,05	0,00	0
		Среднее, итого	–	9,4	20,5	–	95	3,27	0,17	27
Ч4	В ₂ С ₂	5Кля	29	14,6	19,3	Ia,0	160	4,68	0,18	36
		4Я	27	15,9	20,3	>Ia	120	3,89	0,14	32
		1Сл	28	7,1	10,1	–	140	1,14	0,07	7
		Среднее, итого	–	12,5	16,5	–	420	9,71	0,39	75

Таблица 9

Возобновление древесных пород на прогалинах

Шифр ВПП	Л1			ДЗ			ЧЗ			Ч4		
	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %	возраст, лет/высота, см	густота, шт./га	доля в составе, %
Подрост												
Береза повислая	–	–	–	7/162	789	55,9	–	–	–	2/39	40	0,6
Вишня обыкновенная	8/163	280	28,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ильм шершавый	–	–	–	–	–	–	15/452	5	2,1	–	–	–
Груша обыкновенная	–	–	–	17/143	56	4,0	8/160	82	35,2	5/96	80	1,2
Дуб черешчатый	10/68	60	6,2	10/100	78	5,5	3/34	5	2,1	–	–	–
Клен остролистный	13/408	90	9,3	–	–	–	–	–	–	4/20	40	0,6
Клен ясенелистный	9/212	200	20,6	–	–	–	8/234	82	35,2	6/20	1020	15,6
Осина	3/61	330	34,0	5/91	489	34,6	–	–	–	–	–	–
Сосна обыкновенная	10/103	10	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Яблоня домашняя	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ясень обыкновенный	–	–	–	–	–	–	3/90	59	25,4	7/49	5360	82,0
Средневзвешенное, итого	7/165	970	100,0	7/133	1412	100,0	7/172	233	100,0	7/45	6540	100,0
Подлесок												
Бересклет европейский	–	–	–	–	–	–	4/51	36	31,6	3/46	500	26,0
Крушина ломкая	–	–	–	8/104	222	3,9	–	–	–	–	–	–
Крыжовник обыкновенный	3/36	10	0,4	5/85	11	0,2	7/70	9	7,9	–	–	–
Роза собачья	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3/83	280	14,6
Сирень обыкновенная	–	–	–	–	–	–	6/130	14	12,3	–	–	–
Слива домашняя	7/128	2570	97,7	6/84	5467	95,9	7/97	55	48,2	6/148	1140	59,4
Смородина черная	3/115	50	1,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Средневзвешенное, итого	7/127	2630	100,0	6/85	5700	100,0	6/84	114	100,0	5/112	1920	100,0

Подлесок на прогалинах разновозрастный, разновысотный, редкий или средней густоты (0,1–5,7 тыс. шт./га). В его составе 7 видов (по 3–4 вида на ВПП), в том числе два лесных, три плодово-ягодных и два декоративных. В долевом отношении преобладает слива домашняя. Из лесных кустарников наиболее часто встречаются крушина ломкая и бересклет европейский (табл. 9).

Зарастание лесом прогалин в б. н. п. сдерживается развитым травяным покровом с доминированием злаков, сильным задержанием почв, сухостью легких песчаных почв, а также негативным влиянием на молодые поколения древесно-кустарниковых растений диких копытных.

В результате пищевого пресса этой группы животных повреждается 4–38% растений подроста и 25–70% подлеска преобладающих видов, в том числе в сильной степени – 12,5% растений дуба черешчатого, 14,6% клена ясенелистного,

30,3% бересклета европейского и 45,8% сливы домашней. Вследствие воздействия диких копытных погибло 20,7% возобновления осины, 9,7% – березы повислой, 13,1% – сливы домашней (табл. 10).

Лесовозобновлению в б. н. п. способствует выгорание живого напочвенного покрова.

Формирующиеся в б. н. п. лесные фитоценозы характеризуются весьма высоким разнообразием дендрофлоры. В 2019 г. в сомкнутых древостоях и на прогалинах (в пределах ВПП) встречались 14 видов деревьев (включая сливу домашнюю) с разной долей в составе. В их числе семь местных лесных, три декоративных интродуцента и четыре плодово-ягодных. В подросте выявлено 16 древесных пород (десять местных лесных, три интродуцированных и три плодово-ягодных), в подлеске – 16 видов кустарников (шесть местных, четыре интродуцента и шесть плодово-ягодных), характеризующихся различной густотой и встречаемостью.

Таблица 10

**Поврежденность дикими копытными возобновления
наиболее распространенных древесных и кустарниковых пород на прогалинах, %**

Вид	Не поврежденные	Поврежденные				Погибшие
		всего	в том числе			
			до 10%	11–50%	51–90%	
Береза повислая	52,8	37,5	9,7	25,0	2,8	9,7
Дуб черешчатый	62,5	37,5	12,5	12,5	12,5	–
Клен остролистный	88,9	11,1	11,1	–	–	–
Клен ясенелистный	64,0	34,9	3,4	16,9	14,6	1,1
Осина	46,8	32,5	–	26,0	6,5	20,7
Ясень обыкновенный	96,1	3,9	0,4	2,1	1,4	–
Бересклет европейский	69,7	30,3	–	–	30,3	–
Крушина ломкая	75,0	25,0	5,0	10,0	10,0	–
Слива домашняя	16,3	70,6	2,1	22,7	45,8	13,1

Кроме того, в б. н. п. произрастают не попавшие на ВПП единичные экземпляры 6 видов деревьев (абрикос обыкновенный, береза пушистая, вяз гладкий, ель обыкновенная, конский каштан обыкновенный, ольха черная) и 11 видов подлеска (боярышник зеленоплодный, ивы остролистная, серая, розмаринолистная, ушастая, лещина обыкновенная, можжевельник обыкновенный, черноплодка Мичурина, свидина кроваво-красная, слива растопыренная, спирея дубравколистная).

В древостоях преобладают акация белая, клен ясенелистный, слива домашняя, реже береза повислая, осина. Постоянно повышается лесообразующая роль ясеня обыкновенного, который входит в состав древостоев на 35,3% ВПП с долей участия до 40%. В небольшом количестве встречаются молодые поколения ильма шершавого, дуба черешчатого, тополя белого, плодовых пород.

В подросте наиболее широко распространен ясень обыкновенный, густота которого варьирует по насаждениям от 50 до 90 450 шт./га (в среднем $16\ 662 \pm 11\ 015$ шт./га). Неравномерность его распределения по б. н. п. (встречаемость 47,0%) обусловлена, главным образом, хаотичностью размещения семенных деревьев. Со временем ясень станет одной из основных лесообразующих пород в б. н. п.

Густота возобновления дуба черешчатого в насаждениях и на прогалинах невысока ($5\text{--}2179$ шт./га, в среднем 368 ± 157 шт./га). Благодаря зоохорному расселению подрост дуба наиболее равномерно распределен по территории б. н. п. (встречаемость 82,4%), его густота постоянно увеличивается. В перспективе эта порода станет обязательным компонентом насаждений в б. н. п.

Низки густота и встречаемость подроста осины ($71\text{--}2450$ шт./га, в среднем 352 ± 324 шт./га и 41,2%), березы повислой ($40\text{--}1359$ шт./га, в среднем 667 ± 206 шт./га и 29,4%), клена остролистного

($20\text{--}1475$ шт./га, в среднем 589 ± 161 шт./га и 41,2%). Распространение мелколиственных пород возрастает, особенно на пройденных пожарами участках. Из-за преобладания в б. н. п. легких песчаных почв участие в составе древостоев требовательного к почвенному плодородию клена остролистного ограничено.

Несмотря на широкое распространение вблизи б. н. п. сосновых лесов, подрост сосны обыкновенной в отселенных деревнях единичный (густота 46 ± 19 шт./га, встречаемость 17,6%). Местами в них формируются корнеотпрысковые группы и куртины тополя белого, реже тополя черного. Роль остальных древесных пород в зарастании б. п. н. лесом незначительна.

Подлесок в насаждениях и на прогалинах редкий (на 46,1% ВПП), средней густоты (38,5%), местами густой и очень густой (по 7,7%). Преобладают крупная и средневисотная слива домашняя (62,5% насаждений), мелкий или средний бересклет европейский (15,4%).

Направление дальнейших сукцессионных процессов в насаждениях пионерных пород в б. н. п. в значительной мере будет определять естественное возобновление древесных пород под их пологом. Деградирующие насаждения сливы домашней и клена ясенелистного со временем сменяются древостоями с преобладанием местных видов. За счет непрерывного пополнения древостоев новыми поколениями растений возможно длительное существование во времени насаждений этих пород на плодородных почвах, а акации белой – на бедных и сухих. Вытеснение последней из древостоев подростом теневыносливых пород в богатых условиях местопроизрастания [24] ожидается и в б. н. п. зоны отчуждения. Агрессивные чужеродные виды – акация белая и клен ясенелистный – долгое время будут сохраняться в подчиненных ярусах сменившихся насаждений в форме подлеска и оставаться источником семян.

Заключение. Лесовозобновление в б. н. п. на песчаных почвах зоны отчуждения ЧАЭС протекает медленно. К 2019 г. до 50% и более территории б. н. п. и до 10–25% площади подворий и садово-огородных участков не было покрыто лесом.

В отселенных деревнях образовались смешанные группы, куртины и сомкнутые фитоценозы лесного типа с богатым и несвойственным для лесов региона дендрологическим составом, включающим 25 древесных и 26 кустарниковых видов, из них 28 местных лесных, 12 интродуцированных декоративных и 11 плодово-ягодных. Видовой состав и количественное соотношение древесных и кустарниковых видов в насаждениях, куртинах и группах на территориях б. н. п. крайне непостоянен и непрерывно меняется, даже в пределах отдельных усадеб и подворий.

Преобладают насаждения клена ясенелистного, акации белой, сливы домашней, реже березы повислой, осины.

Естественному залесению б. н. п. способствовали наличие источников семян древесных и кустарниковых видов, их особенности размножения и распространения, локально – благоприятные почвенные условия, пирогенное воздействие на травяной покров.

Под пологом насаждений и на прогалинах в б. н. п. развивается естественное возобновление древесных и кустарниковых пород, характеризующееся высокой изменчивостью видового состава, густоты, средних высоты и возраста.

Подрост редкий (на 41,2% ВПП), средней густоты (41,2%), густой и очень густой (17,6%).

В количественном отношении преобладает ясень обыкновенный (в среднем 16 700 шт./га). Возобновление березы повислой, клена остролистного, дуба черешчатого и осины редкое (350–670 шт./га), прочих видов единичное.

Ход естественного возобновления местных твердолиственных пород под пологом насаждений неудовлетворительный (69,2% насаждений), удовлетворительный (7,7%) и хороший (23,1%), на прогалинах – неудовлетворительный.

Подлесок в основном редкий и средней густоты (84,6%). В составе преобладают слива домашняя, реже бересклет европейский.

Естественное возобновление леса в б. н. п. на песчаных почвах сдерживается недостатком семенного материала, неблагоприятным световым режимом под пологом древостоев, высокой густотой и высотой подлеска, плотным злаковым покровом, низким плодородием и сильным задержанием почвы, пищевым давлением диких копытных.

В перспективе прогнозируется сплошное зарастание прогалин лесом, смена древостоев пионерных пород местными теневыносливыми, прежде всего ясенем обыкновенным. В составе древостоев увеличится доля березы повислой, осины, дуба черешчатого, местами – тополей белого и черного. Некоторые насаждения акации белой, клена ясенелистного и сливы домашней будут оставаться длительно устойчивыми во времени.

Поскольку акация белая и клен ясенелистный в Беларуси отнесены к чужеродным вредным видам, то очевидна необходимость разработки специальных мер борьбы с ними в условиях радиоактивного загрязнения местности.

Список литературы

1. Багинский В. Ф., Кудин М. В. Лесообразовательные процессы в местах поселений, перемещенных после аварии на Чернобыльской АЭС // Лесная таксация и лесоустройство. 2009. № 1 (41). С. 12–17.
2. Почвы Полесского государственного радиационно-экологического заповедника = Soil of Polesye State Radiation-Ecological Reserve / В. В. Лапа [и др.]. Минск: ИВЦ Минфина, 2019. 97 с.
3. Кудин М. В. Особенности лесообразовательных процессов в белорусском секторе зоны эвакуации (отчуждения) Чернобыльской АЭС: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Гомель, 2011. 23 с.
4. Гусев А. П. Процессы самовосстановления растительного покрова в антропогенных ландшафтах зоны отселения (Ветковский лесхоз Гомельской области) // Труды Института леса НАН Беларуси. Вып. 61: Проблемы радиоэкологии леса. Лес. Человек. Чернобыль. Гомель, 2004. С. 52–54.
5. Особенности динамики антропогенной нагрузки на природные экосистемы Березинского биосферного заповедника / М. В. Ермохин [и др.] // Современное состояние, тенденции развития, рациональное использование и сохранение биологического разнообразия растительного мира: материалы Междунар. науч. конф., Минск – Нарочь, 23–26 сент. 2014 г. / Ин-т эксперимент. ботаники им. В. Ф. Купревича Нац. акад. наук Беларуси. Минск, 2014. С. 189–191.
6. Об утверждении Инструкции о порядке организации и содержании лесоустроительных работ, составе лесоустроительной документации и авторском надзоре за реализацией лесоустроительных проектов [Электронный ресурс]: постановление Министерства лесного хозяйства Респ. Беларусь, 30 июня 2017 г., № 13 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <http://www.zakon.by/document/?guid=12551&p0=W21832881&p1=1> (дата обращения: 24.01.2020).

7. Технические требования при лесоустройстве. Отвод и таксация лесосек в лесах Республики Беларусь: ТКП 622–2018 (33090). Введ. 12.07.2018. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2018. 96 с.
8. Методические указания по почвенно-лесотипологическому исследованию Государственного лесного фонда БССР / В. С. Гельтман [и др.]. Минск: Белорус. лесоустроит. предприятие, 1971. 72 с.
9. Юркевич И. Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах. Минск: Наука и техника, 1980. 120 с.
10. Анучин Н. П. Лесная таксация. М.: Лесная пром-сть, 1982. 561 с.
11. Справочник таксатора / В. С. Мирошников [и др.]. Минск: Ураджай, 1980. 360 с.
12. Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР / В. Ф. Багинский [и др.]. М.: ЦБНТИ, 1984. 308 с.
13. Лесазнаўства. Практыкум для студэнтаў / Я. Г. Пятроў [і інш.]. Мінск: БДТУ, 2000. 172 с.
14. О некоторых вопросах воспроизводства лесов в области лесовосстановления и лесоразведения [Электронный ресурс]: постановление Министерства лесного хозяйства Респ. Беларусь, 19 дек. 2016 г., № 80 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <http://www.pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631578&p1=1> (дата обращения: 24.01.2020).
15. Дунин В. Ф., Янушко А. Д. Оценка кормовой базы лося в лесных угодьях. Минск: Ураджай, 1979. 95 с.
16. Романов В. С., Козло П. Г., Падайга В. И. Охотоведение: учебник. Минск: Тесей, 2005. 448 с.
17. Дудкина Л. А., Пугачевский А. В. Анализ парциальной флоры заброшенных селитебных и сельскохозяйственных земель Березинского биосферного заповедника // Труды Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси. Вып. 44: Ботаника (исследования). Минск, 2015. С. 124–132.
18. Петров М. Ф. Формирование лесных растительных группировок в населенных пунктах Чернобыльской зоны отчуждения // Труды Института леса НАН Беларуси. Вып. 63: Проблемы лесоведения и лесоводства. Гомель, 2005. С. 496–498.
19. Федорук А. Т. Опыт интродукции древесных лиственных растений в Белоруссии. Минск: Университетское, 1985. 160 с.
20. Сироткин Ю. Д., Углянец А. В. О целесообразности культивирования акации белой в лесах БССР // Труды БТИ / Бел. технолог. ин-т. Вып. 24: Лесоведение и лесное хозяйство. Минск, 1989. С. 68–72.
21. Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Д. В. Дубовик [и др.]. Минск: Беларус. навука, 2020. 407 с.
22. Изменение климата и водных ресурсов на территории Полесья / В. И. Мельник [и др.] // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 14–17 сент. 2016 г.: в 2 т. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]. Минск, 2016. Т. 1. С. 399–403.
23. Козловский В. Б., Павлов В. М. Ход роста основных лесообразующих пород СССР. М.: Лесная пром-сть, 1967. 327 с.
24. Westhus W. Zur Vegetationsentwicklung von Afforstungen, insbesondere mit *Robinia pseudoacacia* L. // Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung. 1981. Vol. 21, no. 4. P. 211–225.

References

1. Baginskiy V. F., Kudin M. V. Forest formation processes in the areas of settlements abandoned after the accident at the Chernobyl NPP. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest valuation], 2009, no. 1 (41), pp. 12–17 (In Russian).
2. Lapa V. V., Tsybul'ko N. N., Tsyribko V. B., Ustinova A. M., Chervan' A. N., Logachev I. A., Kudin M. V., Antipenko O. N. *Pochvy Poleskogo gosudarstvennogo radiatsionno-ekologicheskogo zapovednika* [Soil of Polesye State Radiation-Ecological Reserve]. Minsk, IVTs Minfina Publ., 2019. 97 p.
3. Kudin M. V. *Osobennosti lesobrazovatel'nykh protsessov v belorusskom sektore zony evakuatsii (otchuzhdeniya) Chernobyl'skoy AES. Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk* [Features of forest formation processes in the Belarusian sector of the Chernobyl evacuation (exclusion) zone. Abstract of thesis cand. of agr. sci.]. Gomel, 2011. 23 p.
4. Gusev A. P. Processes of self-restoration of vegetation cover in anthropogenic landscapes of the settlement zone (Vetkovsky forestry of the Gomel region). *Trudy Instituta lesa NAN Belarusi* [Works of

the Institute of Forest of NAS of Belarus], 2004, issue 61: Problems of forest radioecology. Forest. Human. Chernobyl, pp. 52–54 (In Russian).

5. Ermokhin M. V., Pugachevskiy A. V., Barsukova T. L., Dudkina L. A. Features of dynamics of anthropogenic load on natural ecosystems of the Berezinsky Biosphere Reserve. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Sovremennoye sostoyaniye, tendentsii razvitiya, ratsional'noye ispol'zovaniye i sokhraneniye biologicheskogo raznoobraziya rastitel'nogo mira"* [Materials of the International Scientific Conference "Current state, development trends, rational use and conservation of biological diversity of the plant world"], Minsk – Naroch, 2014, pp. 189–191 (In Russian).

6. *Instruktsiya o poryadke organizatsii i sodержaniya lesoustroitel'nykh rabot, sostave lesoustroitel'noy dokumentatsii i avtorskom nadzore za realizatsiey lesoustroitel'nykh proektov* [The instruction about the order of the organization and the maintenance of forest management works, structure of forest management documentation and author's supervision of implementation of forest management projects]. Available at: <http://www.zakon.by/document/?guid=12551&p0=W21832881&p1=1> (accessed 24.01.2020).

7. ТКР 622–2018 (33090). Technical requirements in forest management. The allocation and inventory of cutting areas in conducting forest management activities in the forests of the Republic of Belarus. Minsk, Ministry of forestry of the Republic of Belarus Publ., 2018. 96 p. (In Russian).

8. Gel'tman V. S., Ugrinovich L. P., Mayorov M. E., Pukhovskiy A. S., Kavtukho M. G., Romanova T. A., Ivanov A. F., Solov'ev I. N. *Metodicheskiye ukazaniya po pochvenno-lesotipologicheskoy issledovaniyu Gosudarstvennogo lesnogo fonda BSSR* [Guidelines for soil and forest typological research of the State forest fund of the BSSR]. Minsk, Belorusskoe lesoustroitel'noye predpriyatiye Publ., 1971. 72 p.

9. Yurkevich I. D. *Vydeleniye tipov lesa pri lesoustroitel'nykh rabotakh* [Identification of forest types in forest managements operations]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1980. 120 p.

10. Anuchin N. P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest valuation]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 561 p.

11. Miroshnikov V. S., Trull' O. A., Ermakov V. E., Dol'skiy L. V., Kostenko A. G. *Spravochnik taksatora* [A guide for forest taxator]. Minsk, Uradzhay Publ., 1980. 360 p.

12. Baginskiy V. F., Kislyakov V. N., Shvets V. F., Dol'skiy L. V., Kostenko A. G. *Normativnyye materialy dlya taksatsii lesa Belorusskoy SSR* [Normative materials for forest inventory of the Belarusian SSR]. Moscow, TsBNTI Publ., 1984. 308 p.

13. Petrov E. G., Labokha K. V., Mukhurov L. I., Rigal' L. V. *Lesovedeniye. Praktikum dlya studentov* [Forest science. A guide for students]. Minsk, BGTU Publ., 2000. 172 p.

14. *O nekotorykh voprosakh vosproizvodstva lesov v oblasti lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya* [About some questions of reproduction of the woods in the field of reforestation and afforestation]. Available at: <http://www.pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631578&p1=1> (accessed 24.01.2020).

15. Dunin V. F., Yanushko A. D. *Otsenka kormovoy bazy losya v lesnykh ugod'yakh* [Assessment of the forage base for elk on forest land]. Minsk, Uradzhay Publ., 1979. 95 p.

16. Romanov V. S., Kozlo P. G., Padayga V. I. *Okhotovedeniye: uchebnik* [Hunting science: a textbook]. Minsk, Tesey Publ., 2005. 448 p.

17. Dudkina L. A., Pugachevskiy A. V. Analysis of the flora of abandoned partial residential and agricultural land Berezinsky Biosphere Reserve. *Trudy Instituta eksperimental'noy botaniki NAN Belarusi* [Works of the Institute of Experimental Botany of NAS of Belarus], 2015, issue 44: Botany (researches), pp. 124–132 (In Russian).

18. Petrov M. F. Formation of groups of forest vegetation in partial residential localities of the Chernobyl exclusion zone. *Trudy Instituta lesa NAN Belarusi* [Works of the Institute of Forest of NAS of Belarus], 2005, issue 63: Problems of forest science and forestry, pp. 496–498 (In Russian).

19. Fedoruk A. T. *Opyt introduksii drevesnykh listvennykh rasteniy v Belorussii* [Experience of introduction of woody deciduous plants in Belarus]. Minsk, Universitetskoye Publ., 1985. 160 p.

20. Sirotkin Yu. D., Uglyanets A. V. On the feasibility of cultivating white acacia in the forests of the BSSR. *Trudy Belorusskogo tekhnologicheskogo instituta* [Works of the Belarusian Technological Institute], 1989, issue 24: Forest science and forestry, pp. 68–72 (In Russian).

21. Dubovik D. V., Dmitrieva S. A., Laman N. A., Lebed'ko V. N., Levkovich A. V., Maslovskiy O. M., Parfenov V. I., Prokhorov V. N., Pugachevskiy A. V., Savchuk S. S., Skuratovich A. N., Sysoy I. P., Chumakov L. S., Yakovleva I. M., Garanovich I. M., Dzhus M. A., Romanyuk A. L. *Chernaya kniga flory Belarusi: chuzherodnyye vredonosnyye rasteniya* [Black book of flora of Belarus: foreign harmful plants]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2020. 407 p.

22. Mel'nik V. I., Komarovskaya Ye. V., Partasenok I. S., Kravtsova S. M. Climate and water resources changes on the territory of Polesie. *Sbornik докладов Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya prirodnykh resursov i ustoychivoye razvitiye Poles'ya"* [Papers of the International Scientific Conference "Problems of rational use of natural resources and sustainable development of Polesie"], Minsk, 2016, vol. 1, pp. 399–403 (In Russian).

23. Kozlovskiy V. B., Pavlov V. M. *Khod rosta osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod SSSR* [Stand development of the main forest-forming breeds of the USSR]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1967. 327 p.

24. Westhus W. Zur Vegetationsentwicklung von Afforstungen, insbesondere mit Robinia pseudoacacia L. *Archiv fur Naturschutz und Landschaftstorschung*, 1981, vol. 21, no. 4, pp. 211–225.

Информация об авторах

Углынец Анатолий Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела экологии растительных комплексов. Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (247618, Гомельская обл., г. Хойники, ул. Терешковой, 7, Республика Беларусь). E-mail: uhlianets@mail.ru

Гарбарук Дмитрий Константинович – заведующий отделом экологии растительных комплексов. Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (247618, Гомельская обл., г. Хойники, ул. Терешковой, 7, Республика Беларусь). E-mail: dima.garbaruk.77@mail.ru

Information about the authors

Uglyanets Anatoliy Vladimirovich – PhD (Agriculture), Leading Researcher, the Department of Ecology of Vegetative Complexes. Polesye State Radiation-Ecological Reserve (7, Tereshkova str., 247618, Khoiniki, Gomel region, Republic of Belarus). E-mail: uhlianets@mail.ru

Garbaruk Dmitriy Konstantinovich – Head of the Department of Ecology of Vegetative Complexes. Polesye State Radiation-Ecological Reserve (7, Tereshkova str., 247618, Khoiniki, Gomel region, Republic of Belarus). E-mail: dima.garbaruk.77@mail.ru

Поступила 08.06.2020

УДК 630*221:630*114

М. В. Юшкевич, Д. В. Шиман, Г. Я. Климчик, О. Г. Бельчина, А. С. Клыш
Белорусский государственный технологический университет

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ РУБОК ЛЕСА
НА СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ХВОЙНЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ И ПОЧВЕ В УСЛОВИЯХ
НЕГОРЕЛЬСКОГО УЧЕБНО-ОПЫТНОГО И МИНСКОГО ЛЕСХОЗОВ**

Определено содержание химических элементов (фосфора, калия, кальция, магния и азота) в лесных фитоценозах, лесной подстилке и почве в зависимости от проводимых рубок леса, направлений лесовосстановления и способов обращения с порубочными остатками. При рубках главного пользования происходит значительное по объему изъятие элементов из лесной экосистемы в основном за счет древесных стволов. Отличие постепенных от сплошнолесосечных рубок заключается в поэтапном выносе практически того же объема элементов. При этом накопленные в фитоценозе за оборот рубки элементы по своей массе в 2,9–3,7 раза превышают их запасы в лесной подстилке и почве (до 30 см). Удаление химических элементов с порубочными остатками не превышает 10% от их общего запаса в фитоценозе, лесной подстилке, почве и составляет 30–40% от содержания питательных элементов в лесной подстилке и почве (до 30 см). После рубок главного пользования масса зольных элементов и N в лесной подстилке и почве (до 30 см) не меньше, чем на участках средневозрастных, приспевающих и спелых древостоев, где проводятся рубки. Вид рубки главного пользования, направление лесовосстановления и способ очистки мест рубок (удаление/неудаление порубочных остатков с лесосеки) не оказывают значительного влияния на почвенное плодородие и, предположительно, продуктивность следующего поколения древостоя.

Ключевые слова: рубка, фитоценоз, почва, химические элементы, порубочные остатки.

Для цитирования: Юшкевич М. В., Шиман Д. В., Климчик Г. Я., Бельчина О. Г., Клыш А. С. Некоторые особенности влияния рубок леса на содержание химических элементов в хвойных фитоценозах и почве в условиях Негорельского учебно-опытного и Минского лесхозов // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 42–51.

M. V. Yushkevich, D. V. Shiman, G. Ya. Klimchik, O. G. Bel'china, A. S. Klysh
Belarusian State Technological University

**SOME FEATURES OF THE INFLUENCE OF LOGGING
ON THE CONTENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN CONIFEROUS PHYTOCENOSES
AND SOIL IN THE CONDITIONS OF THE NEGORELSKY
EDUCATIONAL-EXPERIMENTAL AND MINSK FORESTRY ENTERPRISES**

The content of chemical elements (phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and nitrogen) in forest phytocenoses, forest floor, and soil was determined depending on the logging, reforestation directions, and methods of handling felling residues. In the case of main-use forests, there is a significant amount of removal of elements from the forest ecosystem, mainly due to tree trunk. The difference between gradual and continuous cutting is the gradual removal of almost the same volume of elements. At the same time, the elements accumulated in the phytocenosis during the felling cycle by their mass are 2.9–3.7 times higher than their reserves in the forest floor and soil (up to 30 cm). Removal of chemical elements with felling residues does not exceed 10% of their total stock in the phytocenosis, forest floor and soil and is 30–40% of the content of nutrients in the forest floor and soil (up to 30 cm). After logging of the main use, the mass of ash elements and N in the forest floor and soil (up to 30 cm) is not less than in the areas of medium-aged, Mature and Mature stands where logging is carried out. The type of main-use logging, the direction of reforestation, and the method of clearing logging sites (removal/non-removal of felling residues from the forest) do not significantly affect soil fertility and, presumably, the productivity of the next generation of stands.

Key words: felling, phytocenosis, soil, chemical elements, felling residues.

For citation: Yushkevich M. V., Shiman D. V., Klimchik G. Ya., Bel'china O. G., Klysh A. S. Some features of the influence of logging on the content of chemical elements in coniferous phytocenoses and soil in the conditions of the Negorelsky educational-experimental and Minsk forestry enterprises. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 42–51 (In Russian).

Введение. Лесовыращивание и заготовка древесины осуществляется с применением разнообразных рубок леса (рубок ухода за лесом, санитарных рубок, рубок главного пользования и др.). Наиболее сильное воздействие на лесную экосистему оказывают рубки главного пользования, результатом которых является полное (сплошнолесосечные рубки) или частичное (степенные и выборочные рубки) удаление из экосистемы ее лесообразующего компонента – древостоя, уничтожение или повреждение других компонентов фитоценоза. После сплошнолесосечной рубки чаще всего временно прерывается средообразующая функция леса и возникает необходимость лесовосстановления. Смягчение стрессового воздействия главной рубки возможно при несплошных рубках леса. Кроме заготовки древесины на некоторых лесосеках производится сбор и удаление порубочных остатков для использования в качестве топлива и других целей. Заготовка древесины для производства топлива означает изъятие фитомассы из леса с последующим сжиганием. Разрушение древесины и эмиссия углекислого газа в атмосферу происходят быстрее, нежели при ее гниении в лесу. Если бы эта древесина осталась в лесу, то небольшая часть углерода, содержащегося в ней, в конечном итоге перешла бы в почву. Заготовка порубочных остатков также означает изъятие из лесной экосистемы питательных веществ, особенно когда порубочные остатки заготавливаются раньше, чем с них осыплется хвоя. Если при этом рост молодого поколения леса замедляется, интенсивность накопления углерода в фитомассе уменьшается. По данным некоторых исследований, заготовка сучьев и ветвей на лесосеке может приводить к снижению продуктивности следующего поколения древостоя на 6–32%. В тех случаях, когда заготовка порубочных остатков ведется при рубках ухода, темпы роста сокращаются на 11–26%. Предотвратить снижение продуктивности экосистем в будущем и, соответственно, эффективности угледепонирования можно путем сбора порубочных остатков и пней на достаточном плодородных участках или внесением минеральных удобрений. Расчеты для среднеплодородных почв не показали снижения продуктивности из-за сбора фитомассы при отсутствии внесения удобрений в сравнении с участками, где не производился сбор [1–8].

В целом большинство исследователей сходятся во мнении, что изъятие порубочных остатков и (или) пней (пни часто не заготавливают, так как это более дорогостоящее мероприятие) не оказывает значимого влияния на продуктивность древостоя, успешность естественного возобновления и рост сеянцев, саженцев или подроста.

Однако на бедных почвах целесообразно оставление части хвои и листвы на лесосеке [9–19].

Цель исследования – установление содержания химических элементов в лесных насаждениях, лесной подстилке и почве при различных рубках леса, направлениях лесовосстановления и способах обращения с порубочными остатками с учетом целесообразности утилизационной очистки мест рубок. Исследования выполнены при разработке мероприятия 3.1.3.3 в рамках «Проекта развития лесного сектора Республики Беларусь» Всемирного банка и Глобального экологического фонда.

Основная часть. Для проведения исследований осенью 2018 г. в Литвянском лесничестве филиала УО БГТУ «Негорельский учебно-опытный лесхоз» и Станьковском лесничестве ГЛУ «Минский лесхоз» было создано 16 опытных объектов (1–4 WB/GEF – сосняки кисличные, 5–8 WB/GEF – сосняки орляковые, 9–12 WB/GEF – ельники кисличные, 13–16 WB/GEF – ельники орляковые).

На объектах 1 и 2 WB/GEF осенью 2018 г. проведены вторые приемы равномерно-степенных трехприемных рубок соответственно с разбрасыванием порубочных остатков и их полным удалением с лесосеки. Запасы древостоев уменьшились на 186 и 148 м³/га, т. е. интенсивность рубок составила 38 и 30%. Полнота древостоев снизилась с 0,82 до 0,57 и 0,58, состав древостоев практически не изменился.

На объектах 3 и 4 WB/GEF осенью 2018 г. проведены сплошнолесосечные рубки соответственно с полным удалением порубочных остатков и их разбрасыванием на лесосеке. На объекте 3 WB/GEF были оставлены семенные деревья сосны в количестве 13 шт./га, запас которых составил 39,4 м³/га, на объекте 4 WB/GEF – деревья сосны, ели и березы в количестве 5, 15 и 2 шт./га (в качестве семенных деревьев, для сохранения биологического разнообразия и формирования смешанного древостоя) с общим запасом 27,2 м³/га.

На объектах 5 и 6 WB/GEF осенью 2018 г. проведены вторые приемы равномерно-степенных трехприемных рубок соответственно с полным удалением порубочных остатков и их разбрасыванием на лесосеке. Запасы древостоев уменьшились на 120 и 141 м³/га (интенсивность рубок составила 26 и 30%). Полнота древостоев снизилась с 0,82 до 0,61 и 0,63.

На объектах 7 и 8 WB/GEF осенью 2018 г. проведены сплошнолесосечные рубки главного пользования соответственно с полным удалением порубочных остатков и их разбрасыванием на лесосеке. На объекте 7 WB/GEF были оставлены отдельные экземпляры сосны, ели, березы и осины в количестве 32 шт./га, запас которых

составил 39,3 м³/га, на объекте 8 WB/GEF – деревья сосны, ели, березы и осины в количестве 5, 14, 4 и 2 шт./га (в качестве семенных деревьев, для сохранения биологического разнообразия и формирования смешанного древостоя) с общим запасом 30,6 м³/га.

На объектах 9 и 10 WB/GEF осенью 2018 г. проведены сплошнолесосечные рубки главного пользования соответственно с полным удалением порубочных остатков и их сбором на лесосеке в валы. На объекте 9 WB/GEF оставлены отдельные экземпляры дуба в количестве 6 шт./га с запасом 1,2 м³/га, на объекте 10 WB/GEF вырублен весь древостой.

На объектах 11 и 12 WB/GEF осенью 2018 г. проведены первые приемы равномерно-постепенных трехприемных рубок соответственно с полным удалением порубочных остатков и их разбрасыванием на лесосеке. После рубок запасы древостоев составили 365 и 300 м³/га, т. е. уменьшились на 256 и 320 м³/га (интенсивность рубок – 41 и 52%). Полнота древостоев снизилась с 1,15 до 0,65 и 0,59.

На объектах 13 и 14 WB/GEF осенью 2018 г. проведены первые приемы равномерно-постепенных трехприемных рубок главного пользования соответственно с полным удалением порубочных остатков и их сбором в кучи. После рубок запасы древостоев составили 464 и 410 м³/га, т. е. уменьшились на 117 и 171 м³/га (интенсивность рубок – 20 и 29%). Полнота древостоев снизилась с 0,95 до 0,70 и 0,61.

На объектах 15 и 16 WB/GEF осенью 2018 г. проведены сплошнолесосечные рубки соответственно с полным удалением порубочных остатков и их сбором на лесосеке в валы. На участках были вырублены все деревья.

На всех объектах с проведенными сплошнолесосечными рубками созданы лесные культуры.

Для оценки возможности изъятия порубочных остатков при различных рубках леса и направлениях лесовосстановления без значительного влияния на содержание зольных элементов (фосфор, калий, кальций и магний) и азота в лесных почвах были подобраны опытные

и производственные объекты с проведенными лесохозяйственными мероприятиями (табл. 1).

Опытный объект 1-ГПП представляет собой участок, на котором проведены два из трех приемов группово-постепенной рубки. Объекты 1-РПП «а» (без пожара) и 1-РПП «б» (с низовым пожаром) представляют собой насаждения естественного происхождения, сформированные равномерно-постепенной четырехприемной рубкой. Для сравнения с этими участками подобран объект 1-СР с проведенной сплошной рубкой и последующим искусственным лесовосстановлением. На объектах 1-РО и 2-СР в 2006 г. были проведены соответственно первый прием рубки обновления и в дальнейшем сформирован древостой естественного происхождения и сплошная рубка с последующим искусственным лесовосстановлением. Объект 2-РПП представляет собой ельник естественного происхождения, сформированный равномерно-постепенной двухприемной рубкой. Для сравнения с этим участком подобран объект 3-СР с проведенной сплошной рубкой и последующим искусственным лесовосстановлением ели, которая в процессе природной сукцессии выпала из формирующегося древостоя и на участке образовался сосняк с примесью ели и березы.

При закладке пробных площадей и в процессе экспериментов (2018 г.) на опытных и производственных объектах с проведенными лесохозяйственными мероприятиями были использованы общепринятые в лесоводстве и лесной таксации методы исследований. В соответствии с разработанной РУП «Белгослес» методикой в аналитической лаборатории было определено содержание химических элементов в образцах почвы (0–30 см), лесной подстилки, древостоя, подроста, подлеска и живого напочвенного покрова (ЖНП), взятых на изучаемых объектах. Наибольший запас анализируемых химических элементов в сосняках орляковых (объекты 5–8 WB/GEF) и сосняках кисличных (объекты 1–4 WB/GEF) содержится в древостое (от 24,7 до 25,9 т/га), что составляет более 99% от их запаса во всем фитоценозе. Значительную долю занимают Са (62,4%) и Mg (15,8%).

Таблица 1

Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев на исследованных объектах

Объект	Состав	Возраст, лет	Тип леса	Полнота	Бонитет	Количество деревьев, шт./га	Запас, м ³ /га
1-ГПП	10С + Б	119	С. мш.	0,32	II	85	167
1-РПП «а»	10С + Б	20	С. вер.	0,71	II	2917	64
1-РПП «б»	9С1Б			0,79		2917	81
1-СР	10С + Б	21	С. вер.	0,90	II	2450	63
1-РО	8С1Б1Ос	6	С. мш.	0,80	II	8250	7
2-СР	9С1Б	12	С. мш.	0,80	II	4960	12
2-РПП	7Е2С1Б + Д, Ос	40	Е. мш.	0,79	II	1940	126
3-СР	7С2Б1Е	20	С. ор.	0,69	I	2524	86

Меньше всего занимает N. Подрост и подлесок на рассматриваемых объектах практически полностью отсутствуют. ЖНП содержит всего 258 и 369 кг/га исследуемых элементов соответственно в сосняках орляковых и кисличных, что составляет 0,7–0,9% от их общего запаса в фитоценозе. Примерно половина этого запаса приходится на N, что отличает данный компонент от древостоя. Анализ содержания элементов по фракциям фитомассы древостоя показывает, что наибольший их запас в сосняках орляковых и кисличных (от 19,5 до 20,5 т/га) в стволах деревьев, что составляет около 79% от запаса во всем древостое. Доминирует Ca (63,1%). В хвое только 483 и 502 кг/га химических элементов соответственно в сосняках орляковых и кисличных. Чуть более 1/3 этого запаса приходится на N [20–22].

В лесной подстилке и почве сосняков кисличных находится 0,7 и 7,4 т/га питательных элементов соответственно, среди которых N занимает 69,2 и 38,8%. Запас химических элементов в лесной подстилке и почве составляет 30,8% от запаса элементов в фитомассе, что при полном ее удалении может удовлетворить потребность молодого древостоя в питательных элементах на протяжении 22 лет. Фактически после сплошной рубки обеспеченность может составить 32–33 года в зависимости от способа очистки мест рубок при условии оставления пней на лесосеке. В сосняках орляковых наблюдается аналогичная ситуация по запасу элементов питания в лесной подстилке и почве и обеспеченности ими молодых древостоев.

Вследствие исключительного преобладания запасов химических элементов в древостое по сравнению с другими компонентами соснового фитоценоза удаление порубочных остатков после проведения вторых приемов равномерно-постепенных трехприемных рубок не привело к уменьшению содержания элементов в сравнении с их оставлением. Уменьшение содержания элементов связано с интенсивностью рубок, и на

исследуемых объектах составило от 5,6/5,8 т/га соответственно с удалением/без удаления порубочных остатков в сосняках орляковых до 7,2/8,0 т/га в сосняках кисличных. Отличительной особенностью участков рубок с удалением порубочных остатков является больший вынос N на 5–7%, связанный с изъятием хвои (листвы) вместе с заготавливаемой биомассой.

В результате рубок неизбежно происходит повреждение и уничтожение части живого напочвенного покрова, что приводит к уменьшению количества химических элементов в сохранившемся травяно-кустарничковом и мохово-лишайниковом покрове (табл. 2).

Полное или практически полное (вследствие оставления семенных деревьев) удаление древостоя при сплошнолесосечных (сплошных) рубках привело к меньшему содержанию химических элементов в основных фитоценозах после удаления порубочных остатков в отличие от их оставления. Уменьшение содержания элементов составило от 20,0/18,1 т/га соответственно с удалением/без удаления порубочных остатков в сосняках орляковых до 21,6/19,7 т/га в сосняках кисличных. В среднем на объектах выносятся 81,0–81,5% исследуемых элементов при заготовке биомассы и 73,6–74,8% при ее оставлении на лесосеке. Как и на постепенных рубках, на участках без удаления порубочных остатков наблюдается меньший вынос N (61–64%). При заготовке биомассы данный показатель достигает 84–86%. При сплошных рубках практически полностью уничтожается живой напочвенный покров, что приводит к значительному уменьшению количества химических элементов в оставшихся на вырубке травяно-кустарничковом и мохово-лишайниковом ярусах (табл. 2). Через 1–3 года их запасы в живом напочвенном покрове восстанавливаются вследствие разрастания растений открытых мест обитания и сорных видов.

В результате сплошных рубок в сосняках вынос P и K превышает их запасы в лесной подстилке и почве в 1,4–1,8 раза, Mg – в 1,8–2,6 раза.

Таблица 2

**Содержание исследуемых элементов после рубок главного пользования
в живом напочвенном покрове сосняков, кг/га**

Показатель	P	K	Ca	Mg	N
Сосняки кисличные					
До рубки	14	49	88	11	207
После постепенной рубки	5	17	31	4	72
После сплошной рубки	3	10	18	2	41
Сосняки орляковые					
До рубки	8	53	63	6	128
После постепенной рубки	3	19	22	2	45
После сплошной рубки	2	11	13	1	26

Существенно отличается изъятие Са, которое больше его остающейся массы в лесной подстилке и почве в 10,1–11,4 раза. Можно предположить, что фитоценоз и, прежде всего, древесной в процессе роста поглощает зольные элементы, особенно Са, из слоев почвы ниже 30 см, где, вероятно, есть значительные запасы питательных элементов. Содержание N, наоборот, в лесной подстилке и почве в 4,5–7,1 раза больше, чем его удаление при рубке.

Способ очистки мест рубок почти не оказывает влияния на запасы химических элементов в лесной подстилке и почве. Удаление порубочных остатков приводит к увеличению выносимой части элементов в среднем на 8–9% по сравнению с их оставлением на лесосеке. При этом вынос N существенно отличается от других элементов и составляет 27–30%.

В спелых сосновых фитоценозах до проведения рубок (1–8 WB/GEF) содержание элементов варьирует от 24,9 до 26,2 т/га и в процессе сплошной рубки уменьшается в соответствии с ее интенсивностью. После завершения рубок главного пользования и последующего формирования нового поколения леса запасы химических элементов относительно невелики (от 0,5 до 0,7 т/га), значительную их долю (около 30% на объекте 1-РО, 12% на объекте 2-СР) составляет живой напочвенный покров. Долевое участие ЖНП в запасах элементов к возрасту спелости древостоев уменьшается и редко превышает 1%. Различий в содержании элементов питания в сосновых фитоценозах в зависимости от способа лесовосстановления не наблюдается.

В лесной подстилке и почве сосняков вересковых (объекты 1-РПП «а», 1-РПП «б» и 1-СР) содержится 5,3, 4,7 и 6,1 т/га питательных элементов соответственно, среди которых на долю N приходится 38,2, 31,3 и 59,3%. Несмотря на практически полное удаление древостоя при сплошной рубке запасы химических элементов не меньше по сравнению с участком, где проведена равномерно-постепенная рубка. На объекте 1-РПП «б» (с лесным пожаром) содержится меньше на 11,0% питательных элементов по сравнению с объектом 1-РПП «а» (без пожара) за счет N (1,5 и 2,0 т/га соответственно). Запасы элементов на исследуемых объектах сопоставимы с постоянным пунктом учета (ППУ) РУП «Белгослес», расположенном в Старобинском лесхозе и имеющем схожую лесоводственно-таксационную характеристику.

В лесной подстилке и почве сосняков мшистых (объекты 1-ГПП, 1-РО и 2-СР) содержится 7,0, 12,8 и 8,8 т/га питательных элементов соответственно, среди которых на долю N приходится 44,7, 60,0 и 48,0%.

По полученным результатам исследований на рассматриваемых объектах не выявлено зависимости запасов химических элементов от вида проводимой ранее рубки, а также способа очистки лесосек. Содержание элементов на объектах в лесной подстилке и почве также сопоставимо с 22 ППУ РУП «Белгослес» в Минской области с похожей лесоводственно-таксационной характеристикой.

Как и у соснового фитоценоза, наибольший запас химических элементов в ельниках орляковых (объекты 13–16 WB/GEF) и кисличных (объекты 9–12 WB/GEF) в количестве 30,9 и 33,0 т/га, или 98,6 и 99,5%, содержится в древостое. Преобладают Са (62,1%), Mg (15,7%) и К (12,5 и 13,3%), на долю которых приходится в данных типах леса соответственно 90,3 и 91,2% от запаса всех элементов. Меньше всего содержится N. Подлесок на рассматриваемых объектах практически полностью отсутствует, а содержание элементов питания в подросте и ЖНП составляет 24 и 422 кг/га, 12 и 144 кг/га соответственно в ельниках орляковых и кисличных. От 50,7 до 74,9% запаса исследуемых элементов в ЖНП составляет N, что связано с его видовым составом в разных типах леса.

Наибольший запас рассматриваемых элементов в ельниках орляковых и кисличных (24,3 и 26,3 т/га) содержится в стволах деревьев и составляет около 80% от их запаса в древостое. Преобладает Са. Наименьшие запасы элементов содержатся в хвое – 824 и 847 кг/га соответственно в ельниках орляковых и кисличных. Около 1/3 приведенных запасов составляет N.

В лесной подстилке и почве ельников орляковых и кисличных находится 1,1/8,4 и 2,4/6,4 т/га питательных элементов соответственно, среди которых на долю N приходится около 50 и 60%. Запас зольных элементов и N в лесной подстилке и почве исследуемых типов леса составляет 30,2 и 26,7% от запаса элементов в фитомассе. В случае проведения сплошной рубки обеспеченность в элементах питания может составить 36 и 30 лет соответственно в ельниках орляковых и кисличных в зависимости от возможных вариантов очистки лесосек от порубочных остатков.

При первых приемах равномерно-постепенных рубок в ельниках удаление порубочных остатков не приводит к уменьшению содержания химических элементов. Причиной этого является преимущественное содержание рассматриваемых элементов в древостое и различная интенсивность рубок.

Уменьшение запасов элементов в травяно-кустарничковом и мохово-лишайниковом ярусах наблюдается в связи с их повреждением

и частичным уничтожением вследствие проведения подготовительных и основных лесосечных работ (табл. 3). Содержание химических элементов в ЖНП после проведения первых приемов рубок меньше на участках без удаления порубочных остатков из-за занимаемой их кучами части лесосеки.

После сплошных рубок с удалением порубочных остатков отмечено существенное уменьшение содержания химических элементов в еловых фитоценозах (с 31,4/33,2 т/га до 3,3/3,2 т/га соответственно в ельниках орляковых и кисличных). На участках без удаления порубочных остатков по сравнению с участками, где производилась их заготовка, отмечены более высокие запасы исследуемых элементов, в том числе Р, К, Са и Mg примерно в 2 раза, N – в 5–6 раз. Вынос химических элементов при заготовке порубочных остатков составляет примерно 90%, а при их оставлении на лесосеке – около 80%. На участках без удаления порубочных остатков наблюдается меньший вынос N (58%), а при их заготовке – достигает 93%.

Характерными особенностями сплошных рубок являются повреждение и уничтожение нижних ярусов растительности, резкое изменение микроклимата, что проявляется в уменьшении запасов элементов в сохранившихся ярусах ЖНП (табл. 3).

При сплошных рубках в ельниках вынос К больше его запаса в лесной подстилке и почве в 1,1–2,8 раза, Р – в 3,6–4,5 раза, а Mg – в 3,3–4,1 раза в ельниках орляковых. Значительно отличается изъятие Mg в ельниках кисличных, которое больше его остающейся массы в лесной подстилке и почве в 7,4–9,2 раза, а также Са – в 9,1–15,5 раза. Содержание N, как и в сосняках в лесной подстилке и почве ельников в 3,5–9,2 раза больше, чем его удаляется при сплошной рубке.

В ельнике мшистом (объект 2-РПП) содержание химических элементов в фитоценозе составляет 6,7 т/га, а в сосняке орляковом (объект 3-СР) – 4,7 т/га, при том, что рубка древостоев на обоих участках началась в 1989 г. На объекте 2-РПП на момент начала рубки под пологом древостоя произрастал крупный подрост ели, а на объекте 3-СР подрост отсутствовал, и созданные лесные культуры ели в последующие десятилетия практически полностью были вытеснены естественно возобновившейся сосной. Доля ЖНП в запасах элементов варьируется от 2,7% в сосновом фитоценозе до 4,8% в еловом. На объекте 2-РПП при проведении рубки порубочные остатки удалялись с лесосеки, но это не отразилось на продуктивности древостоя и, соответственно, содержания элементов.

В лесной подстилке и почве как ельника мшистого, так и сосняка орлякового содержится 7,2 т/га питательных веществ. Это несколько меньше, чем на объектах 1–4 WB/GEF и 5–8 WB/GEF в сосняках кисличных и сосняках орляковых (8,1 и 8,3 т/га), но сопоставимо, или иногда больше, чем на 21 ППУ РУП «Белгослес», расположенных в Минской области и имеющих похожую лесоводственно-таксационную характеристику, т. е. удаление порубочных остатков практически не повлияло на запасы элементов питания в лесной подстилке и почве.

Лесохозяйственная целесообразность заготовки древесины с использованием порубочных остатков определяется преимущественно лесоводственно-экологическими и экономическими аспектами. Лесоводственно-экологическая составляющая характеризуется влиянием заготовки порубочных остатков на углеродные потоки, динамику запаса элементов питания в лесной экосистеме, видовое разнообразие и др.

Таблица 3

Запасы химических элементов при постепенной и сплошной рубке в живом напочвенном покрове еловых фитоценозов, кг/га

Показатель	Р	К	Са	Mg	N
Ельник кисличный					
До рубки	5	20	40	6	73
После постепенной рубки с удалением порубочных остатков	5	18	36	5	66
После постепенной рубки без удаления порубочных остатков	4	15	30	5	55
После сплошной рубки с удалением порубочных остатков	–	1	3	–	5
После сплошной рубки без удаления порубочных остатков	–	1	2	–	4
Ельник орляковый					
До рубки	8	35	56	7	316
После постепенной рубки с удалением порубочных остатков	6	27	44	6	247
После постепенной рубки без удаления порубочных остатков	6	25	39	5	221
После сплошной рубки с удалением порубочных остатков	–	2	3	–	18
После сплошной рубки без удаления порубочных остатков	–	2	3	–	14

Экономический аспект выражается в замене традиционных источников энергии древесной биомассой, которая имеет ряд преимуществ (возможность ее заготовки недалеко от мест потребления вследствие возобновляемости данного ресурса, меньшее содержание в выбросах вредных веществ по сравнению с некоторыми другими видами топлива, относительно меньший выброс CO₂ при сжигании и др.).

Рассмотрим баланс химических элементов в связи с рубкой, порубочными остатками и направлением лесовосстановления. Сплошная рубка приводит к удалению из лесной экосистемы порядка 20,0–30,0 т/га элементов при удалении порубочных остатков с лесосеки (т. е. от 60,6 до 71,3%) и 18,1–26,4 т/га при их оставлении (т. е. от 54,8 до 62,7%). Изъятие происходит в основном за счет древесных стволов. При постепенных рубках происходит поэтапный вынос практически того же объема химических элементов. Удаление порубочных остатков при сплошных рубках приводит к одновременному изъятию около 2,3 т/га исследуемых элементов в сосняках и около 3,5 т/га в ельниках, что не превышает 10% от их запаса в фитоценозах и составляет 30–40% от содержания в лесной подстилке и почве. Запасы элементов в лесной подстилке и почве через 10–30 лет после проведения рубок главного пользования и рубки обновления, в том числе на участках после удаления порубочных остатков (2-РПР), не меньше, чем на участках, где произрастают средневозрастные и более старые древостои, и находятся в пределах варьирования данного показателя в рассматриваемых типах леса, т. е. способ очистки мест рубок практически не влияет на содержание элементов питания в лесной подстилке и почве.

На участках с искусственным лесовосстановлением (1-СР и 2-СР) запасы элементов схожи с участками, где ориентировались на естественное возобновление. При этом отличия в запасе химических элементов в насаждениях искусственного и естественного происхождения можно объяснить тем, что результаты получены на различных объектах, заложенных в одинаковых типах леса (сосняк мшистый и вересковый). Тип леса – это категория, обладаю-

щая схожими, но вариативными (не константными) лесорастительными условиями, что и обуславливает некоторые отличия в содержании питательных элементов. Однако полученные данные не выходили за пределы средних показателей конкретного типа леса по данным анализа объектов сети мониторинга лесов (ППУ РУП «Белгослес»).

Заключение. При рубках главного пользования происходит значительное по объему изъятие химических элементов из лесной экосистемы (при сплошнолесосечных рубках одновременно, а при постепенных в зависимости от длительности периода рубки) в основном за счет стволовой древесины. При этом накопленные в фитоценозе за оборот рубки элементы по своей массе в 2,9–3,7 раза превышают их запасы в лесной подстилке и почве (до 30 см). Поэтому можно предположить, что фитоценоз и, прежде всего, древостой в процессе роста поглощает зольные элементы из слоев почвы ниже 30 см. Отличие постепенных от сплошнолесосечных рубок заключается в поэтапном выносе практически того же объема элементов.

Удаление химических элементов с порубочными остатками не превышает 10% от их общего запаса в фитоценозе, лесной подстилке и почве и составляет 30–40% от содержания питательных элементов в лесной подстилке и почве (до 30 см). После рубок главного пользования масса зольных элементов и N в лесной подстилке и почве (до 30 см) не меньше, чем на участках средневозрастных, приспевающих и спелых древостоев, где проводятся рубки. Таким образом, вид рубки главного пользования, направление лесовосстановления и способ очистки мест рубок (удаление/неудаление порубочных остатков с лесосеки) не оказывают значительного влияния на почвенное плодородие и, предположительно, продуктивность следующего поколения древостоя. Тем не менее с учетом постоянного выноса химических элементов из лесной экосистемы (при рубках ухода за лесом, санитарных рубках, рубках главного пользования и других мероприятиях) необходимо ограничивать, прежде всего, на бедных почвах объем изъятия лесосечных отходов, а также удалять их только после опадения хвои (или листвы) с порубочных остатков.

Список литературы

1. Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. En syntes från Energimyndighetens bränsleprogram 2005–2011: Preliminär rapport / J. de Jong [et al.] // Statens Energimyndighet, 2012. 218 p.
2. Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous forest stands / S. Jacobson [et al.] // Forest. Ecol. Management. 2000. Vol. 129. P. 41–51.

3. Hotspots of the European carbon cycle / G. J. Nabuurs [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2008. Vol. 256. P. 194–200.
4. Effects of climate change and management on net climate impacts of production and utilization of energy biomass in Norway spruce with stable age-class distribution // *Global Change Biology Bioenergy*. 2016. Vol. 8, issue 2. P. 419–427.
5. Sathre R., Gustavsson L. Time-dependent climate benefits of using forest residues to substitute fossil fuels // *Biomass and Bioenergy*. 2011. Vol. 35, issue 7. P. 2506–2516.
6. Sathre R., Gustavsson L. Time-dependent radiative forcing effects of forest fertilization and biomass substitution // *Biogeochemistry*. 2012. Vol. 109, issue 1–3. P. 203–218.
7. Climate effects of bioenergy from forest residues in comparison to fossil energy / L. Gustavsson [et al.] // *Applied Energy*. 2015. Vol. 138. P. 36–50.
8. Torvelainen J., Ylitalo E., Nouro P. Puun energiakäyttö 2013 // *Metsätilastiedote (SVT Maa-, metsä- ja kalatalous)*. 2014. No. 31. P. 7.
9. Metsänhoidon suositukset / O. Äijälä [et al.]. Helsinki: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäkustannus Oy, 2014. 181 p.
10. Egnell G. A review of Nordic trials studying effects of biomass harvest intensity on subsequent forest production // *Forest Ecology and Management*. 2017. Vol. 383. P. 27–36.
11. Egnell G. Effects of slash and stump harvesting after final felling on stand and site productivity in Scots pine and Norway spruce // *Forest Ecology and Management*. 2016. Vol. 371. P. 42–49.
12. Jurevics A., Peichl M., Egnell G. Stand Volume Production in the Subsequent Stand during Three Decades Remains Unaffected by Slash and Stump Harvest in Nordic Forests // *Forests*. 2018. Vol. 9. P. 770.
13. Effects of stump harvesting on soil C and N stocks and vegetation 8–13 years after clear-cutting / R. Hyvönen [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2016. Vol. 371. P. 23–32.
14. Realizing the energy potential of forest biomass in Sweden – How much is environmentally sustainable? / J. de Jong [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2017. Vol. 383. P. 3–16.
15. Quantifying consequences of removing harvesting residues on forest soils and tree growth – a meta-analysis / D. L. Achat [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 348. P. 124–141.
16. Criteria and guidance considerations for sustainable tree stump harvesting in British Columbia / S. M. Berch [et al.] // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2012. Vol. 27, issue 8. P. 709–723.
17. De Jong J., Dahlberg A. Impact on species of conservation interest of forest harvesting for bioenergy purposes // *Forest Ecology and Management*. 2017. Vol. 383. P. 37–48.
18. Impact of whole-tree harvest on soil and stream water acidity in southern Sweden based on HD-MINTEQ simulations and pH-sensitivity / S. Löfgren [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2017. Vol. 383. P. 49–60.
19. Does the harvest of logging residues and wood-ash recycling affect the mobilization and bioavailability of trace metals? / B. A. Olsson [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2017. Vol. 383. P. 61–72.
20. Жилкин Б. Д., Григорьев В. П., Рожков Л. Н. Исследование влияния люпина на азотное и минеральное питание ели // *Агрехимия*. 1970. № 11. С. 14–20.
21. Жилкин Б. Д., Григорьев В. П., Рожков Л. Н. Исследование биологического круговорота азота и зольных элементов в еловых фитоценозах с междурядной культурой люпина // *Лесоведение и лесное хозяйство*. 1971. Вып. 4. С. 13–21.
22. Жилкин Б. Д., Григорьев В. П., Рожков Л. Н. Опыт улучшения азотного и минерального питания ели обыкновенной культурой люпина многолетнего // *Питание древесных растений и проблема повышения продуктивности лесов*. Петрозаводск, 1972. С. 94–110.

References

1. De Jong J., Akselsson C., Berglund H., Egnell G., Gerhardt K., Lönnberg L., Olsson B., Von Stedingk H. Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. En syntes från Energimyndighetens bränsleprogram 2005–2011: Preliminär rapport. *Statens Energimyndighet*, 2012. 218 p.
2. Jacobson S., Kukkola M., Mälkönen E., Tveite B. Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous forest stands. *Forest. Ecol. Management*, 2000, vol. 129, pp. 41–51.
3. Nabuurs G. J., Thürig E., Armolaitis K. Hotspots of the European carbon cycle. *Forest Ecology and Management*, 2008, vol. 256, pp. 194–200.

4. Torssonen P., Peltola H., Strandman H., Kilpeläinen A. Effects of climate change and management on net climate impacts of production and utilization of energy biomass in Norway spruce with stable age-class distribution. *Global Change Biology Bioenergy*, 2016, vol. 8, issue 2, pp. 419–427.
5. Sathre R., Gustavsson L. Time-dependent climate benefits of using forest residues to substitute fossil fuels. *Biomass and Bioenergy*, 2011, vol. 35, issue 7, pp. 2506–2516.
6. Sathre R., Gustavsson L. Time-dependent radiative forcing effects of forest fertilization and biomass substitution. *Biogeochemistry*, 2012, vol. 109, issue 1–3, pp. 203–218.
7. Gustavsson L., Haus S., Ortiz C., Sathre R., Truong N. Le. Climate effects of bioenergy from forest residues in comparison to fossil energy. *Applied Energy*, 2015, vol. 138, pp. 36–50.
8. Torvelainen J., Ylitalo E., Nouro P. Puun energiakäyttö 2013. *Metsätilastiedote (SVT Maa-, metsä- ja kalatalous)*, 2014, no. 31, p. 7.
9. Äijälä O., Koistinen A., Sved J., Vanhatalo K., Väisänen P. Metsänhoidon suositukset. Helsinki, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäkustannus Oy, 2014. 181 p.
10. Egnell G. A review of Nordic trials studying effects of biomass harvest intensity on subsequent forest production. *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 383, pp. 27–36.
11. Egnell G. Effects of slash and stump harvesting after final felling on stand and site productivity in Scots pine and Norway spruce. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 371, pp. 42–49.
12. Jurevics A., Peichl M., Egnell G. Stand Volume Production in the Subsequent Stand during Three Decades Remains Unaffected by Slash and Stump Harvest in Nordic Forests. *Forests*, 2018, vol. 9, pp. 770.
13. Hyvönen R., Kaarakka L., Leppälampi-Kujansuu J., Olsson B. Effects of stump harvesting on soil C and N stocks and vegetation 8–13 years after clear-cutting. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 371, pp. 23–32.
14. De Jong J., Akselsson C., Gustaf E., Löfgren S. Realizing the energy potential of forest biomass in Sweden – How much is environmentally sustainable? *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 383, pp. 3–16.
15. Achat D. L., Deleuze C., Landmann G., Pousse N., Ranger J., Augusto L. Quantifying consequences of removing harvesting residues on forest soils and tree growth – a meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 2015, vol. 348, pp. 124–141.
16. Berch S. M., Curran M., Dymond C., Hannam K., Murray M., Tedder S., Titus B., Todd M. Criteria and guidance considerations for sustainable tree stump harvesting in British Columbia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2012, vol. 27, issue 8, pp. 709–723.
17. De Jong J., Dahlberg A. Impact on species of conservation interest of forest harvesting for bioenergy purposes. *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 383, pp. 37–48.
18. Löfgren S., Agren A., Gustafsson J. P., Olsson B. Impact of whole-tree harvest on soil and stream water acidity in southern Sweden based on HD-MINTEQ simulations and pH-sensitivity. *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 383, pp. 49–60.
19. Olsson B., Akerblom S., Bishop K., Eklöf K. Does the harvest of logging residues and wood-ash recycling affect the mobilization and bioavailability of trace metals? *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 383, pp. 61–72.
20. Zhilkin B. D., Grigor'ev V. P., Rozhkov L. N. Study of the effect of lupine on the nitrogen and mineral nutrition of spruce. *Agrokimiya [Agrochemistry]*, 1970, no. 11, pp. 14–20 (In Russian).
21. Zhilkin B. D., Grigor'ev V. P., Rozhkov L. N. The study of the biological cycle of nitrogen and ash elements in plant communities of spruce with a row of lupine culture. *Lesovedeniye i lesnoye khozyaystvo [Forest science and forestry]*, 1971, no. 4, pp. 13–21 (In Russian).
22. Zhilkin B. D., Grigor'ev V. P., Rozhkov L. N. Experience in improving the nitrogen and mineral nutrition of spruce with a common culture of lupine perennial. *Pitaniye drevesnykh rasteniy i problema povysheniya produktivnosti lesov [Nutrition of woody plants and the problem of increasing forest productivity]*. Petrozavodsk, 1972, pp. 94–110 (In Russian).

Информация об авторах

Юшкевич Михаил Валентинович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: les@belstu.by

Шиман Дмитрий Валентинович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: les@belstu.by

Климчик Геннадий Яковлевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: les@belstu.by

Бельчина Олеся Григорьевна – ассистент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: belchyna@belstu.by

Клыш Андрей Сергеевич – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: klysh@belstu.by

Information about the authors

Yushkevich Mikhail Valentinovich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: les@belstu.by

Shiman Dmitriy Valentinovich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: les@belstu.by

Klimchik Gennadiy Yakovlevich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: les@belstu.by

Bel'china Olesia Grigorievna – Master's degree student, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: belchyna@belstu.by

Klysh Andrey Sergeevich – PhD (Agriculture), the Head of the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: klysh@belstu.by

Поступила 27.10.2020

ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ

УДК 630*232.311.3

Н. К. Крук, Н. И. Якимов, П. В. Тупик, А. В. Юрения
Белорусский государственный технологический университет

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ШИШЕК И КАЧЕСТВО СЕМЯН НА ЛЕСОСЕМЕННЫХ ПЛАНТАЦИЯХ ЛИСТВЕННОЙ ЕВРОПЕЙСКОЙ

Исследования проводились на четырех лесосеменных плантациях лиственницы европейской в ГЛХУ «Ивацевичский лесхоз». Лесосеменные плантации были созданы с периодичностью в несколько лет с 2008 по 2014 гг. Они характеризуются хорошим ростом и состоянием произрастающих деревьев. Сохранность деревьев на плантациях составляет 87,2–100%. Высота деревьев варьирует в пределах 2,8–3,3 м, что облегчает сбор шишек.

Биометрические показатели шишек (длина, диаметр, масса) определялись на основании измерений 800 шт. шишек, которые собирались по 200 шт. с каждой плантации. После извлечения семян определялся их выход из шишек, масса 1000 шт., энергия прорастания и всхожесть.

Результаты исследований морфометрических показателей шишек лиственницы показали, что средняя их длина составляет 3,1 см, а средний диаметр 2,2 см. Средняя масса одной шишки – 2,32 г. Выход семян из шишек равен 5,2%.

Энергия прорастания семян лиственницы составляет 14,7%, а всхожесть – 28,3%. Количество пустых, лишенных зародыша и эндосперма семян равна 49,7%. Масса 1000 шт. семян лиственницы составляет 4,4 г. Это объясняется наличием большого количества пустых неоплодотворенных семян. Поэтому для повышения посевных качеств партии семян следует применять способы отвеивания и флотации.

Ключевые слова: плантации лесосеменные, лиственница европейская, морфометрические показатели шишек, качество семян.

Для цитирования: Крук Н. К., Якимов Н. И., Тупик П. В., Юрения А. В. Морфометрические показатели шишек и качество семян на лесосеменных плантациях лиственницы европейской // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 52–57.

N. K. Kruk, N. I. Yakimov, P. V. Tupik, A. V. Yurenia
Belarusian State Technological University

MORPHOMETRIC INDICATORS OF CONES AND QUALITY OF SEEDS ON EUROPEAN LARCH PLANTATIONS

Studies were carried out on four forest-seed plantations of European larch in the GLHU “Ivatsevichsky forestry”. Forest-bearing plantations were created with a frequency of several years from 2008 to 2014. They are characterized by good growth and the state of growing trees. The preservation of trees on plantations is 87.2–100%. The height of the trees varies between 2.8–3.3 m, which facilitates the collection of cones.

Biometric indicators of cones (length, diameter, mass) were determined based on measurements of 800 pieces of cones, which were collected 200 pieces from each plantation. After extraction of seeds, their yield from cones, mass of 1000 pcs of seeds, germination energy and germination of seeds were determined.

The results of studies of morphometric indices of larch cones showed that their average length is 3.1 cm, and the average diameter is 2.2 cm. The average weight of one cones is 2.32 g. The yield of seeds from cones was 5.2%.

The germination energy of larch seeds was 14.7%, and germination – 28.3%. The number of empty seeds devoid of embryo and endosperm was 49.7%. The mass of 1000 pieces of larch seeds was 4.4 g. This is due to the presence of a large number of empty unfertilized seeds. Therefore, in order to improve the sowing properties of the seed lot, weeding and flotation methods should be used.

Key words: forest-seed plantations, European larch, morphometric indices of cones, quality of seeds.

For citation: Kruk N. K., Yakimov N. I., Tupik P. V., Yurenya A. V. Morphometric indicators of cones and quality of seeds on European larch plantations. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 52–57 (In Russian).

Введение. Лиственница европейская успешно растет в лесных культурах Беларуси, образуя насаждения высокой продуктивности. Эта порода отличается долговечностью, устойчивостью к вредителям и болезням, интенсивным ростом. Лиственницу относят к породам со значительным адаптивным потенциалом и высокой экологической толерантностью к изменяющимся условиям внешней среды.

Тем не менее использование лиственницы весьма ограничено, чему препятствует отсутствие местных семян и сложность выращивания сеянцев в питомниках. Поэтому проблема получения местного посевного материала на селекционно-генетической основе может быть решена лишь организацией собственных семенных баз и разработкой агротехники выращивания сеянцев.

По данным Некрасовой Т. П., у лиственницы не наблюдается строгой ежегодной периодичности семеношения, происходит только смена семенных и несеменных лет. Кроме того, среди деревьев лиственницы можно обнаружить отдельные экземпляры, которые плодоносят почти ежегодно сильнее и обильнее остальных. Эта биологическая особенность лиственницы заслуживает особого внимания для селекционных работ [1].

Исследования Зеленька А. К. показали, что клоновая плантация лиственницы в условиях Нижнего Поволжья вступает в пору активного плодоношения примерно с 20 лет. Средняя масса 1000 шт. семян по клонам на плантации колеблется в пределах 8,8–12,2 г. и превышает максимальные массы семян родительских плюсовых деревьев и ареала естественного произрастания [2].

Масса шишек лиственницы тесно связана с массой семян, образуемых в шишке, коэффициент корреляции равен 0,8. Коэффициент корреляции длины шишек с массой семян в них составляет 0,7–0,8. При изучении связи семенной продуктивности с морфологическими особенностями деревьев у лиственницы не выявлено влияния морфологических признаков деревьев на размер и массу шишек, а также на количество семян в них, однако отмечено, что комплексным показателем наиболее урожайных деревьев у лиственницы сибирской является диаметр крон деревьев [3].

На изменчивость длины и ширины шишек в пределах одного дерева оказывают влияние такие факторы, как неравномерность поступления

питательных веществ в различные участки кроны, неравномерность распределения по кроне солнечного тепла, влажности и т. д. Шишки, расположенные на южной стороне кроны, как правило, крупнее, чем на теневой стороне. Длина и ширина шишек существенно варьируют по годам, что объясняется разными метеорологическими условиями каждого отдельного вегетационного периода, величиной урожая предшествующего года и др. На размеры шишек также влияет индивидуальная изменчивость каждого отдельного растения. Дылис Н. В. [4] указывал, что даже у рядом расположенных деревьев размеры шишек в большинстве случаев неодинаковы, объясняя эти расхождения индивидуальными внутренними свойствами каждой особи и различиями жизненных условий, которые всегда имеют место даже у двух соседних деревьев. В древостое всегда встречаются крупношишечные и мелкошишечные формы. Между длиной шишек и их шириной просматривается нечетко выраженная прямая зависимость: с увеличением длины шишек увеличивается их диаметр. Поэтому изучение морфометрических показателей шишек лиственницы и качества семян, получаемых с лесосеменных плантаций (ЛСП), имеет большое значение для лесокультурного производства.

Основная часть. Исследования проводились на лесосеменных плантациях лиственницы европейской в ГЛХУ «Ивацевичский лесхоз».

В составе ПЛСБ лесхоза числится четыре лесосеменные плантации лиственницы европейской:

– ЛСП лиственницы европейской 2008 г. закладки, кв. 167, выд. 7, Коссовское лесничество, общая площадь 0,6 га;

– ЛСП лиственницы европейской 2009 г. закладки, кв. 167, выд. 6, Коссовское лесничество, общая площадь 0,4 га;

– ЛСП лиственницы европейской 2009 г. закладки, кв. 182, выд. 11, Борецкое лесничество, общая площадь 1,3 га;

– ЛСП лиственницы европейской 2014 г. закладки, кв. 166, выд. 15, Коссовское лесничество, общая площадь 1,0 га.

Таким образом, общая площадь ЛСП лиственницы европейской в Ивацевичском лесхозе составляет 3,3 га.

Селекционная инвентаризация лесосеменных плантаций проводилась с учетом требований действующих нормативных документов. Закладка пробных площадей осуществлялась общепринятыми в лесной таксации методами в соответствии с ОСТ 56-69-83.

В процессе перечета деревьев на пробных площадях, заложенных на участках ЛСП, оценивались их состояние, размерные характеристики стволов и кроны с использованием лесотаксационных инструментов.

Лесосеменные плантации были созданы с периодичностью в несколько лет – с 2008 по 2014 г. Они характеризуются хорошим ростом и состоянием произрастающих деревьев (табл. 1).

Сохранность деревьев на лесосеменных плантациях высокая и составляет 100% на трех лесосеменных плантациях лиственницы и 87,2% – на одной.

Средний диаметр деревьев колеблется в пределах 8,5–12,2 см, а средняя высота составляет 2,8–3,3 м, что обеспечивает сбор семян с незначительным подъемом в крону с помощью лестниц.

Сбор шишек производился в 2019 г. Всего было собрано около 800 шт. шишек, примерно по 200 шт. с каждой плантации, и определены их биометрические показатели (длина, диаметр, масса). Длину и диаметр шишек измеряли штангенциркулем, при этом диаметр шишек измеряли в наиболее широкой части в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Также определялась энергия прорастания, всхожесть и масса 1000 шт. семян.

Камеральная обработка полученных экспериментальных данных проводилась в соответ-

ствии с современными математико-статистическими и общепризнанными методиками, действующими ГОСТами и инструкциями. Морфометрические показатели шишек лиственницы европейской обработаны методами математической статистики [5].

Размеры и масса шишек являются наиболее изменчивым признаком, который сильно колеблется даже в пределах одного дерева. Более крупные шишки сосредоточены в верхней, хорошо освещенной части кроны. Основная часть шишек формируется в средней части кроны, а меньшая часть – в нижней при недостаточной освещенности.

Результаты исследования морфометрических показателей шишек лиственницы и определения их массы представлены в табл. 2.

Средняя длина шишек лиственницы составляет 3,1 см, а коэффициент вариации равен 16,8%. Средний диаметр шишки равен 2,2 см при коэффициенте вариации 11,8%, что соответствует низкому уровню изменчивости. Высокий уровень изменчивости имеет масса шишек – 40,3%. Так, при средней массе одной шишки 2,32 г минимальная масса шишки составляет 0,72 г, а максимальная – 5,23 г. В среднем выход семян из шишек лиственницы составил 5,2%.

Таблица 1

Лесосеменные плантации лиственницы европейской в ГЛХУ «Ивацевичский лесхоз»

Характеристика плантаций	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1. Год закладки	2008	2009	2009	2014
2. Площадь, га	0,6	0,4	1,3	1,0
3. Среднее расстояние между деревьями: в ряду, м	5	5	8	8
между рядами, м	8	8	11	10
4. Посажено деревьев, шт.	150	100	125	125
5. Сохранилось деревьев, шт.	150	100	109	125
6. Сохранность деревьев, %	100	100	87,2	100
7. Средняя высота деревьев, м	3,3	3,0	3,2	2,8
8. Средний диаметр деревьев, см	12,2	12,0	12,0	8,5
9. Протяженность кроны	2,8	2,7	2,5	2,4
10. Ширина кроны, м	1,9	1,8	1,8	1,5
11. Состояние плантации	Хорошее	Хорошее	Хорошее	Хорошее

Таблица 2

Основные морфометрические показатели шишек лиственницы и их масса

Показатели	M	$\pm m$	min	max	σ	$V, \%$	$P, \%$
Длина шишек, см	3,1	0,07	1,7	4,3	0,52	16,8	2,2
Диаметр шишек, см	2,2	0,04	1,4	2,7	0,26	11,8	1,8
Масса одной шишки, г	2,32	0,13	0,72	5,23	0,90	40,3	5,6
Выход семян из шишек, %	5,2	–	–	–	–	–	–

По данным некоторых авторов, в шишках, длина которых меньше 25 мм, в большей части формируются недоразвитые и пустые семена, загатавливать такие шишки нецелесообразно [6].

Показатели качества семян определяют пригодность их к посеву, что дает возможность уточнять норму высева, прогнозировать выход посадочного материала с единицы площади, оценивать степень адаптации вида к условиям внешней среды.

В табл. 3 приведены результаты лабораторного исследования качества семян лиственницы европейской, полученных на лесосеменных плантациях Ивацевичского лесхоза.

Таблица 3

**Качество семян лиственницы
на лесосеменных плантациях**

Показатель	Значение
Масса 1000 шт. семян, г	4,40
Энергия прорастания, %	14,7
Всхожесть, %	28,3
Чистота, %	95
Класс качества	2

Энергия прорастания семян лиственницы оказалась равной 14,7%, а всхожесть – 28,3%. При чистоте, равной 95%, это соответствует 2-му классу качества. Результаты взрезывания непроросших семян показали, что прорастают практически все полнозернистые (здоровые) семена.

Загнившие семена составили 6,5%, а количество пустых, лишенных зародыша и эндосперма семян составило 49,7%.

Низкая всхожесть семян лиственницы отмечается многими учеными и является ее биологической особенностью. Это объясняется тем, что пыльца лиственницы лишена воздушных мешков и разносится на сравнительно небольшие расстояния. Кроме того, в смешанных насаждениях переносу пыльцы мешают соседние деревья других пород. Поэтому чем меньше доля лиственницы в составе насаждения, тем больше образуется при самоопылении пустых (без зародыша и эндосперма) семян.

Как отмечают Алексеев С. А. и Молчанов А. А., единично расположенные деревья лиственницы дают иногда незначительный процент полнозернистых семян [7].

Масса 1000 шт. семян лиственницы оказалась равной 4,4 г, что ниже обычной массы, которая в среднем составляет 7–8 г. Это объясняется наличием большого количества пустых неоплодотворенных семян. Масса 1000 шт. семян лиственницы является очень изменчивым признаком. По данным Заборовского Е. П., масса

семян может колебаться в пределах от 3,1 до 12,2 г, а средние наиболее частые величины этого показателя равны 7–9 г [8]. По данным Зеленьяка А. К., Морозовой Е. В., Иозуса А. П., изменчивость массы семян еще более значительна и варьирует от 2,5 до 16,0 г [6].

В лесокультурной практике для повышения доброкачественности семян лиственницы применяется их отвеивание для удаления пустых семян [8]. Исследования показывают, что воздушная очистка отсортировывает до 57% пустых семян лиственницы от общего их содержания в партии. До 8% в отходы вместе с пустыми семенами попадают наиболее легкие полнозернистые.

По данным исследований Свиридова Л. Т., этот способ очистки позволяет повысить качество семян на 10–14% [9].

Также можно повысить качество семян, используя метод флотации путем помещения в воду на 10–12 ч [7]. При этом полнозернистые семена тонут, а пустые остаются на поверхности. Такая очистка позволяет увеличить количество полнозернистых семян до 80–85% [3, 10].

По данным Зеленьяка А. К. и Иозуса А. П., наиболее эффективным является применение комбинированного способа повышения качества семян путем их отвеивания с последующей флотацией, что позволяет повысить количество полнозернистых семян до 91–95% и довести их до 1-го класса качества [6, 11].

Заключение. По результатам исследования морфометрических показателей шишек лиственницы можно сделать вывод, что их средняя длина составляет 3,1 см при коэффициенте вариации 16,8%. Средний диаметр шишек равен 2,2 см с варьированием, равным 11,8%, что соответствует низкому уровню изменчивости.

Высокий уровень изменчивости имеет масса шишек – 40,3%. При средней массе одной шишки 2,32 г минимальная масса шишки составляет 0,72 г, а максимальная – 5,23 г. Выход семян из шишек оказался достаточно высоким и составил 5,2%.

Энергия прорастания семян лиственницы составила 14,7%, а всхожесть – 28,3%. При чистоте, равной 95%, это соответствует 2-му классу качества. Результаты взрезывания непроросших семян показали, что прорастают практически все полнозернистые (здоровые) семена. При этом количество пустых, лишенных зародыша и эндосперма семян составило 49,7%, а количество загнивших семян было равным 6,5%.

Масса 1000 шт. семян лиственницы оказалась равной 4,4 г, что ниже обычной, в среднем составляющей 7–8 г. Это объясняется наличием большого количества пустых неоплодотворенных семян. Поэтому для повышения полнозернистости семян следует применять способы отвеивания и флотации.

Список литературы

1. Некрасова Т. П. Влияние погоды на урожай семян хвойных пород // Лесное хозяйство и промышленное потребление древесины в СССР. М., 1966. С. 428–432.
2. Зеленьяк А. К., Иозус А. П., Морозова Е. В. Селекция лиственницы в Нижнем Поволжье на повышение урожайности семян // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 9. С. 91–95.
3. Сапронова Д. В., Зеленьяк А. К., Иозус А. П. Плодоношение лиственницы в Нижнем Поволжье // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 3–5. URL: <https://www.scienceeducation.ru/ru/article/view?id=9995> (дата обращения: 18.09.2020).
4. Дылис Н. В. Лиственница. М.: Лесная промышленность, 1981. 96 с.
5. Атрошенко О. А., Машковский В. П. Лесная биометрия. Минск: БГТУ, 2010. 328 с.
6. Зеленьяк А. К., Морозова Е. В., Иозус А. П. Качество семян лиственницы на клоновой лесосеменной плантации // Успехи современного естествознания. 2018. № 1. С. 13–17.
7. Алексеев С. В., Молчанов А. А. Плодоношение сибирской лиственницы в северных условиях // Советский Север. 1988. № 8. С. 62–72.
8. Заборовский Б. П. О повышении всхожести семян лиственницы // Внедрение лиственницы в лесные насаждения: сб. науч. тр. М.: Гослесбумиздат, 1956. С. 51–57.
9. Свиридов Л. Т. Повышение эффективности механизированных процессов обработки семян хвойных пород: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1992. 39 с.
10. Макаров В. М., Зеленьяк А. К., Иозус А. П. Технология выращивания лиственницы сибирской // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. С. 2–5. URL: <https://www.scienceeducation.ru/ru/article/view?id=7536> (дата обращения: 20.09.2020).
11. Зеленьяк А. К., Иозус А. П. Интенсивность семеношения лиственницы сибирской на клоновой плантации // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. М., 2016. С. 27–32.

References

1. Nekrasova T. P. Influence of weather on the yield of coniferous seeds. *Lesnoye khozyaystvo i promyshlennoye potrebleniye drevesiny v SSSR* [Forestry and industrial wood consumption in the USSR], Moscow, 1966, pp. 428–432 (In Russian).
2. Zelenyayak A. K., Iozus A. P., Morozova E. V. Breeding larch in the Lower Volga region to increase seed yield. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Basic Research], 2014, no. 9, pp. 91–95 (In Russian).
3. Saproнова D. V., Zelenyayak A. K., Iozus A. P. Fruiting of larch in the Lower Volga region. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2013, no. 4, pp. 3–5 (In Russian). Available at: <https://www.scienceeducation.ru/ru/article/view?id=9995> (accessed 18.09.2020).
4. Dylis N. V. *Listvennitsa* [Larch]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1981. 96 p.
5. Atroshchenko O. A., Mashkovskiy V. P. *Lesnaya biometriya* [Forest biometrics]. Minsk, BGТУ Publ., 2010. 328 p.
6. Zelenyayak A. K., Morozova E. V., Iozus A. P. The quality of larch seeds on a clonal forest seed plantation. *Uspexhi sovremennogo estestvoznaniya* [The successes of modern natural science], 2018, no. 1, pp. 13–17 (In Russian).
7. Alekseev S. V., Molchanov A. A. Fruiting of Siberian larch in northern conditions. *Sovetskiy Sever* [Soviet North], 1988, no. 8, pp. 62–72 (In Russian).
8. Zaborovskiy B. P. On increasing the germination of larch seeds. *Vnedreniye listvennitsy v lesnyye nasazhdeniya* [The introduction of larch into forest plantations], 1956, pp. 51–57 (In Russian).
9. Sviridov L. T. *Povysheniye effektivnosti mekhanizirovannykh protsessov obrabotki semyan khvoynykh porod. Avtoref. dis. d-ra tekhn. nauk* [Improving the efficiency of mechanized processing of coniferous seeds. Abstract of thesis Doct. of techn. sci.]. Moscow, 1992. 39 p.
10. Makarov V. M., Zelenyayak A. K., Iozus A. P. Siberian larch growing technology. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2012, no. 6, pp. 2–5 (In Russian). Available at: <https://www.scienceeducation.ru/ru/article/view?id=7536> (accessed 20.09.2020).
11. Zelenyayak A. K., Iozus A. P. Seed intensity of Siberian larch on clone plantation. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences], Moscow, 2016, pp. 27–32 (In Russian).

Информация об авторах

Якимов Николай Игнатьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: yakimov@belstu.by

Крук Николай Константинович – кандидат биологических наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kruk@belstu.by

Тупик Павел Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: pavel_tupik@belstu.by

Юреня Андрей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: urenya@belstu.by

Information about the authors

Yakimov Nikolay Ignat'yevich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yakimov@belstu.by

Kruk Nikolay Konstantinovich – PhD (Biology), Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kruk@belstu.by

Tupik Pavel Valer'yevich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pavel_tupik@belstu.by

Yurenya Andrey Vladimirovich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: urenya@belstu.by

Поступила 12.10.2020

УДК 630*165.7

Л. Ф. Поплавская, С. В. Ребко, П. В. Тупик
Белорусский государственный технологический университет
**РЕЗУЛЬТАТЫ РАЙОНИРОВАНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
СОРТА НЕГОРЕЛЬСКАЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Исследования особенностей роста сосны обыкновенной сорта Негорельская проведены в рамках задания «Провести районирование сосны обыкновенной сорта Негорельская и внедрить его в лесокультурное производство Республики Беларусь» ГНТП «Леса Беларуси – устойчивое управление, инновационное развитие, ресурсы» (2016–2020 гг.).

В результате проведенных исследований установлено, что в Ошмянно-Минском геоботаническом округе подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов (широколиственно-еловых лесов) на песчаной и супесчаной почвах превышение по высоте сортового потомства в сравнении с контролем на песчаной почве составляет 9,6–65,2%; в Оршанско-Могилевском геоботаническом округе подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов (широколиственно-еловых лесов) превышение в росте у сортового потомства в сравнении с контролем на супесчаной почве достигает 30,8–38,5%; в Неманско-Предполесском геоботаническом округе подзоны дубово-темнохвойных лесов (елово-грабовых дубрав) лучший рост в высоту у сортового потомства в сравнении с контролем на песчаной почве составляет 9,0–15,9%; в Бугско-Полесском геоботаническом округе подзоны широколиственно-сосновых лесов (грабовых дубрав) превышение по высоте сорта Негорельская по сравнению с контролем на песчаной и супесчаной почвах составляет 8,9–12,0%.

В среднем по всем участкам испытательных культур в различных геоботанических подзонах превышение по росту у сосны обыкновенной сорта Негорельская в сравнении с контролем достигает 20,7% (на песчаных почвах – 17,5%, на супесчаных почвах – 26,1%).

Ключевые слова: сосна обыкновенная, рост, сорт, районирование, испытательные культуры, геоботанический округ, геоботаническая подзона.

Для цитирования: Поплавская Л. Ф., Ребко С. В., Тупик П. В. Результаты районирования сосны обыкновенной сорта Негорельская в Республике Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 58–67.

L. F. Poplavskaya, S. U. Rabko, P. V. Tupik
Belarusian State Technological University
**RESULTS ZONING OF SCOTS PINE OF SORT NEGORELSKAYA
IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

Studies of the growth features of the Scots pine of sort Negorelskaya were conducted within the framework of the task “Zoning of the pine ordinary of sort Negorelskaya and introducing it into the forest production of the Republic of Belarus” program “Forests of Belarus – sustainable management, innovative development, resources” (2016–2020).

As a result of researches it is established that in Oshmiany-Minsk geobotanical district of the geobotanical subzone of hornbeam-oak-conifer forests (broad-leaved-spruce forests) on sandy and sandy loam soils exceeding the height of the varietal offspring compared with control on the sandy soil is 9.6–65.2%; in Orsha-Mogilev geobotanical district of the geobotanical subzone of hornbeam-oak-conifer forests (broad-leaved-spruce forests) above, in the growth of high-quality offspring in comparison with the control in sandy loam soil reaches 30.8–38.5%; in Neman-Predpolesye geobotanical district of the geobotanical subzone of oak-dark coniferous forests (spruce-hornbeam oak woods) better growth in height at high-quality offspring compared with control on the sandy soil is 9.0 to 15.9%; in Bug-Polesie geobotanical district of the geobotanical subzone of broad-leaved and pine forests (hornbeam oak) exceeding the height of sort Negorelskaya in comparison with the control on sandy soils is 8.9–12.0%.

On average, for all test crop sites in various geobotanical subzones, the growth excess of Scots pine of sort Negorelskaya in comparison with the control reaches 20.7% (on sandy soils – 17.5%, on sandy loam – 26.1%).

Key words: Scots pine, growth, sort, zoning, test crops, geobotanical district, geobotanical subzone.

For citation: Poplavskaya L. F., Rabko S. U., Tupik P. V. Results zoning of Scots pine of sort Negorelskaya in the Republic of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 58–67 (In Russian).

Введение. Основой для ускоренного лесовыращивания и получения высокопродуктивных насаждений является переход лесного семеноводства на сортовую основу. Сотрудниками кафедры лесных культур и почвоведения БГТУ с использованием отдаленной внутривидовой гибридизации и последующего отбора лучших семей выведен сорт сосны обыкновенной Негорельская [1–6], отличающийся интенсивным ростом в высоту, устойчивостью к вредителям и болезням, а также ранним и обильным семеношением (свидетельство на сорт № 0003707).

Преимущество в росте растений обуславливается наличием эффекта гетерозиса от отдаленной внутривидовой гибридизации [7–13].

Разведение сорта позволяет перевести плантационное производство сосны обыкновенной на сортовую основу. В рамках государственной научно-технической программы «Леса Беларуси – устойчивое управление, инновационное развитие, ресурсы» (2016–2020 гг.) выполняется задание «Провести районирование сосны обыкновенной сорта Негорельская и внедрить его в лесокультурное производство Республики Беларусь». Выполнение задания предполагает создание опытных и производственных лесных культур сосны обыкновенной сортовым посадочным материалом, проведение сравнительной оценки продуктивности и устойчивости искусственных насаждений сосны обыкновенной, образованных с использованием сортового и селекционного посадочного материала, а также создание гибридной плантации для получения семян сосны обыкновенной сорта Негорельская.

Внедрение сортового материала в лесокультурное производство страны позволит повысить продуктивность создаваемых искусственных основных насаждений на 15%, а также улучшить их качество и устойчивость. Для широкого внедрения полученного сорта в лесокультурное производство проведены испытания его в различных геоботанических округах, выделенных на территории Беларуси, и в различных почвенно-грунтовых условиях. В результате испытаний сорт является районированным на всей территории Беларуси.

Основная часть. Объектами исследований являются испытательные культуры, созданные в Неманско-Предполесском, Ошмяно-Минском, Бугско-Полесском и Оршанско-Могилевском геоботанических округах различных геоботанических подзон республики.

Испытательные культуры в Неманско-Предполесском геоботаническом округе подзоны дубово-темнохвойных лесов (елово-грабовых дубрав).

Объект № 1. Испытательные культуры сосны обыкновенной сорта Негорельская

созданы в кв. 19, выд. 36 Краснослободского опытно-производственного лесничества ГЛХУ «Старобинский лесхоз», которое в соответствии с лесорастительным районированием относится к Неманско-Предполесскому геоботаническому округу подзоны дубово-темнохвойных лесов (елово-грабовых дубрав). Участок, на котором создан объект, характеризуется ровным рельефом и относится к категории лесокультурной площади «б» (невозобновившиеся вырубki и редины с наличием пней до 500 шт./га, где возможна механизированная обработка почвы полосами или бороздами без предварительного их понижения (спиливания или дробления).

Данный объект представляет собой испытательные культуры сосны обыкновенной клоновой гибридно-семенной плантации Негорельского учебно-опытного лесхоза. На участке поставлено на испытание семенное потомство 20 наиболее интенсивно семенящихся деревьев гибридно-семенной плантации. В качестве посадочного материала использовались однолетние сеянцы сосны обыкновенной, выращенные в лесном питомнике Негорельского УОЛХ. Посадка сеянцев производилась вручную под меч Колесова в предварительно подготовленные борозды. Нарезка борозд осуществлялась ПКЛ-70 в агрегате с МТЗ-82. Ширина междурядий – 2,0 м, шаг посадки – 1,25 м. Общее количество рядов – 22 шт., всего посажено 967 сеянцев. Направление рядов – от квартальной просеки к стене леса.

Объект № 2. Испытательные культуры сосны обыкновенной сорта Негорельская созданы на площади 1,8 га в Окинчицком лесничестве ГЛХУ «Столбцовский лесхоз» (кв. 106, выд. 4), которое также относится к Неманско-Предполесскому геоботаническому округу подзоны дубово-темнохвойных лесов (елово-грабовых дубрав). Культуры созданы по схеме размещения посадочных мест 2,5×0,7 м. Исходная густота посадки растений – 5,7 тыс. шт./га. Участок представлял собой свежую вырубку, тип условий местопроизрастания – А₂. Культуры созданы 4 вариантами опыта:

вариант № 1 – семенное потомство сосны обыкновенной сорта Негорельская;

вариант № 2 – семенное потомство испытательных культур гибридного потомства сосны обыкновенной 2004 г. создания;

вариант № 3 – семенное потомство испытательных культур гибридного потомства сосны обыкновенной 2002 г. создания;

вариант № 4 – контроль (семенное потомство, выращенное из семян нормальной селекционной категории ГЛХУ «Столбцовский лесхоз»).

Исследования проведены на данном объекте в 4-летнем возрасте сортовых культур (биологический возраст растений – 5 лет).

Объект № 3. Испытательные культуры сосны обыкновенной сорта Негорельская созданы в 2012 г. на территории Ивьевского лесничества ГЛХУ «Ивьевский лесхоз», которое относится к Неманско-Предполесскому геоботаническому округу подзоны дубово-темнохвойных лесов (елово-грабовых дубрав). Культуры созданы в кв. 94 выд. 4. Категория лесокультурной площади «а» – земли бывшего сельскохозяйственного пользования. Тип условий местопроизрастания – В₂, схема размещения посадочных мест растений – 2,0×1,0 м.

На участке поставлено на испытание потомство от 10 семей гибридно-семенной плантации сосны обыкновенной. В качестве контрольного варианта использованы растения, выращенные из семян нормальной селекционной категории, заготовленные на территории ГЛХУ «Ивьевский лесхоз». Исследования проведены на данном объекте в 6-летнем возрасте сортовых культур (биологический возраст растений 7 лет).

Испытательные культуры в Ошмянно-Минском геоботаническом округе подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов (широколиственно-еловых лесов).

Объект № 4. Испытательные культуры сосны обыкновенной сорта Негорельская были созданы на площади 1,0 га 4 апреля 2016 г. в кв. 20 выд. 40 Жодинского лесничества ГЛХУ «Смолевичский лесхоз», которое в соответствии с лесорастительным районированием относится к Ошмянно-Минскому геоботаническому округу подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов (широколиственно-еловых лесов). Согласно таксационному описанию, в 2014 г. на участке была проведена очистка от захламленности, а в 2016 г. – сплошная санитарная рубка. До вырубki насаждение имело состав 5СЗБ1Олч1Е, возраст – 85 лет, I класс бонитета, полнота 0,6, тип леса – сосняк черничный, тип условий местопроизрастания – В₃, запас стволовой древесины – 260 м³/га. Культуры были созданы вручную под меч Колесова по схеме 2,1×0,9 м, общее количество растений в расчете на 1 га составляло 5333 шт. С целью определения различий в росте и развитии на участке испытательных культур было заложено три варианта:

вариант № 1 – сеянцы-однолетки с закрытой корневой системой, выращенные в учреждении «Республиканский лесной селекционно-семеноводческий центр» (контроль);

вариант № 2 – сеянцы-однолетки с открытой корневой системой, выращенные на территории постоянного питомника Негорельского учебно-опытного лесхоза;

вариант № 3 – сеянцы-двухлетки с открытой корневой системой, выращенные на территории постоянного питомника Негорельского учебно-опытного лесхоза.

Объект № 5. Испытательные культуры сосны обыкновенной сорта Негорельская были созданы 11 октября 2016 г. на площади 1,0 га в Гребенковском лесничестве ГЛХУ «Червенский лесхоз», относящемуся к Ошмянно-Минскому геоботаническому округу подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов (широколиственно-еловых лесов). На участке были высажены сеянцы-двухлетки, в качестве контроля использованы также сеянцы двухлетнего возраста, выращенные в питомнике ГЛХУ «Червенский лесхоз».

Из общей площади на 1 га расположены испытываемые растения сосны обыкновенной сорта Негорельская, а оставшаяся часть площади 0,1 га – контрольный вариант, где представлено семенное потомство, выращенное из семян, собранных в сосновом насаждении при рубках главного пользования (селекционная категория насаждений «нормальные») в Негорельском учебно-опытном лесхозе. Следует также отметить, что вариант № 2 в испытательных культурах ГЛХУ «Червенский лесхоз» и вариант № 3 в испытательных культурах ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» (объект № 2) представлены одним и тем же посадочным материалом – сеянцы двухлетки с открытой корневой системой. Разница лишь в сроках посадки (осень 2016 г. и весна 2017 г. соответственно), а также в условиях произрастания растений.

В ГЛХУ «Червенский лесхоз» условия произрастания растений более бедные, к тому же борозды нарезаны достаточно глубоко, в результате чего посадка растений произведена в подзольный горизонт.

Испытательные культуры в Оршанско-Могилевском геоботаническом округе подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов (широколиственно-еловых лесов).

Объект № 6. Испытательные культуры были созданы на территории Трилесинского лесничества ГЛХУ «Быховский лесхоз», которое в соответствии с лесорастительным районированием территории республики относится к Оршанско-Могилевскому геоботаническому округу подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов (широколиственно-еловых лесов). Участок представлен вырубкой из-под сплошной санитарной рубки, проведенной в 2018 г. Площадь участка 1,2 га.

Почва на участке дерново-подзолистая, среднеподзоленная, супесчаная, на супеси связанной, подстилаемой суглинком легким моренным с глубины более 1 м. Тип условий местопроизрастания – С₂.

Для создания испытательных культур использовалось 4 варианта:

вариант № 1 (контроль) – семенное потомство сосны обыкновенной, полученное из семян

нормальной селекционной категории хозяйственных семенных насаждений ГЛХУ «Слущский лесхоз»;

вариант № 2 – семенное потомство клоновой гибридно-семенной плантации НУОЛХ 2004 г. (основной вариант, представленный сортовыми сеянцами);

вариант № 3 – семенное потомство лесосеменных плантаций сосны обыкновенной второго поколения ГЛХУ «Белыничский лесхоз» (вариант также представлен сортовыми семенами). Варианты № 1–3 были выращены в кассетах F-35;

вариант № 4 – аналогичен варианту № 2 по происхождению, но растения выращены в кассетах F-64.

Испытательные культуры в Бугско-Полесском геоботаническом округе геоботанической подзоны широколиственно-сосновых лесов (грабовых дубрав).

Объект № 7. Испытательные культуры сосны обыкновенной сорта Негорельская расположены в Гоцком лесничестве ГЛХУ «Старобинский лесхоз», которое согласно лесорастительному районированию относится к Бугско-Полесскому геоботаническому округу геоботанической подзоны широколиственно-сосновых лесов (грабовых дубрав). Участок расположен в кв. 110 выд. 8 и 15 в виде свежих вырубок после проведения сплошных санитарных рубок на общей площади 1,1 га.

Почва на участках дерново-подзолистая, супесчаная, среднеподзоленная, глееватая, на супеси связной, подстилаемой суглинком моренным глубже 1 м. Тип условий местопроизрастания – В₃. Испытательные культуры были созданы 18 апреля 2018 г. Ширина междурядий – 2,0 м, шаг посадки – 1,0 м. Общее количество рядов – 30 шт., всего посажено 5,5 тыс. сеянцев. Направление рядов – от дороги к стене леса.

На участках представлено два варианта:

вариант № 1 – сеянцы сосны обыкновенной сорта Негорельская однолетнего возраста с закрытой корневой системой;

вариант № 2 (8 ряд) – контроль (семенное потомство, выращенное из семян, собранных с поваленных деревьев при проведении рубок главного пользования (селекционная категория семян – «нормальные») в ГЛХУ «Старобинский лесхоз»).

Объект № 8. Испытательные культуры сосны обыкновенной сорта Негорельская созданы в ГОЛХУ «Кобринский опытный лесхоз» в 2013 г. на территории Засимовского лесничества (кв. 111, выд. 7), которое относится к Бугско-Полесскому геоботаническому округу геоботанической подзоны широколиственно-сосновых лесов (грабовых дубрав).

Участок представляет собой категорию лесокультурной площади «а» – земли, вышедшие из-под сельскохозяйственного пользования, тип условий местопроизрастания – А₂, схема размещения посадочных мест растений – 2,5×1,0 м. Испытательные культуры представлены тремя вариантами:

вариант № 1 – семенное потомство сосны обыкновенной сорта Негорельская (различные семьи);

вариант № 2 – семенное потомство сосны обыкновенной с лесосеменной плантации второго поколения ГОЛХУ «Кобринский опытный лесхоз»;

вариант № 3 – контроль (семенное потомство, выращенное из семян нормальной селекционной категории ГОЛХУ «Кобринский опытный лесхоз»). На момент проведения измерений возраст испытательных культур – 5 лет (биологический возраст растений – 6 лет).

Для определения показателей роста сосны обыкновенной сорта Негорельская в испытательных культурах семенного потомства различного возраста измерения высот деревьев производились с помощью: высотомера шведского производства фирмы Haglof (точность ±1 м) для высоты деревьев более 8 м, мерного шеста швейцарского производства фирмы NedomEssfix-S (минимальная высота деревьев – 1,53 м, максимальная высота – 8,0 м, точность ±0,1 м), рулетки (точность ±1 см) для высоты растений меньше 1,53 м. Диаметр деревьев на высоте 1,3 м и у корневой шейки стволика измерялся с помощью штангенциркуля (точность ±0,1 см), длину хвои определяли с помощью линейки (точность ±0,1 см). Для точного и достоверного определения статистических показателей соответствующие измерения проводились в пределах каждой семьи у 50 растений, а на участках с объединенными семьями измерению подвергались не менее 100 деревьев в опытном и контрольном вариантах.

Учет показателей роста сортовых растений на объекте № 1 выполнен в 13-летнем возрасте испытательных культур 26 октября 2020 г. Результаты статистической обработки представлены в табл. 1.

В качестве контрольного варианта использовалось семенное потомство ЛСП сосны обыкновенной первого поколения ГЛХУ «Старобинский лесхоз».

Анализируя полученный полевой материал, можно заключить, что потомство сосны обыкновенной сорта Негорельская на данном объекте в среднем достигает в высоту 5,57 м, при этом достоверно превышает контрольный вариант (4,85 м) по высоте на 71,6 см, или на 14,8% (критерий достоверности различий составил 5,41).

Таблица 1

Показатели роста сосны обыкновенной сорта Негорельская в 13-летнем возрасте

Вариант	Статистические показатели							Превыше- ние над контро- лем, см/%	t-критерий
	$M \pm m_M$, см	min, см	max, см	размах, см	σ , см	CV, %	p, %		
Краснослободское опытно-производственное лесничество ГЛХУ «Старобинский лесхоз», Неманско-Предполесский геоботанический округ подзоны дубово-темнохвойных лесов (елово-грабовых дубрав)									
Высота растений, см									
Контроль (CH ₁ с ОКС)	485,1 ± 10,7	387	600	213	50,2	10,4	2,2	–	–
Семенное потомство ЛСП-I НУОЛХ (CH ₁ с ОКС)	556,7 ± 7,8	460	795	335	57,9	10,4	1,4	71,6/14,8	5,41
Диаметр растений на высоте 1,3 м, см									
Контроль (CH ₁ с ОКС)	4,9 ± 0,2	3,0	6,9	3,9	1,1	21,3	4,5	–	–
Семенное потомство ЛСП-I НУОЛХ (CH ₁ с ОКС)	6,7 ± 0,2	4,4	11,4	7,0	1,2	18,6	2,5	1,8/36,7	6,36

Аналогичные результаты получены по диаметру растений. Сортовое потомство сосны обыкновенной имеет средний диаметр, равный 6,7 см, в контроле данный показатель составил 4,9 см. Превышение составляет 1,8 см, или 36,7% (критерий достоверности различий равен 6,36). В контроле минимальная высота растений составляет 3,87 м, самые высокие деревья достигают 6,0 м, размах по данному показателю составил 2,13 м. В опытном варианте минимальные по росту экземпляры растений составляют 4,6 м, самые высокие достигают 7,95 м, размах – 3,35 м.

По диаметру на высоте груди в контрольном варианте минимальное значение данного показателя составляет 3,0 см, самые крупные деревья по толщине достигают 6,9 см, размах по данному показателю составил 3,9 см.

Среди сортового потомства минимальный диаметр у деревьев равен 4,4 см, самый большой

диаметр у исследуемых деревьев имеет величину 11,4 см. Размах по диаметру составил 7,0 см, среднее квадратическое отклонение – 1,2 см. Коэффициент вариации высоты деревьев в сравниваемых вариантах оказался одинаковым, находится на низком уровне и составляет 10,4%. По диаметру деревьев несколько большее варьирование отмечено в контроле – 21,3% (высокий уровень изменчивости) против 18,6% (средний уровень изменчивости) в опытном варианте.

Результаты исследований роста сортовых посадок сосны обыкновенной на объектах № 2 и № 3 представлены в табл. 2.

На объекте № 2 испытательных культур сортовое потомство сосны обыкновенной в 6-летнем возрасте достоверно превышает контрольный вариант по высоте растений на 13,8% (240,2 см против 211,1 см), а по диаметру деревьев на высоте 1,3 м – на 23,2% (30,8 мм против 25,0 мм).

Таблица 2

Результаты измерений испытательных культур сосны обыкновенной сорта Негорельская в 4- и 6-летнем возрасте

Вариант	Высота, см			Диаметр, мм		
	$M \pm m_M$	t	±, %	$M \pm m_M$	t	±, %
Ивьевское лесничество ГЛХУ «Ивьевский лесхоз» (возраст 6 лет), Неманско-Предполесский геоботанический округ подзоны дубово-темнохвойных лесов (елово-грабовых дубрав)						
Контроль	211,1 ± 8,5	–	–	25,0 ± 1,0	–	–
Сорт Негорельская	240,2 ± 5,1	2,9	13,8	30,8 ± 1,2	3,7	23,2
Окинчицкое лесничество ГЛХУ «Столбцовский лесхоз» (возраст 4 года), Неманско-Предполесский геоботанический округ подзоны дубово-темнохвойных лесов (елово-грабовых дубрав)						
Контроль	72,3 ± 3,0	–	–	18,0 ± 1,0	–	–
Сорт Негорельская	81,9 ± 3,5	2,1	13,3	21,0 ± 1,1	2,0	16,7
Потомство испытательных культур 2004 г.	83,8 ± 3,2	2,6	15,9	22,0 ± 1,1	2,7	22,2
Потомство испытательных культур 2002 г.	75,8 ± 3,3	0,8	4,8	20,5 ± 1,0	1,8	13,9

На объекте № 3 проведенные измерения показали, что сортовое потомство сосны обыкновенной уже в 4-летнем возрасте (биологический возраст растений – 5 лет) достоверно превышает контрольный вариант как по высоте, так и по диаметру у корневой шейки растений. Превышения составляют соответственно 13,3 и 16,7%. Однако следует отметить, что самые лучшие результаты на момент проведения исследований получены в варианте семенного потомства испытательных культур 2004 г. создания. Этот вариант превысил контроль по высоте на 15,9%, по диаметру на 22,2%. Однако следует отметить, что отсутствие достоверных отличий было зафиксировано между контрольным вариантом и потомством испытательных культур 2002 г. создания (превышение по высоте над контролем составило 4,8%, критерий достоверности различий – 0,8).

Учет показателей роста сортовых растений на объекте № 4 выполнен в 4-летнем возрасте испытательных культур. Результаты исследований представлены в табл. 3. Испытательные культуры сосны обыкновенной сорта Негорельская на площади 0,6 га были созданы 10.04.2017 в кв. 15 выд. 13 Жодинского лесничества ГЛХУ «Смолевичский лесхоз», которое в соответствии с лесорастительным районированием относится к Ошмянно-Минскому геоботаническому округу.

Анализ полученных данных показывает, что контрольный вариант (вариант № 1) существенно уступает сравниваемым по высоте надземной части. Так, сортовое потомство, высаженное однолетними сеянцами с открытой корневой системой, по высоте оказалось выше растений из контрольного варианта на 10,0 см

(9,6%), однако превышение оказалось статистически недостоверным.

Также в варианте № 3, который был создан путем посадки двухлетних сортовых сеянцев с открытой корневой системой, наблюдается более лучший рост по высоте в сравнении с контролем на 65,2% (67,7 см), причем данное превышение оказалось достоверным (критерий Стьюдента равен 10,1).

Имеющиеся колебания растений по высоте указывают на то, что сортовое потомство лучше приживается на лесокультурной площади, переносит стрессовые условия пересадки и за счет более интенсивного роста быстрее выбивается из-под полога травянистой растительности, что в конечном итоге положительно сказывается на последующем развитии растений.

На объекте № 5 исследование особенностей роста и развития сортового потомства сосны обыкновенной проведено 30 сентября 2020 г. и представлено в табл. 4. Полученные данные свидетельствуют о том, что потомство сосны обыкновенной сорта Негорельская на данном объекте достоверно превышает контрольный вариант по высоте на 36,3% (в прошлом году превышение было 37%), составив в абсолютной величине 29,9 см (имеющееся превышение в росте в сравниваемых вариантах статистически достоверно – критерий Стьюдента равен 6,26).

На объекте № 6 (табл. 4) сортовые культуры созданы в кв. 85, выд. 45 на площади 0,7 га в Трилесинском лесничестве ГЛХУ «Быховский лесхоз». Оценка роста сортовых растений выполнена 30 сентября 2020 г. Исследования показали, что потомство в вариантах № 2 и № 4 достоверно отличаются от контрольного варианта № 1 по высоте надземной части – на 38 и 31% соответственно.

Таблица 3

Показатели роста сортовой сосны обыкновенной в 4-летних испытательных культурах

Номер варианта	Вариант	Высота надземной части растений, см			Превышение над контролем, см/%	Критерий Стьюдента
		$M \pm m_M$	min	max		
Жодинское лесничество ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» (год создания – весна 2017 г.), Ошмянно-Минский геоботанический округ подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов						
1	Контроль (СН ₁ , ЗКС)	103,9 ± 4,6	81	127	–	–
2	Семенное потомство ЛСП-II НУОЛХ (СН ₁ , ОКС)	113,9 ± 3,9	90	145	10,0/9,6	1,66
3	Семенное потомство ЛСП-II НУОЛХ (СН ₂ , ОКС)	171,6 ± 4,9	114	229	67,7/65,2	10,1
Гребенковское лесничество ГЛХУ «Червенский лесхоз» (год создания – осень 2016 г.), Ошмянно-Минский геоботанический округ подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов						
1	Контроль (СН ₂)	82,4 ± 3,1	53	103	–	–
2	Семенное потомство ЛСП-II НУОЛХ (СН ₂ , ОКС)	112,3 ± 3,6	77	164	29,9/36,3	6,26

Таблица 4

**Параметры роста сосны обыкновенной сорта Негорельская
в 2-летних испытательных культурах (год создания – 2019 г.)**

Номер варианта	Вариант	Высота надземной части, см			Превышение над контролем, см/%	Критерий Стьюдента	Диаметр у корневой шейки, см			Превышение над контролем, см/%	Критерий Стьюдента
		$M \pm m_M$	min	max			$M \pm m_M$	min	max		
Трилесинское лесничество ГЛХУ «Быховский лесхоз», Оршанско-Могилевский геоботанический округ подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов (широколиственно-еловых лесов)											
1	Контроль в касете F-35	32,5 ± 1,5	30,0	55,0	–	–	1,6 ± 0,1	1,3	2,1	–	–
2	Семенное потомство ЛСП-II НУОЛХ 2004 г. в касете F-35	45,0 ± 1,2	9,4	19,1	12,5/38,5	6,51	1,9 ± 0,1	1,1	2,8	0,3/19	0,2
3	Семенное потомство ЛСП-II ГЛХУ «Бельничский лесхоз» в касете F-35	33,5 ± 1,3	22,0	49,0	1,0/3	0,57	1,5 ± 0,1	0,8	1,7	–0,1/–8	–0,1
4	Семенное потомство ЛСП-II НУОЛХ 2004 г. в касете F-64	42,5 ± 1,4	25,0	70,0	10,0/30,8	5,42	1,7 ± 0,1	0,8	2,6	0,1/6	0,1

Лучшие результаты отмечены в варианте № 2, который представлен потомством сосны обыкновенной сорта Негорельская, выращенного в кассетах типа F-35 (+38%). По диаметру корневой шейки лучшие результаты отмечены также в варианте № 2 (+19%). Следует отметить, что вариант № 4, который представлен потомством сосны обыкновенной сорта Негорельская, выращенного в кассетах типа F-64, также превышает контроль как по высоте растений, так и по диаметру у корневой шейки, однако по диаметру превышение оказалось статистически недостоверным. В варианте № 3, где представлено семенное потомство ЛСП-II ГЛХУ «Бельничский лесхоз», в касете F-35 результаты оказались на уровне контроля и достоверных различий не установлено.

Объект № 7 – испытательные культуры сосны обыкновенной сорта Негорельская – создан 18 апреля 2018 г. сеянцами однолетнего возраста с закрытой корневой системой на двух участках из-под свежих вырубок с наиболее оптимальными условиями произрастания (кв. 110, выд. 15 площадью 0,9 га и кв. 110, выд. 8 площадью 0,2 га). На момент исследований (12 сентября 2020 г.) возраст сортовых культур составляет 3 года (биологический возраст культур – 4 года).

Показатели роста сортовых растений сосны обыкновенной в испытательных культурах

3-летнего возраста достигают в высоту в среднем 98 см (табл. 5), прирост в высоту центрального стволика за вегетационный период – 35 см, диаметр у корневой шейки растений – 2,6 см.

В контроле, представляющем семенное потомство, выращенное из семян, собранных в насаждении при рубках главного пользования (селекционная категория насаждений «нормальные») в Негорельском учебно-опытном лесхозе, аналогичные показатели оказались несколько ниже и составляют: по высоте – 90,3 см, по приросту в высоту центрального стволика – 32 см, по диаметру у корневой шейки растений – 2,4 см.

Сравнивая показатели высоты растений в опытном и контрольном вариантах, можно отметить превышение в росте сортовых растений в 3-летнем возрасте на 8,9% (98,3 см против 90,3 см), однако статистической достоверности различий по высоте при 5%-м уровне значимости в вариантах сортовых растений и контроле не обнаружено ($t_{факт} < t_{табл} = 1,96$).

Произрастающие испытательные культуры сосны обыкновенной сорта Негорельская характеризуются высокими показателями роста, хорошим приростом в высоту и высокой сохранностью. Превышение по показателям роста растений (высота растений, диаметр у корневой шейки стволика и прирост в высоту центрального побега) в сравнении с контролем достигает 8,3–9,3%.

Таблица 5

Показатели роста испытательных культур сосны обыкновенной сорта Негорельская

Вариант	Возраст культур, лет	Биологический возраст растений, лет	Высота растений, см	Прирост в высоту текущего года, см	Диаметр у корневой шейки растений, см	Длина хвои, см	Охвоенность стволика, %	Приживаемость (сохранность) растений, %
Гоцкое лесничество ГЛХУ «Старобинский лесхоз», Бугско-Полесский геоботанический округ подзоны широколиственно-сосновых лесов (грабовых дубрав)								
Сосна сорта Негорельская	1	2	32,4 ± 0,8	13,7 ± 1,5	0,6 ± 0,02	9,7 ± 0,3	82,0	86,5
	2	3	62,7 ± 2,7	31,4 ± 2,7	1,4 ± 0,1	9,5 ± 0,5	85,0	85,5
	3	4	98,3 ± 4,5	35,2 ± 4,5	2,6 ± 0,1	9,5 ± 0,4	83,0	85,0
Контроль	1	2	27,2 ± 1,0	10,3 ± 1,2	0,6 ± 0,02	8,9 ± 0,3	76,0	85,5
	2	3	59,5 ± 2,4	29,1 ± 2,3	1,3 ± 0,1	9,0 ± 0,4	79,0	85,0
	3	4	90,3 ± 4,3	32,2 ± 4,5	2,4 ± 0,1	8,5 ± 0,5	82,0	84,0

Таблица 6

Показатели роста испытательных культур сосны обыкновенной сорта Негорельская в 5-летнем возрасте

Вариант	Высота, см			Диаметр, мм		
	$M \pm m_M$	t	$\pm, \%$	$M \pm m_M$	t	$\pm, \%$
Засимовское лесничество ГОЛХУ «Кобринский опытный лесхоз», Бугско-Полесский геоботанический округ подзоны широколиственно-сосновых лесов (грабовых дубрав)						
Контроль	117,4 ± 4,3	–	–	27,0 ± 1,9	–	–
Сосна сорта Негорельская	131,5 ± 4,8	2,2	12,0	30,3 ± 0,7	1,6	12,2
Потомство ЛСП-II ГОЛХУ «Кобринский опытный лесхоз»	123,0 ± 5,5	0,8	4,8	29,3 ± 0,9	1,1	8,5

Объект № 8 – испытательные культуры сосны обыкновенной сорта Негорельская – создан 26 апреля 2013 г. (табл. 6) на площади 0,3 га сеянцами однолетнего возраста в кв. 111, выд. 17 Засимовского лесничества ГОЛХУ «Копыльский опытный лесхоз», которое относится к Бугско-Полесскому геоботаническому округу геоботанической подзоны широколиственно-сосновых лесов (грабовых дубрав). Замеры растений осуществлены в 5-летнем возрасте культур. Результаты исследований показали, что сортовое потомство произрастает лучше контроля на 12,0% (131,5 см против 117,4 см), причем разница оказалась статистически достоверной (критерий Стьюдента равен 2,2).

Потомство ЛСП Кобринского лесхоза по высоте также произрастет лучше контроля (на 4,8%), однако превышение оказалось статистически недостоверным (критерий Стьюдента равен 0,8). По диаметру у корневой шейки у сортового потомства и потомства ЛСП Кобринского лесхоза наблюдаются более высокие значения (на 12,2 и 8,5% соответственно) однако превышения оказались недостоверными (критерии Стьюдента равны соответственно 1,6 и 1,1).

Заключение. В результате проведенных исследований по изучению особенностей роста сосны обыкновенной сорта Негорельская в различных геоботанических округах Беларуси установлено:

1) в Ошмяно-Минском геоботаническом округе подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов (широколиственно-еловых лесов) на песчаной и супесчаной почвах превышение по высоте сортового потомства в сравнении с контролем на песчаной почве составляет 9,6–65,2% (при создании культур посадочным материалом СН₁ – 9,6%, посадочным материалом СН₂ – 36,3–65,2%);

2) в Оршанско-Могилевском геоботаническом округе подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов (широколиственно-еловых лесов) превышение по высоте сортового потомства в сравнении с контролем на супесчаной почве составляет 30,8–38,5%;

3) в Неманско-Предполесском геоботаническом округе подзоны дубово-темнохвойных лесов (елово-грабовых дубрав) превышение по высоте сортового потомства в сравнении с контролем на песчаной почве составляет 13,8–15,9%;

4) в Бугско-Полесском геоботаническом округе подзоны широколиственно-сосновых лесов (грабовых дубрав) превышение по высоте сортового потомства в сравнении с контролем на песчаной и супесчаной почвах составляет 8,9–12,0%.

Таким образом, в среднем по всем геоботаническим подзонам на различных почвах превышение по росту у сосны обыкновенной сорта Негорельская в сравнении с контролем достигает 20,7% (на песчаных почвах – 17,5%, на супесчаных почвах – 26,1%).

Список литературы

1. Особенности роста гибридных форм сосны обыкновенной в лесных культурах / С. В. Ребко [и др.] // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2008. Вып. XVI. С. 234–237.
2. Поплавская Л. Ф. Возрастная динамика роста отдельных семей гибридно-семенной плантации сосны обыкновенной в различных лесорастительных районах // Труды БГТУ. 2014. № 1 (165): Лесное хоз-во. С. 163–166.
3. Поплавская Л. Ф., Тупик П. В., Ребко С. В. Динамика роста культур сосны обыкновенной сорта «Негорельская» // Труды БГТУ. 2015. № 1 (174): Лесное хоз-во. С. 153–156.
4. Поплавская Л. Ф., Ребко С. В. Рост, продуктивность и наследуемость высоты семенного потомства гибридно-семенной плантации сосны обыкновенной в 7-летнем возрасте // Труды БГТУ. 2016. № 1 (183): Лесное хоз-во. С. 124–128.
5. Ребко С. В. Рост потомства гибридно-семенной плантации в испытательных культурах // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2008. Вып. XVI. С. 231–233.
6. Ребко С. В. Особенности плодоношения и содержание пигментов в хвое гибридного потомства сосны обыкновенной // Труды Ин-та леса НАН Беларуси. Гомель. 2008. Вып. 68: Проблемы лесоведения и лесоводства. С. 270–281.
7. Манцевич Е. Д. Влияние географического происхождения семян сосны на рост сеянцев // Ботаника. Исследования. 1967. Вып. IX. С. 222–227.
8. Манцевич Е. Д. Гроздешищечная форма сосны обыкновенной // Лесоведение и лесное хозяйство. 1987. Вып. 19. С. 53–56.
9. Никитин И. Н. Значение гетерозиса в лесоводстве и древоводстве // Лесное хозяйство. 1961. № 10. С. 22–25.
10. Осипова Н. И. Оценка комбинационной способности клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной по росту их потомств в испытательных культурах // Генетическая оценка исходного материала в лесной селекции. 2000. С. 44–49.
11. Патлай И. Н. Межформовая гибридизация сосны обыкновенной // Лесоводство и агролесомелиорация: Респ. темат. межвед. сб. 1983. Вып. 65. С. 41–44.
12. Митроченко В. В. Комбинационная способность клонов сосны обыкновенной по признаку роста в высоту // Лесоводство и агролесомелиорация: Респ. темат. межвед. сб. 1984. Вып. 69. С. 69–70.
13. Dobzhansky T. Nature and origin of heterosis // Iowa State Coll. Press. 1952. P. 218–233.

References

1. Rebko S. V., Poplavskaya L. F., Yakimov N. I., Seroglazova L. M. Peculiarities of growth of hybrid forms of Scots pine in forest cultures. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2008, series I, Forestry, issue XVI, pp. 234–237 (In Russian).
2. Poplavskaya L. F. Age dynamics of growth of individual families of hybrid-seed plantation of Scots pine in various forest areas. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1 (165): Forestry, pp. 163–166 (In Russian).
3. Poplavskaya L. F., Tupik P. V., Rebko S. V. Growth dynamics of forest cultures of a Scots pine of an variety «Negorelskaya». *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1 (174): Forestry, pp. 153–156 (In Russian).
4. Poplavskaya L. F., Rebko S. V. Growth, productivity and heritability of the height of seed offspring of the hybrid-seed plantation of Scots pine at the age of 7. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 1 (183): Forestry, pp. 124–128 (In Russian).
5. Rebko S. V. Growth in the offspring of a hybrid seed plantation in test cultures. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2008, series I, Forestry, issue XVI, pp. 231–233 (In Russian).
6. Rebko S. V. Features of fruiting and pigment content in the needles of hybrid progeny of Scots pine. *Trudy Institutata lesa NAN Belarusi* [Proceedings of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus], 2008, issue 68: Problems of Forest Science and Forestry, pp. 270–281 (In Russian).
7. Mantsevich E. D. The influence of the geographical origin of pine seeds on the growth of seedlings. *Botanika. Issledovaniya* [Botany. Research], 1967, issue 9, pp. 222–227 (In Russian).

8. Mantsevich E. D. Form of Scots pine with bunch seed. *Lesovedeniye i lesnoye khozyaystvo* [Forest Science and Forestry], 1987, issue 19, pp. 53–56 (In Russian).

9. Nikitin I. N. The importance of heterosis in forestry and dendrology. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 1961, issue 10, pp. 22–25 (In Russian).

10. Osipova N. I. Evaluation of the combinational ability of clones of plus trees of Scots pine according to the growth of their progeny in test cultures. *Geneticheskaya otsenka iskhodnogo materiala v lesnoy selektsii* [Genetic evaluation of the source material in forest selection], 2000, pp. 44–49 (In Russian).

11. Patlay I. N. Interformed hybridization of Scots pine. *Respublikanskiy tematicheskiy mezhvedomstvennyy sbornik "Lesovodstvo i agrolesomeliyatsiya"* [Republican thematic interdepartmental collection "Silviculture and agroforestry"], 1983, issue 65, pp. 41–44 (In Russian).

12. Mitrochenko V. V. Combination ability of clones of Scots pine on the basis of growth in height. *Respublikanskiy tematicheskiy mezhvedomstvennyy sbornik "Lesovodstvo i agrolesomeliyatsiya"* [Republican thematic interdepartmental collection "Silviculture and agroforestry"], 1984, issue 69, pp. 69–70 (In Russian).

13. Dobzhansky T. Nature and origin of heterosis. *Iowa State Coll. Press.*, 1952, pp. 218–233.

Информация об авторах

Поплавская Лилия Францевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: poplavskaya@belstu.by

Ребко Сергей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: rebko@belstu.by

Тупик Павел Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tupik@belstu.by

Information about the authors

Poplavskaya Liliya Frantsevna – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: poplavskaya@belstu.by

Rabko Siarhei Uladzimiravich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rebko@belstu.by

Tupik Pavel Valer'yevich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tupik@belstu.by

Поступила 27.10.2020

УДК 630*232

О. А. Селищева, Л. А. Веремейчик, В. В. Носников
Белорусский государственный технологический университет

ОПТИМИЗАЦИЯ СРОКОВ ПОСАДКИ ОДНОЛЕТНИХ СЕЯНЦЕВ ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ С ОТКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ

В статье анализируются результаты изучения оптимальных сроков посадки однолетних сеянцев липы мелколистной с открытой корневой системой в течение вегетационного сезона в школьном отделении питомника Негорельского учебно-опытного лесхоза. Установлено, что оптимальным сроком посадки сеянцев липы мелколистной является ранневесенняя посадка растений (приживаемость составляла 97,9%). Также хорошие результаты показала посадка растений во второй декаде октября без удаления или с минимальным (25%) удалением ассимиляционного аппарата (приживаемость составила 96,0 и 94,6% соответственно). Возможна посадка растений и во второй декаде сентября, при этом рекомендуется производить частичное удаление листьев в пределах 50,0–75,0% (приживаемость – 95,8 и 94,3% соответственно).

Ключевые слова: липа мелколистная, приживаемость, ранневесенняя посадка, открытая корневая система, средний диаметр у корневой шейки.

Для цитирования: Селищева О. А., Носников В. В. Оптимизация сроков посадки однолетних сеянцев липы мелколистной с открытой корневой системой // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 68–73.

O. A. Selishcheva, L. A. Verameichyk, V. V. Nosnikov
Belarusian State Technological University

OPTIMIZATION OF THE PLANTING TIME OF ONE-YEAR OLD SEEDLINGS OF SMALL-LEAVED LINDEN WITH AN OPEN ROOT SYSTEM

The article analyzes the results of studying the optimal timing of planting annual seedlings of small-leaved linden with an open root system during the growing season in the school branch of the nursery of the Negorelsky educational-experimental forestry enterprise. It has been established that the optimal time for planting small-leaved linden seedlings is early spring planting (survival rate was 97.9%). Also, good results were shown by planting plants in the second decade of October without removal or with minimal (25%) removal of the assimilation apparatus (survival rate was 96.0 and 94.6%, respectively). It is possible to plant plants in the second decade of September, while it is recommended to carry out partial removal of leaves in the range of 50.0–75.0% (survival rate – 95.8 and 94.3%, respectively).

Key words: small-leaved linden, survival rate, early spring planting, open root system, average diameter at the root collar.

For citation: Selishcheva O. A., Nosnikov V. V. Optimization of the planting time of one-year old seedlings of small-leaved linden with an open root system. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 68–73 (In Russian).

Введение. Введение липы мелколистной в лесную культуру можно объяснить тем, что данная порода при совместном произрастании с дубом черешчатым, сосной обыкновенной, елью европейской и другими лесообразующими породами способствует росту и развитию главной породы за счет создания для нее оптимальных условий (органический опад листьев липы имеет нейтральную реакцию среды, способствует скорейшему разложению и снижению кислотности лесной подстилки; выступая спутником, липа способствует очищаемости у главных пород стволов от сучьев), в результате чего увеличивается общая продуктивность насаждения. Также липу мелколистную активно используют при создании чистых насаждений с

целью увеличения биоразнообразия и усиления рекреационной функции, обеспечения дополнительной кормовой базы для пчеловодства.

В лесокультурном производстве чаще всего создают искусственные насаждения с участием липы мелколистной в весенний период. В последнее время в республике увеличиваются объемы создания лесных культур с данной породой, поэтому актуальным является вопрос изучения оптимальных сроков посадки растений с открытой корневой системой для достижения максимальной приживаемости, роста и развития посадочного материала.

По мнению Раевских В. М., весеннюю посадку необходимо заканчивать с началом роста, а осеннюю можно начинать после окончания

роста вегетативных побегов [1]. Юркевич И. Д. рекомендует посадку растений производить до фазы распускания почек [2]. Некоторые ученые считают, что посадку лиственных пород можно вести при начальном распускании листьев, а хвойных (лиственница) – до распускания молодых пучков хвои [3].

Установлено, что лучшими сроками посадки лиственных пород является весна и осень, то время, когда растение еще не тронулось в рост, и в конце вегетационного периода. Это подтверждается исследованиями Якимова Н. И. и др. при изучении оптимальных сроков пересадки сеянцев в школьное отделение питомника [4].

Оптимальным временем посадки однолетних сеянцев липы мелколистной считается окончание роста растения (начиная со второй декады сентября), соответственно с этого момента можно производить его пересадку в школьное отделение питомника или на лесокультурную площадь. Некоторыми учеными установлено, что для лучшей приживаемости растения необходимо удалять часть ассимиляционного аппарата [4].

Также учеными установлено, что рост и развитие растения во многом определяется биологическими особенностями вида и климатическими условиями [5].

Нашей задачей было установить оптимальные сроки посадки однолетних сеянцев липы мелколистной с открытой корневой системой в течение вегетационного сезона, которые обеспечат максимальную приживаемость, рост и развитие посадочного материала.

Основная часть. Изучение оптимальных сроков посадки однолетних сеянцев липы мелколистной с открытой корневой системой в течение вегетационного сезона проводилось в школьном отделении питомника Негорельского учебно-опытного лесхоза. Обработка почвы включала в себя вспашку на глубину 20–25 см. Посадка проводилась по следующим вариантам в трехкратной повторности:

Вариант № 1 – осенняя посадка сеянцев с открытой корневой системой (вторая декада сентября):

- а) без удаления ассимиляционного аппарата (контроль);
- б) с удалением 25% ассимиляционного аппарата;
- в) с удалением 50% ассимиляционного аппарата;
- г) с удалением 75% ассимиляционного аппарата;
- д) с удалением 100% ассимиляционного аппарата.

Вариант № 2 – осенняя посадка сеянцев с открытой корневой системой (вторая декада октября):

а) без удаления ассимиляционного аппарата (контроль);

б) с удалением 25% ассимиляционного аппарата;

в) с удалением 50% ассимиляционного аппарата;

г) с удалением 75% ассимиляционного аппарата;

д) с удалением 100% ассимиляционного аппарата.

Вариант № 3 – посадка сеянцев с открытой корневой системой во второй декаде ноября без удаления ассимиляционного аппарата.

Вариант № 4 – посадка сеянцев с открытой корневой системой во второй декаде апреля без удаления ассимиляционного аппарата.

Статистический анализ полученных результатов исследования проводился по общепринятым методикам [6] с помощью статистического пакета Statistica 6.0.

Анализ результатов посадки растений (табл. 1) во второй декаде сентября показал, что лучшей приживаемостью характеризуются сеянцы, у которых было удалено 50% листьев (95,8%), худшая приживаемость оказалось у контроля – 87,4% (листья у сеянцев не удалялись). Средняя высота таких сеянцев больше контрольных на 3,4 см, диаметр у корневой шейки – на 0,93 мм, длина главного корня – на 4,3 см. Масса сеянцев в абсолютно сухом состоянии также оказалась выше на 9,18 г. При удалении 75% листьев средние показатели роста превышали контрольные по высоте стволика на 2,9 см, по диаметру у корневой шейки – на 0,67 мм, по длине главного корня – на 2,6 см, по массе – на 12,39 г. При полном удалении ассимиляционного аппарата средняя высота превышала контрольные показатели на 0,6 см, диаметр у корневой шейки – на 0,42 мм, длина главного корня – на 1,0 см, масса – на 2,12 г. Средняя высота и диаметр у корневой шейки сеянцев при удалении 25% листьев составили 20,4 см и 5,18 мм, что больше контроля на 9,1 и 11,6% соответственно. Масса сеянцев также превышала контроль на 3,32 г, или 4,8%.

Прирост по высоте и диаметру у корневой шейки составил у контрольных растений 3,8 см и 1,41 мм, при удалении 25% листьев – 5,6 см и 1,36 мм, 50% листьев – 4,5 см и 1,08 мм соответственно. При удалении более 75% ассимиляционного аппарата прирост по высоте составил 6,7 см (75%) и 5,2 см (100%), по диаметру у корневой шейки – 1,54 и 1,03 мм соответственно.

Установлено, что во всех вариантах опыта (за исключением варианта с контролем и 100%-ным удалением листьев) масса подземной части преобладала по отношению к надземной.

Таблица 1

Показатели роста и приживаемости сеянцев липы мелколистной с открытой корневой системой при посадке растений во второй декаде сентября

Показатель роста		Вариант опыта (процент удаления листьев, %)				
		контроль (без удаления листьев)	25	50	75	100
Приживаемость, %		87,4	92,1	95,8	94,3	90,4
Средняя высота стволика, см	$M \pm m$	18,7 ± 0,48	20,4 ± 0,51	22,1 ± 0,44	21,6 ± 0,42	19,3 ± 0,44
	$v, \%$	17,86	16,24	19,04	18,62	15,21
	$P, \%$	2,57	2,50	1,99	1,94	2,28
	$t_{0,95}$	–	2,43	5,22	4,55	0,92
Средний диа- метр у корне- вой шейки, мм	$M \pm m$	4,64 ± 0,24	5,18 ± 0,18	5,57 ± 0,16	5,31 ± 0,19	5,06 ± 0,15
	$v, \%$	20,86	21,19	27,02	19,26	21,44
	$P, \%$	5,17	3,47	2,87	3,58	3,16
	$t_{0,95}$	–	1,80	3,22	2,19	1,46
Средняя длина главного корня, см	$M \pm m$	22,6 ± 0,74	24,5 ± 0,69	26,9 ± 0,39	25,2 ± 0,60	23,6 ± 0,51
	$v, \%$	19,25	16,88	21,09	18,46	24,15
	$P, \%$	3,27	2,82	1,45	2,38	2,16
	$t_{0,95}$	–	1,88	5,14	2,73	1,11
Отношение средней высоты стволика к средней длине главного корня		0,83	0,83	0,82	0,86	0,82
Масса сеянцев (10 шт.) в абсо- лютно сухом состоянии, г:		68,72	72,04	77,90	81,11	70,84
– надземной части (в том числе листьев)		35,16 (20,56)	35,92 (22,29)	37,89 (23,06)	37,89 (22,85)	36,15 (20,25)
– подземной части		33,56	36,12	40,01	43,22	34,69
Отношение массы надзем- ной части к подземной		1,05	0,99	0,95	0,88	1,04
Распределение абсолютно су- хой массы по частям расте- ния, %	надземная (в том чис- ле листья)	51,2 (29,9)	49,9 (30,9)	48,6 (29,6)	46,7 (28,2)	51,0 (28,6)
	подземная	48,8	50,1	51,4	53,3	49,0

Отношение массы надземной части к подземной в среднем составляет 1:1, а отношение средней высоты стволика к средней длине главного корня – от 0,82 (50%-ное и 100%-ное удаление ассимиляционного аппарата) до 0,86 (удаление 75%-ное листьев).

Таким образом, при посадке сеянцев во второй декаде сентября рекомендуется производить у них частичное удаление листьев в пределах 50,0–75,0%.

При посадке растений во второй декаде октября (табл. 2) наилучшие показатели роста. Были отмечены у сеянцев с минимальным удалением ассимиляционного аппарата (25%) или без его удаления (контроль).

Средняя высота у контроля превышала высоту растений с удалением листьев в 50, 75 и 100% на 2,2, 3,0 и 3,7 см, диаметр у корневой шейки – на 0,49, 0,71 и 0,74 мм, а длина главного корня – на 0,3, 0,6 и 2,2 см соответственно. Средняя высота и длина главного корня у растений при уда-

лении 25% листьев превышала контроль на 1,8% (0,5 см) и 3,0% (0,8 см), а вот диаметр у корневой шейки оказался меньше на 4,1% (0,27 мм). Прирост по высоте надземной части стволика и диаметру у корневой шейки составил у контрольных растений 5,7 см и 1,67 мм, при удалении 25% листьев – 4,9 см и 1,58 мм, 50% листьев – 4,7 см и 1,55 мм, 75% листьев – 5,3 см и 1,44 мм, 100% – 4,6 см и 1,08 мм соответственно.

Масса сеянцев в абсолютно сухом состоянии оказалась наибольшая у контрольных сеянцев – 96,51 г и у сеянцев, где было удалено 25% ассимиляционного аппарата, – 92,13 г. В вариантах с 50–100%-ным удалением листьев масса растений была меньше контроля в среднем на 9,82 г.

При этом масса подземной части преобладала над надземной (за исключением варианта с 50%-ным удалением листьев). Отношение массы надземной части к подземной в среднем составляло 0,98, а отношение средней высоты стволика к средней длине главного корня – 1,00.

Таблица 2

Показатели роста и приживаемости сеянцев липы мелколистной с открытой корневой системой при посадке растений во второй декаде октября

Показатель роста		Вариант опыта (процент удаления листьев)				
		контроль (без удаления листьев)	25	50	75	100
Приживаемость, %		96,0	94,6	90,8	90,2	84,9
Средняя высота стволика, см	$M \pm m$	27,6 ± 0,72	28,1 ± 0,54	25,4 ± 0,61	24,6 ± 0,50	23,9 ± 0,67
	v , %	19,85	15,11	17,29	19,05	18,94
	P , %	2,61	1,92	2,40	2,03	2,80
	$t_{0,95}$	–	0,56	2,33	3,42	3,76
Средний диаметр у корневой шейки, мм	$M \pm m$	6,81 ± 0,21	6,54 ± 0,24	6,32 ± 0,19	6,10 ± 0,26	6,07 ± 0,23
	v , %	15,11	19,24	15,27	14,32	18,05
	P , %	3,08	3,67	3,01	4,26	3,79
	$t_{0,95}$	–	0,85	1,73	2,12	2,38
Средняя длина главного корня, см	$M \pm m$	26,4 ± 0,50	27,2 ± 0,67	26,1 ± 0,53	25,8 ± 0,74	24,2 ± 0,52
	v , %	14,21	15,99	12,08	18,62	16,49
	P , %	1,89	2,46	2,03	2,71	2,15
	$t_{0,95}$	–	0,96	0,41	0,70	3,05
Отношение средней высоты стволика к средней длине главного корня		1,05	1,03	0,97	0,95	0,99
Масса сеянцев (10 шт.) в абсолютно сухом состоянии, г:						
– надземной части (в том числе листьев)		48,03 (25,62)	44,25 (24,08)	44,90 (25,84)	42,18 (23,48)	42,16 (21,91)
– подземной части		48,48	47,88	42,78	44,97	43,08
Отношение массы надземной части к подземной		0,99	0,92	1,05	0,94	0,98
Распределение абсолютно сухой массы по частям растения, %	надземная (в том числе листья)	49,8 (26,5)	48,0 (26,1)	51,2 (29,5)	48,4 (26,9)	49,5 (25,7)
	подземная	50,2	52,0	48,8	51,6	50,5

При посадке растений во второй декаде октября показатель приживаемости составлял от 84,9% (при полном удалении листьев) до 96,0% (контроль), причем с увеличением процента удаления ассимиляционного аппарата уменьшалась не только приживаемость, но и показатели роста и массы растений.

На основании вышеизложенного при посадке растений липы мелколистной во второй декаде октября рекомендуется производить посадку без удаления или с минимальным удалением (до 25%) ассимиляционного аппарата.

Также были изучены особенности роста растений при посадке их во второй декаде ноября и во второй декаде апреля (табл. 3).

При анализе позднеосенней и ранневесенней посадки сеянцев видно, что лучшая приживаемость и показатели роста отмечены у растений апрельской посадки (приживаемость на 3,4% больше по сравнению с осенней посадкой).

Средняя высота растений при весенней посадке больше по сравнению с осенней на 17,9 см (72,2%), диаметр у корневой шейки – на 4,13 мм (66,5%), длина главного корня – на 2,3 см (9,2%).

Прирост при ноябрьской посадке растений составил 8,1 см по высоте и 1,68 мм по диаметру у корневой шейки, при посадке в апреле – 19,7 см и 4,21 мм соответственно.

Средняя масса растений при апрельской посадке составила 184,21 г, что на 93,6% (89,05 г) больше, чем при ноябрьской посадке.

Таким образом, при выборе сроков посадки растений во второй декаде ноября или апреля, предпочтение необходимо отдавать весенним посадкам, так как сеянцы имеют не только лучшие показатели приживаемости (97,9%), но и роста: средняя высота больше на 72,2%, диаметр у корневой шейки – на 66,5%, длина главного корня – на 9,2%.

Таблица 3

Показатели роста и приживаемости сеянцев липы мелколистной с открытой корневой системой при посадке растений во второй декаде ноября и апреля

Показатель роста		Вариант опыта (время посадки)	
		вторая декада ноября	вторая декада апреля
Приживаемость, %		94,5	97,9
Средняя высота стволика, см	$M \pm m$	24,8 ± 1,16	42,7 ± 1,09
	$v, \%$	18,25	19,16
	$P, \%$	4,68	2,55
	$t_{0,95}$	11,25	–
Средний диаметр у корневой шейки, мм	$M \pm m$	6,21 ± 0,14	10,34 ± 0,21
	$v, \%$	11,24	10,17
	$P, \%$	2,25	2,03
	$t_{0,95}$	16,36	–
Средняя длина главного корня, см	$M \pm m$	25,1 ± 0,81	27,4 ± 0,53
	$v, \%$	17,38	21,19
	$P, \%$	3,23	1,93
	$t_{0,95}$	2,38	–
Отношение средней высоты стволика к средней длине главного корня		0,99	1,56
Масса сеянцев (10 шт.) в абсолютно сухом состоянии, г:		95,16	184,21
– надземной части (в том числе листьев)		43,52 (22,55)	98,24 (53,91)
– подземной части		51,64	85,97
Отношение массы надземной части к подземной		0,84	1,14
Распределение абсолютно сухой массы по частям растения, %	надземная (в том числе листьев)	45,7 (23,7)	53,3 (29,3)
	подземная	54,3	46,7

Заключение. Анализируя полученные данные, можно рекомендовать следующие сроки посадки сеянцев липы мелколистной с открытой корневой системой – лучшие показатели приживаемости, роста и развития были получены при ранневесенней посадке растений (приживаемость составляла 97,9%, средняя высота – 42,7 см, диаметр у корневой шейки – 10,34 мм). Также хорошие результаты показала посадка растений во второй декаде октября без удаления

или с минимальным (25%) удалением ассимиляционного аппарата (приживаемость составила 96,0 и 94,6%, средняя высота – 27,6 и 28,1 см, диаметр у корневой шейки – 6,81 и 6,54 мм соответственно). Возможна посадка растений и во второй декаде сентября, при этом рекомендуется производить частичное удаление листьев в пределах 50,0–75,0% (приживаемость – 95,8 и 94,3%, средняя высота – 22,1 и 21,6 см, диаметр у корневой шейки – 5,57 и 5,31 мм соответственно).

Список литературы

1. Раевских В. М. О сезонном росте древесных пород // Лесное хозяйство. 1979. № 2. С. 43–44.
2. Юркевич И. Д., Голод Д. С., Ярошевич Э. П. Фенологические исследования древесных и травянистых растений. Минск: Наука и техника, 1980. 80 с.
3. Мерзленко М. Д. Ценность фенологических наблюдений для лесохозяйственного производства // Лесной вестник. 2006. № 1. С. 37–40.
4. Якимов Н. И. Агротехника выращивания саженцев лиственных пород для лесовосстановления // Труды БГТУ. 2014. № 1 (165): Лесное хоз-во. С. 194–197.
5. Веретенников А. В. Физиология растений: учебник. М.: Академический проект, 2006. 480 с.
6. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.

References

1. Raevskih V. M. About the seasonal growth of tree species. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 1979, no. 2, pp. 43–44 (In Russian).

2. Yurkevich I. D., Golod D. S., Yaroshevich E. P. *Fenologicheskiye issledovaniya drevesnykh i travyanistykh rasteniy* [Phenological studies of woody and herbaceous plants]. Minsk, Nauka i tehnika Publ., 1980. 80 p.

3. Merzlenko M. D. The value of phenological observations for forestry production. *Lesnoy vestnik* [Forest Bulletin], 2006, no. 1, pp. 37–40 (In Russian).

4. Yakimov N. I. Agrotechnology for growing deciduous seedlings for reforestation. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1 (165): Forestry, pp. 194–197 (In Russian).

5. Veretennikov A. V. *Fiziologiya rasteniy: uchebnik* [Plant physiology: textbook]. Moscow, Akademycheskiy proekt Publ., 2006. 480 p.

6. Zaytsev G. N. *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 424 p.

Информация об авторах

Селищева Оксана Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: oksana_selishchava@mail.ru

Веремейчик Лариса Антоновна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bzhd@belstu.by

Носников Вадим Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nosnikov@belstu.by

Information about the authors

Selishcheva Oksana Aleksandrovna – PhD (Agriculture), assistant lecturer, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: oksana_selishchava@mail.ru

Verameichyk Larysa Antonauna – DSc (Agriculture), Professor, Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bzhd@belstu.by

Nosnikov Vadim Valer'evich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nosnikov@belstu.by

Поступила 26.10.2020

УДК 630*233

А. В. Юрениа, Н. И. Якимов, И. В. Соколовский, Л. А. Веремейчик
Белорусский государственный технологический университет

**ПРИЖИВАЕМОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ И КУСТАРНИКОВЫХ ПОРОД
В САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЕ ИЛОВОГО ХОЗЯЙСТВА
УП «МИНСКВОДОКАНАЛ»**

Объектом исследования являлся иловый пруд № 4 УП «Минскводоканал» после технического и биологического этапов рекультивации. Технический этап рекультивации илового пруда заключался в нанесении грунта с пескоплощадок слоем 50–60 см и выравнивании поверхности. Этап биологической рекультивации включал посадку древесных и кустарниковых видов для определения пород, пригодных для выращивания в этих условиях.

Наилучшая приживаемость у посадок, созданных саженцами с открытой корневой системой, наблюдалась у клена остролистного (75,4%). Удовлетворительную приживаемость выше 25% показали такие древесные виды, как береза повислая (37,7%), липа крупнолистная (30,3%), рябина обыкновенная (28,8%), а из кустарников – пузыреплодник (34,7%), дерен белый (23,3%), боярышник обыкновенный (41,3%), сирень обыкновенная (30,7%). Низкая приживаемость отмечена у дуба красного (северного) (11,6%) и кизильника блестящего (7,3%).

Несколько лучшие результаты получены на участке, где проводилась посадка сеянцев с закрытой корневой системой. У сеянцев сосны обыкновенной приживаемость составила 59%, ели европейской – 50%, березы повислой – 27%, ольхи черной – 16%.

Одной из причин плохой приживаемости деревьев явился длительный период без осадков с высокой температурой воздуха в мае – июне, что привело к иссушению грунта и снижению влажности воздуха. Также большое влияние на низкую приживаемость оказали почвенно-грунтовые условия, которые имеют щелочную реакцию среды и наличие в почве определенного количества токсичных веществ, отрицательно влияющих на рост растений.

Ключевые слова: опытные лесные культуры, приживаемость древесных растений, рекультивация иловых прудов, осадок сточных вод.

Для цитирования: Юрениа А. В., Якимов Н. И., Соколовский И. В. Приживаемость древесных и кустарниковых пород в санитарно-защитной зоне илового хозяйства УП «Минскводоканал» // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 74–78.

A. V. Yurenya, N. I. Yakimov, I. V. Sokolovskiy, L. A. Verameichyk
Belarusian State Technological University

**SURVIVAL OF WOOD AND SHRUBS IN SANITARY PROTECTION AREA
OF THE SILTER FACILITY UE “MINSK VodOKANAL”**

The object of the study was silt pond No. 4 of the UE “Minskvodokanal” after the technical and biological stages of reclamation. The technical stage of reclamation consisted in applying sand pads to the surface of the silt pond with a layer of 50–60 cm and levelling the surface. The stage of biological reclamation consisted of planting tree and shrub species to determine which tree species are suitable for cultivation under these conditions.

The best survival rate in plantings created by seedlings with an open root system was observed in Norway maple (75.4%). A satisfactory survival rate above 25% was shown by such woody species as drooping birch (37.7%), large-leaved linden (30.3%), mountain ash (28.8%), and from shrubs – bladder berry (34.7%), white dogwood (23.3%), common hawthorn (41.3%), common lilac (30.7%). Low survival rate was noted in red (northern) oak (11.6%) and brilliant cotoneaster (7.3%).

Somewhat better results were obtained in the area where seedlings with a closed root system were planted. In Scots pine seedlings, survival rate was 59%, European spruce – 50%, silver birch – 27%, and black alder – 16%.

One of the reasons for the poor survival rate of trees was a long period of rainlessness with a high air temperature in May-June, which led to the drying out of the soil and a decrease in air humidity. Also, the soil-ground conditions, which have an alkaline reaction of the environment and the presence of a certain amount of toxic substances in the soil, negatively affecting plant growth, had a great influence on the low survival rate.

Key words: experimental forest cultures, survival of woody plants, reclamation of silt ponds, sewage sludge.

For citation: Yurenya A. V., Yakimov N. I., Sokolovskiy I. V. Survival of wood and shrubs in sanitary protection area of the silter facility UE "Minskvodokanal". *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 74–78 (In Russian).

Введение. Осадки сточных вод (ОСВ) являются одним из основных видов бытовых и промышленных отходов, которые образуются в результате очистки сточных вод. ОСВ широко используются в качестве удобрений в странах Европы и США. При этом в США в сельском хозяйстве применяют до 30% годового выхода ОСВ, а в Швейцарии и Германии – до 70%. По мнению ученых США, Великобритании и стран ЕЭС, метод почвенной утилизации ОСВ является наиболее перспективным по сравнению с другими ныне существующими. [1]. Органические вещества в осадках повышают структуру почвы, водоустойчивость почвенных агрегатов, вследствие чего улучшается ее водный воздушный и теплообменный режимы. Особенно эффективны ОСВ на легких дерново-подзолистых почвах, где их применение устраняет дисбаланс элементов питания [2]. Большинство видов ОСВ пригодны для использования в сельском хозяйстве, однако в каждом конкретном случае необходимо определить их состав, дозы, сроки и периодичность внесения [3, 4].

Возможно широкое использование ОСВ при городском озеленении [5]. Одним из приемов утилизации ОСВ является использование его на удобрение в составе компоста [6]. При этом по эффективности они не уступают традиционным органическим и минеральным удобрениям [7, 8]. Однако при использовании органических удобрений на основе ОСВ необходимо известкование почвы с целью уменьшения избыточного поступления в растения тяжелых металлов. При известковании активизируется жизнедеятельность полезной микрофлоры, улучшается минеральное питание растений в результате более активной трансформации органических соединений, меняются к лучшему физические свойства почвы [9]. Поэтому использование ОСВ в земледелии указывает на высокую фитосанитарную роль зеленых растений при реутилизации осадков сточных вод [10].

Основная часть. Существует множество способов использования и утилизации ОСВ. Самым простым и недорогим из них является хранение ОСВ на иловых площадках в прудах-накопителях, которое применяется в Беларуси. Поэтому основной задачей рекультивации иловых прудов является изоляция населенных пунктов от неприятных запахов, вредных газов, а также защита территории прудов от ветров, высоких температур, недостаточной влажности воздуха.

Объектом исследования являлся иловый пруд № 4 УП «Минскводоканал» площадью 0,92 га после технического и биологического этапов рекультивации. Технический этап рекультивации заключался в создании твердой основы илового пруда путем нанесения на его площадь песка с пескоплощадок слоем 50–60 см и выравнивания поверхности. Этап биологической рекультивации включал посадку древесных и кустарниковых видов для определения пород, пригодных для выращивания в условиях илового пруда после технического этапа рекультивации.

Грунт на объекте представляет собой смесь с неоднородным составом по соотношению минеральная часть – органика. В зависимости от этого соответствия свойства грунтосмеси варьируют в широких пределах по водоудерживающей и водопропускной способности. Проведенные исследования показали, что кислотность грунта довольно низкая, реакция среды близка к нейтральной (рН по смешанным образцам на участке составляет от 6,4 до 7,2), в среднем она составляет 6,8. Для выращивания большинства древесных пород такая реакция среды грунтов является завышенной, что может сказаться на приживаемости и росте древесных растений, особенно в первые годы.

Участок с опытными культурами был разбит на 4 площадки, на которых высаживались древесные виды в 4-кратной повторности. На участке № 1 посажено 16 видов древесных и кустарниковых растений, ряды которых чередовались в определенной последовательности с 4-кратной повторностью, чтобы нивелировать влияние условий местопрорастания на приживаемость и рост различных древесных пород. На участке № 2 опытные посадки заложены посадочным материалом с закрытой корневой системой (ЗКС), который отличается более высокой приживаемостью по сравнению с сеянцами и саженцами с открытыми корнями. Возраст этого посадочного материала составляет 1 год. Для посадки использовались следующие древесные виды с ЗКС: сосна обыкновенная, ель европейская, береза повислая и ольха черная. На участке № 3 были высажены 4–5-летние саженцы березы повислой. Эта древесная порода по нашему мнению наиболее пригодна для посадки на такой категории грунтов. На участке посажено 11 рядов березы повислой в количестве 450 шт. В соответствии с «Положением о порядке лесовосстановления и лесоразведения» инвентаризации

подлежат лесные культуры и защитные лесные насаждения 1-го и 3-го года выращивания. На второй календарный год проводится визуальный осмотр созданных лесных культур с целью определения их состояния, объемов дополнения и соответствия техническим требованиям.

Результаты инвентаризации опытных посадок чистых и смешанных древесных и кустарниковых пород на территории илового прудонакопителя № 4 УП «Минскводоканал» приведены в табл. 1 и 2.

Как видно из данных табл. 1, наилучшая приживаемость у посадок, созданных саженцами с открытой корневой системой, наблюдается у клена остролистного и составляет 75,4%. Удовлетворительную приживаемость выше 25% показали такие древесные виды, как береза повислая в чистых рядовых посадках без смешения пород – 37,7%, липа крупнолистная – 30,3%, рябина обыкновенная – 28,8%, а из кустарников – пузыреплодник – 34,7%, дерен белый – 23,3%, боярышник обыкновенный – 41,3%, сирень обыкновенная – 30,7%. Низкая приживаемость отмечена у дуба красного

(11,6%) и кизильника блестящего (7,3%). Повышенная температура июня и недостаток влаги в корнеобитаемом слое наиболее сильно отразились на хвойных породах (сосна, ель, лиственница) и некоторых лиственных (ива, бирючина, шиповник), которые высаживались саженцами высотой 25–40 см. Указанные породы практически не прижились, сохранились только единичные деревья ели. Возможно, сказывалось отрицательное воздействие почвенно-грунтовых условий, так как щелочность грунта особо негативно влияет на приживаемость и рост хвойных пород.

Несколько лучшие результаты получены на участке, где проводилась посадка сеянцев с закрытой корневой системой (табл. 2). На этой площади было проведено два ухода мотокосами. Тем не менее у сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой приживаемость составила 59%, ели европейской – 50%, березы повислой – 27%, ольхи черной – 16%. На приживаемости сеянцев с ЗКС также сказывалось негативное воздействие почвенно-грунтовых условий.

Таблица 1

Посадка саженцами с открытой корневой системой

№ ряда	Древесный вид	Посажено, шт.	Сохранилось, шт.	Приживаемость, %
Смешанные рядовые посадки				
1	Пузыреплодник калинолистный	243	84	34,7
2	Сосна обыкновенная	313	–	–
3	Ель европейская	360	6	1,8
4	Кизильник блестящий	42	3	7,3
5	Дерен белый	61	14	23,3
6	Дуб красный (северный)	116	13	11,6
7	Липа крупнолистная	60	18	30,3
8	Лиственница европейская	84	–	–
9	Ива пурпурная	38	–	–
10	Боярышник обыкновенный	50	21	41,3
11	Бирючина обыкновенная	37	–	–
12	Клен остролистный	82	62	75,4
13	Рябина обыкновенная	58	17	28,8
14	Шиповник	49	–	–
15	Сирень обыкновенная	44	14	30,7
16	Береза повислая в смешении	367	56	15,3
Рядовые посадки				
17	Береза повислая без смешения	450	170	37,7

Таблица 2

Посадка сеянцами с закрытой корневой системой

№ участка	Древесный вид	Посажено, шт.	Сохранилось, шт.	Приживаемость, %
1	Ель европейская	208	105	50,7
2	Сосна обыкновенная	252	150	59,4
3	Береза повислая	48	13	27,1
4	Ольха черная	47	8	16,2

Заключение. Низкую приживаемость посаженных древесных и кустарниковых растений можно объяснить неблагоприятными погодными условиями в начальный период вегетации, интенсивным ростом заглушающей травянистой растительности и особенностью почвенно-грунтовых условий.

Приживаемость и особенность сезонного роста древесных пород во многом определяется погодными условиями района их произрастания. Начало роста в высоту у большинства пород приходится на май месяц. В июне у древесных пород наблюдается максимальный прирост в

высоту. В июле – августе рост древесных пород в высоту замедляется, усиливается рост корневых систем и происходит одревеснение побегов. Длительный период без осадков с высокой температурой воздуха привел к иссушению грунта и снижению влажности воздуха, что отрицательно отразилось на состоянии древесных пород.

Кроме того, отрицательное влияние на приживаемость древесных видов оказали почвенно-грунтовые условия, которые характеризуются щелочной реакцией среды и наличием небольшого количества токсичных веществ, отрицательно влияющих на рост растений.

Список литературы

1. Научные основы применения осадков городских сточных вод в качестве удобрения / Л. Н. Михайлов [и др.]. Самара: Кн. изд-во, 1998. 160 с.
2. Касатиков В. А., Касатикова С. М., Шабардина Н. П. Утилизация органических отходов // Сб. трудов ВНИПТИОУ. 1998. Вып. 1. С. 136–143.
3. Слипеч А. А. Агроэкологическая оценка почвенного пути утилизации осадков сточных вод в севообороте: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Калуга, 2007. 16 с.
4. Касатиков В. А. Использование осадков городских сточных вод // Агрохимический вестник. 2013. № 4. С. 44–46.
5. Витковская С. Е., Дричко В. Ф. Влияние органических отходов на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы и поступление тяжелых металлов в растения // Агрохимия. 2002. № 7. С. 5–10.
6. Носовская И. И., Соловьев Г. А., Егоров В. С. Влияние длительного систематического применения различных минеральных удобрений и навоза на накопление в почве и хозяйственный баланс меди и цинка // Агрохимия. 2000. № 9. С. 50–56.
7. Касатиков В. А. Агрогеохимические свойства осадков городских сточных вод и торфоилловых компостов // Агрохимия. 1996. № 8–9. С. 87–96.
8. Носовская И. И., Соловьев Г. А., Егоров В. С. Влияние длительного систематического применения различных минеральных удобрений и навоза на накопление в почве и хозяйственный баланс кадмия, свинца, никеля и хрома // Агрохимия. 2001. № 1. С. 82–91.
9. Влияние мелиорантов и осадков городских сточных вод на миграцию тяжелых металлов в дерново-подзолистой супесчаной почве / В. А. Касатиков [и др.] // Известия ТСХА. 2003. Вып. 1. С. 33–40.
10. Денисов Е. П., Солодовников А. П. Эффективность комплексных фитомелиораций в Поволжье. Саратов: Саратовский ГАУ, 2007. 200 с.

References

1. Mikhaylov L. N., Puzhaykin I. V., Markovskaya M. P., Markovskaya G. K. *Nauchnyye osnovy primeneniya osadkov gorodskikh stochnykh vod v kachestve udobreniya* [Scientific basis for the use of urban wastewater sludge as fertilizer]. Samara, Knizhnoye izdatel'stvo Publ., 1998. 160 p.
2. Kasatikov V. A., Kasatikova S. M., Shabardina N. P. Disposal of organic waste. *Sbornik trudov VNIPTIOU* [Collection of works of VNIPTIOU], 1998, issue 1, pp. 136–143 (In Russian).
3. Slipets A. A. *Agroekologicheskaya otsenka pochvennogo puti utilizatsii osadkov stochnykh vod v sevooborote. Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Agroecological assessment of the soil way of utilization of sewage sludge in the crop rotation. Abstract of thesis cand. biol. sci.]. Kaluga, 2007. 16 p.
4. Kasatikov V. A. Utilization of municipal wastewater sludge. *Agrokhimicheskiy vestnik* [Agrochemical Bulletin], 2013, no. 4, pp. 44–46 (In Russian).
5. Vitkovskaya S. E., Drichko V. F. The influence of organic waste on the agrochemical properties of sod-podzolic soil and the entry of heavy metals into plants. *Agrokhimiya* [Agrochemistry], 2002, no. 7, pp. 5–10 (In Russian).
6. Nosovskaya I. I., Solov'ev G. A., Egorov V. S. The influence of long-term systematic use of various mineral fertilizers and manure on the accumulation in the soil and the economic balance of copper and zinc. *Agrokhimiya* [Agrochemistry], 2000, no. 9, pp. 50–56 (In Russian).
7. Kasatikov V. A. Agrogeochemical properties of urban wastewater sludge and peat compost. *Agrokhimiya* [Agrochemistry], 1996, no. 8–9, pp. 87–96 (In Russian).

8. Nosovskaya I. I., Solov'ev G. A., Egorov V. S. The effect of long-term systematic use of various mineral fertilizers and manure on the accumulation of cadmium, lead, nickel and chromium in the soil and the economic balance. *Agrokhimiya* [Agrochemistry], 2001, no. 1, pp. 82–91 (In Russian).

9. Kasatkov V. A., Es'kov A. I., Chernikov V. A., Raskatov V. A., Kasatikova S. M., Shabardina N. P. Influence of ameliorants and urban waste water sediments on the migration of heavy metals in sod-podzolic sandy loam soil. *Izvestiya TSHA* [News of TSKHA], 2003, issue 1, pp. 33–40 (In Russian).

10. Denisov E. P., Solodovnikov A. P. *Effektivnost' kompleksnykh fitomelioratsiy v Povolzh'ye* [The effectiveness of complex phytomelioration in the Volga region]. Saratov, Saratovskiy GAU Publ., 2007. 200 p.

Информация об авторах

Юреня Андрей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: urenya@belstu.by

Якимов Николай Игнатьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: yakimov@belstu.by

Соколовский Иван Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sokolovsky@belstu.by

Веремейчик Лариса Антоновна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bzhd@belstu.by

Information about the authors

Yurenya Andrey Vladimirovich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: urenya@belstu.by

Yakimov Nikolay Ignat'yevich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yakimov@belstu.by

Sokolovskiy Ivan Vasil'evich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sokolovsky@belstu.by

Verameichyk Larysa Antonauna – DSc (Agriculture), Professor, Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bzhd@belstu.by

Поступила 14.10.2020

ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 632.7(476)(047.31)

В. М. Каплич, А. Д. Власенко

Белорусский государственный технологический университет

ЭКОЛОГО-ФАУНИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НАСЕКОМЫХ-ВРЕДИТЕЛЕЙ ГОРОДСКИХ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ СЕВЕРНОГО И СЕВЕРО-ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНОВ ИНТРОДУКЦИИ БЕЛАРУСИ

Городские зеленые насаждения оказывают значительное влияние на микроклимат городов и их санитарно-гигиенические условия. Для эффективной защиты растений необходим постоянный мониторинг вредителей, а также прогноз динамики численности популяций, что возможно только на основе знаний видового состава вредителей и их эколого-биологических особенностей развития.

В ходе многолетнего обследования (2007–2020 гг.) городских зеленых насаждений северного и северо-центрального районов интродукции Беларуси выявлено 155 видов насекомых-вредителей, принадлежащих к 7 отрядам (Sternorrhyncha, Dermaptera, Hemiptera, Coleoptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Diptera) и 43 семействам. Во всех типах городских зеленых насаждений: центральные и периферические уличные магистрали, зоны частного сектора и лесопарковые зоны, наибольшим видовым разнообразием обладают отряды Coleoptera (59 видов, 38,1%), Sternorrhyncha (33 вида, 21,3%), Lepidoptera (28 видов, 18,1%) и Hemiptera (25 видов, 16,1%). Наибольшее видовое разнообразие насекомых-вредителей характерно для зеленых насаждений, произрастающих на периферических уличных магистралях и зонах частного сектора, что связано с более широким видовым составом кормовых растений. В условиях высокой антропогенной нагрузки преобладают вредители, ведущие скрытый образ жизни (минеры и галлообразователи) и вредители с колюще-сосущим типом ротового аппарата.

Ключевые слова: насекомые-вредители, городские зеленые насаждения, энтомофауна города.

Для цитирования: Каплич В. М., Власенко А. Д. Эколого-фаунистическая оценка насекомых-вредителей городских зеленых насаждений северного и северо-центрального районов интродукции Беларуси // Труды БГТУ. Сер.1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. №1 (240). С. 79–87.

V. M. Kaplich, A. D. Vlasenko

Belarusian State Technological University

ECOLOGICAL AND FAUNISTIC ASSESSMENT OF INSECTS-PESTS OF URBAN GREEN STANDS OF THE NORTHERN AND NORTHERN-CENTRAL REGIONS OF INTRODUCTION OF BELARUS

Urban green spaces have a significant impact on the microclimate of cities and their sanitary and hygienic conditions. Constant monitoring of pests and forecast of population dynamics are required for effective plant protection, which is possible only knowing the species composition of the insects-pests, ecological and biological characteristics of pest species development.

In the course of a long-term survey (2007–2020) of urban green spaces in the northern and north-central regions of the introduction of Belarus, 155 species of insect pests belonging to 7 orders (Sternorrhyncha, Dermaptera, Hemiptera, Coleoptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Diptera) and 43 families were identified. The orders Coleoptera (59 species, 38.1%), Sternorrhyncha (33 species, 21.3%), Lepidoptera (28 species, 18.1%) and Hemiptera (25 species, 16.1%) prevail in all types of urban green stands: central and peripheral street highways, private sector zones and forest park zones. The greatest species diversity of insect pests is typical for green stands of the peripheral street highways and areas of the private sector, which is associated with a wider species composition of forage plants. Herewith, pests with a latent way of life (miners and gall producers) and pests with a piercing-sucking mouthparts prevail in conditions of high anthropogenic pollution load.

Key words: insects-pests, urban green stands, entomofauna of the city.

For citation: Kaplich V. M., Vlasenko A. D. Ecological and faunistic assessment of insects-pests of urban green stands of the northern and northern-central regions of introduction of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 79–87 (In Russian).

Введение. В настоящее время активно ведется озеленение городов. Зеленые насаждения способствуют улучшению микроклимата и санитарно-гигиенических условий города: растения увеличивают влажность воздуха, ионизируют и насыщают воздух кислородом, снижают скорость ветра, уменьшают концентрацию дыма и вредных газов, снижают запыленность воздуха. В результате воздействия различных неблагоприятных факторов [1] происходит физиологическое ослабление деревьев, сопровождающееся изменением химического состава растений, благоприятного для роста и развития насекомых-вредителей. Так, исследования Радкевича В. А. и Роменко Т. М. [2] на примере кольчатого шелкопряда показали уменьшение срока развития вредителей, увеличение интенсивности их роста, выживаемости и плодовитости на физиологически ослабленных растениях.

В ряде исследований [3, 4] показано наиболее выраженное ослабление городских зеленых насаждений в центральных частях городов, по сравнению с растениями, произрастающими на окраине города или в населенных пунктах с меньшим уровнем антропогенной нагрузки.

В целом городские зеленые насаждения отличаются низкой долговечностью, а на возобновление погибших растений расходуются значительные средства. Для эффективной защиты растений необходим постоянный мониторинг вредителей, а также прогноз динамики численности популяций, что возможно только на основе знаний видового состава вредителей и их эколого-биологических особенностей развития.

Основная часть. Многолетние эколого-фаунистические исследования насекомых-вредителей городских зеленых насаждений проводились по общепринятым в энтомологии методикам [5, 6] на протяжении вегетативных сезонов 2007–2020 гг. [7, 8] на территории северного и северо-центрального районов интродукции Беларуси. В состав территории северного района входят Мядельский район Минской области и все районы Витебской области; северо-центральный район располагается в северо-центральной части Беларуси, включая водораздельную Минскую возвышенность и Оршанско-Могилевское плато [9]. Изучение насекомых-вредителей проведено в условиях урбанизированного ландшафта с различным типом озеленения и уровнем антропогенной нагрузки методом

пробных площадей и маршрутным методом: 30 пробных площадей (в том числе в Минске – 14, Витебске – 10, Новополоцке – 3, Заславле – 3) заложены в городах и районах города с разной интенсивностью движения транспорта, наличием промышленных и заводских построек, что свидетельствует о различном загрязнении воздуха, почвы и растений.

Обследованы зеленые насаждения центральных и периферических уличных магистралей, лесопарковых зон и частного сектора. За время многолетних исследований собрано колоссальное количество экземпляров насекомых-вредителей на различных стадиях развития, а также гербарного материала. Идентификация вредителей осуществлена с использованием классических определителей и коллекционного фонда кафедры лесозащиты и древесиноведения УО «Белорусский государственный технологический университет».

Определение вредителей производилось на кафедре зоологии БГУ (под руководством проф. Буги С. В., канд. биол. наук Жорова Д. Г. (тли), канд. биол. наук Бородина О. И. (цикадовые), канд. биол. наук Мелешко Ж. И. (долгоносики)), в биологическом музее Витебского государственного университета (под руководством Пискунова В. И.), в зоологическом музее БГУ (под руководством Писаненко А. Д.), в ГПУ «Березинский биосферный заповедник» (под руководством Лукашука А. О.), на кафедре лесозащиты и древесиноведения БГТУ (под руководством канд. биол. наук Блинова А. И.).

Использована новая система классификации насекомых INSECTA s. str., являющаяся продуктом коллективного творчества специалистов лаборатории систематики насекомых Зоологического института РАН. В предлагаемой классификации, окончательно оформленной Кривоухатским В. А. и Лобановым А. Л. [10] и генерируемой из базы данных, осуществлена попытка совмещения множества противоречивых разработок от линнеевской классификации до ультрасовременных ревизий. В частности, в данной классификации предложено разделение равнокрылых насекомых (Homoptera) на два отряда Sternorrhyncha и Auchenorrhyncha. Актуальность видовых названий насекомых проверена на сайте Global Biodiversity Information Facility [11].

Опираясь на результаты многолетних исследований, можно констатировать, что на территории северного и северо-центрального районов интродукции Беларуси обитают насекомые-вредители 155 видов из 7 отрядов (Sternorrhyncha, Dermaptera, Hemiptera, Co-leoptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Diptera) и 43 семейств, представленных в таблице ниже.

Насекомые-вредители наносят растениям различные типы повреждений, например образо-

вание разных по величине, размерам и форме галлов; минирование листовой пластины; объедание, фигурное вырезание и скелетирование листовой пластины и др. Тли, питаясь соками растения, выделяют на поверхность листа липкую сладкую падь, которая нарушает ассимиляционные процессы внутри листа и является питательным субстратом для развития патогенных микроорганизмов, вызывающих более серьезные повреждения.

Таксономический состав насекомых-вредителей городских зеленых насаждений в условиях северного и северо-центрального районов интродукции Беларуси

Отряд	Семейство	Вид	
Sternorrhyncha (Homoptera)	Aphididae	<i>Anoecia corni</i> F.	
		<i>Aphis fabae</i> Scopoli	
		<i>Aphis crassivora</i> Koch	
		<i>Brachycaudus divaricatae</i> Shap.	
		<i>Calaphis betulicola</i> Kaltenbach	
		<i>Calaphis flava</i> Mordvilko	
		<i>Chaitophorus leucomelas</i> Koch	
		<i>Eucallipterus tiliae</i> Linnaeus	
		<i>Hyalopterus pruni</i> Geoffr.	
		<i>Macrosiphum rosa</i> Linnaeus	
		<i>Euceraphis punctipennis</i> Zett. (*)	
		<i>Betulaphis quadrituberculata</i> Kalt. (*)	
		<i>Chaitophorus leucomelas</i> Koch. (*)	
	Drepanosiphidae	<i>Drepanosiphum platanoides</i> Schrank	
	Eriosomatidae	<i>Periphyllus aceris</i> Linnaeus	
		<i>Periphyllus lyropictus</i> Kessler	
		<i>Periphyllus</i> sp.	
		<i>Periphyllus testudinaceus</i> Fernie	
		<i>Pemphigus spyrothecae</i> Passerini	
	Lachnidae	<i>Lachnus</i> sp.	
	Psyllidae	<i>Cacopsylla mali</i> Schmidberger	
		<i>Cacopsylla hippophaes</i> Foerster	
		<i>Cacopsylla sorbi</i> Linnaeus	
		<i>Cacopsylla ulmi</i> Foerster	
		<i>Psylla alni</i> Linnaeus	
	Cicadellidae	<i>Alnetoidia alneti</i> Dheb. (*)	
		<i>Alebra albostriella</i> Fall	
		<i>Alebra wahlbergi</i> Boh.	
		<i>Fagocyba douglasi</i> Linnaeus (*)	
		<i>Eurhadina concinna</i> Germ. (*)	
		<i>Typhlocyba quercus</i> F. (*)	
		<i>Zygina flammigera</i> Geoffr.	
	Aphalaridae	<i>Rhinocola aceris</i> Linnaeus (*)	
	Dermaptera	Forficulidae	<i>Forficula auricularia</i> Linnaeus

Продолжение таблицы

Отряд	Семейство	Вид
Heteroptera	Acanthosomatidae	<i>Elasmucha grisea</i> Linnaeus
		<i>Elasmucha putoni</i> Scott
		<i>Acanthosoma haemorrhoidale</i> Linnaeus
		<i>Elasmostethum</i> sp.
		<i>Elasmostethus interstinctus</i> Linnaeus (*)
	Coreidae	<i>Coreus marginatus</i> Linnaeus
	Miridae	<i>Capsodes gothicus</i> Linnaeus
		<i>Globiceps flavomaculatus</i> Fabricius
		<i>Orthocephalus bivittatus</i> Fieber
		<i>Leptopterna dolabrata</i> Linnaeus
		<i>Phytocoris longipennis</i> Fl. (*)
		<i>Malococoris chlorizans</i> Pz. (*)
		<i>Lygocoris viridis</i> Fall. (*)
		<i>Phytocoris tiliae</i> F.
		<i>Adelphocoris quadripunctatus</i> F. (*)
		<i>Orthops basalis</i> Costa. (*)
		<i>Orthotylus nassatus</i> F. (*)
	Pentatomidae	<i>Dolycoris baccarum</i> Linnaeus
		<i>Holcostethus vernalis</i> Wolff
		<i>Graphosoma lineatum</i> Fabricius
		<i>Palomena viridissima</i> Poda. (*)
<i>Pentatoma rufipes</i> Linnaeus (*)		
Pyrrhocoridae	<i>Pyrrhocoris apterus</i> Linnaeus	
Drepanosiphidae	<i>Drepanosiphum platanoidis</i> Schrank.	
Ligacidae	<i>Kleidocerys resedae</i> Pz. (*)	
Coleoptera	Buprestidae	<i>Trachys minutus</i> Linnaeus
	Chrysomelidae	<i>Clytra quadripunctata</i> Linnaeus (*)
		<i>Galerucella lineola</i> F. (*)
		<i>Asiolestia ferruginea</i> Scop. (*)
		<i>Phyllotreta undulate</i> Kutsch. (*)
		<i>Agelastica alni</i> Linnaeus
		<i>Chrysomela oleracea</i> Linnaeus
		<i>Crepidodera aurata</i> Marsham
		<i>Chrysolina fastuosa</i> Scopoli
		<i>Gastrophysa viridula</i> De Geer
		<i>Gonioctena linnaeana</i> Schrank
		<i>Liliocercis lilii</i> Scopoli
		<i>Plagiosterna aenea</i> Linnaeus
		<i>Chrysomela tremula</i> Fabricius
		<i>Chrysomela saliceti</i> Weise
		<i>Chrysomela populi</i> Linnaeus
		<i>Phratora vitellinae</i> Linnaeus
		<i>Phratora vulgatissima</i> Linnaeus
		<i>Plagiodera versicolora</i> Laicharting

Продолжение таблицы

Отряд	Семейство	Вид	
Coleoptera		<i>Crioceris subspinosa</i> Fabricius	
	Melolonthidae	<i>Serica brunnea</i> Linnaeus	
		<i>Amphimallon solstitiale</i> Linnaeus	
		<i>Melolontha hippocastani</i> Fabricius	
		<i>Oxythyrea funesta</i> Poda	
	Rutelidae	<i>Phyllopertha horticola</i> Linnaeus	
	Cetoniidae	<i>Trichius fasciatus</i> Linnaeus	
		<i>Cetonia aurata</i> Linnaeus	
	Curculionidae	<i>Ceutorhynchus assimilis</i> Payk. (*)	
		<i>Sitona</i> sp.	
		<i>Ceutorhynchus</i> sp.	
		<i>Curculio radiolus</i> Marsham (*)	
		<i>Liophloeus tessulatus</i> O.F.Muller	
		<i>Lixus iridis</i> Olivier	
		<i>Otiorhynchus ovatus</i> Linnaeus	
		<i>Phyllobius maculicornis</i> Germar	
		<i>Phyllobius glaucus</i> Scopoli	
		<i>Phyllobius arborator</i> Herbst	
		<i>Phyllobius argentatus</i> Linnaeus	
		<i>Phyllobius oblongus</i> Linnaeus	
		<i>Phyllobius pomaceus</i> Gyllenhal	
		<i>Phyllobius pyri</i> Schoenherr	
		<i>Phyllobius</i> sp.	
		<i>Polydrusus pilosus</i> Gredler	
		<i>Polydrusus tereticollis</i> De Geer	
		<i>Sciaphilus asperatus</i> Bonsdorff	
		Atellabidae	<i>Byctiscus populi</i> Linnaeus
			<i>Byctiscus betulae</i> Linnaeus
	<i>Deporaus betulae</i> Linnaeus (*)		
	Apionidae	<i>Protapion fulvipes</i> Geoff. (*)	
		<i>Protapion nigrirtarse</i> Kirby (*)	
		<i>Apion</i> sp.	
	Cerambycidae	<i>Agapanthia dahlia</i> Richter	
		<i>Agapanthia villosoviridescens</i> Degeer	
		<i>Pseudovadonia livida</i> Fabricius	
		<i>Strangalia attenuata</i> Linnaeus	
		<i>Monochamus galloprovincialis</i> Olivier	
	Elateridae	<i>Agrypnus murinus</i> Linnaeus	
		<i>Ectinus aterrimus</i> Linnaeus	
	Tenebrionidae	<i>Pseudocistela ceramboides</i> Linnaeus	
	Hymenoptera	Thethredinidae	<i>Caliroa annulipes</i> Klug
			<i>Caliroa cinxi</i> Klug
			<i>Pristiphora ruficornis</i> Ol. (*)
<i>Parna tenella</i> Klug. (*)			
<i>Heterarthrus aceris</i> Kaltenbach (*)			

Окончание таблицы

Отряд	Семейство	Вид	
Hymenoptera	Thethredinidae	<i>Scolioneura betuleti</i> Klug (*)	
		<i>Tenthredo fagi</i> Panzer	
		<i>Tomostethus nigrinus</i> Fabricius	
Lepidoptera	Argyresthidae	<i>Argyresthia goedarthella</i> Olsson. (*)	
	Sphingidae	<i>Mimas tiliae</i> Linnaeus (*)	
	Lymanthriidae	<i>Calliteara pudibunda</i> Linnaeus (*)	
	Notodontidae	<i>Ptilodon cucullina</i> Denis & Schiffermuller (*)	
	Geometridae	<i>Camptogramma bilineata</i> Linnaeus	
		<i>Epirrhoe alternata</i> Muller (*)	
		<i>Biston betularia</i> Linnaeus	
		<i>Erannis defoliaria</i> Clerck	
	Noctuidae	<i>Apatele aceris</i> Linnaeus (*)	
	Bucculatricidae	<i>Bucculatrix thoracella</i> Thunberg (*)	
	Gracillariidae	<i>Cameraria ohridella</i> Deschka Dimic	
		<i>Phyllonorycter issikii</i> Kumata	
		<i>Phyllonorycter populifoliella</i> Treitschke	
		<i>Phyllocnistis unipunctella</i> Stephens	
	Nepticulidae	<i>Stigmella tiliae</i> Frey (*)	
		<i>Stigmella aceris</i> Frey (*)	
		<i>Stigmella betulicola</i> Stainton (*)	
	Tortricidae	<i>Acleris forsskaleana</i> Linnaeus (*)	
		<i>Hedya salicella</i> Linnaeus	
		<i>Tortrix viridana</i> Linnaeus	
	Eriocraniidae	<i>Eriocrania spermanella</i> Bosc. (*)	
	Adelidae	<i>Nemophora degeerella</i> Linnaeus	
	Erebidae	<i>Eilema depressa</i> Esper	
		<i>Atolmis rubricollis</i> Linnaeus	
		<i>Orgyia antiqua</i> Linnaeus	
	Oecophoridae	<i>Bisigna procerella</i> Denis & Schiffermuller	
	Yponomeutidae	<i>Yponomeuta evonymella</i> Linnaeus	
		<i>Yponomeuta malinellus</i> Zeller	
	Diptera	Agromyzidae	<i>Agromyza alnibetulae</i> Hendel (*)

* Обозначены виды вредителей, обнаруженные другими авторами [7, 8] на территории северного и северо-центрального районов интродукции Беларуси.

На рис. 1 приводится распределение видов насекомых-фитофагов по отрядам. В целом во всех типах городских зеленых насаждений наибольшим видовым разнообразием представлены отряды Coleoptera (59 видов, 38,1%), Sternorrhyncha (33 вида, 21,3%), Lepidoptera (28 видов, 18,1%) и Hemiptera (25 видов, 16,1%).

Насекомые-вредители отряда Coleoptera, принадлежащие к семейству Chrysomelidae, в частности *Ag. alni* и *Ch. tremula*, наносят наибольший вред ольхе и осине во всех типах городских зеленых насаждений: за вегетативный сезон

личинки и имаго объедают и скелетируют до 50% листьев данных деревьев.

Отряд Sternorrhyncha является самым многочисленным по количеству особей вредителей, обнаруженных на исследуемой территории и составляющих 15% от общего числа собранных образцов. Во всех исследуемых типах городских зеленых насаждений зарегистрировано преобладание представителей рода *Periphyllus* van der Hoeven, на долю которых приходится 12% от видового состава отряда Sternorrhyncha.

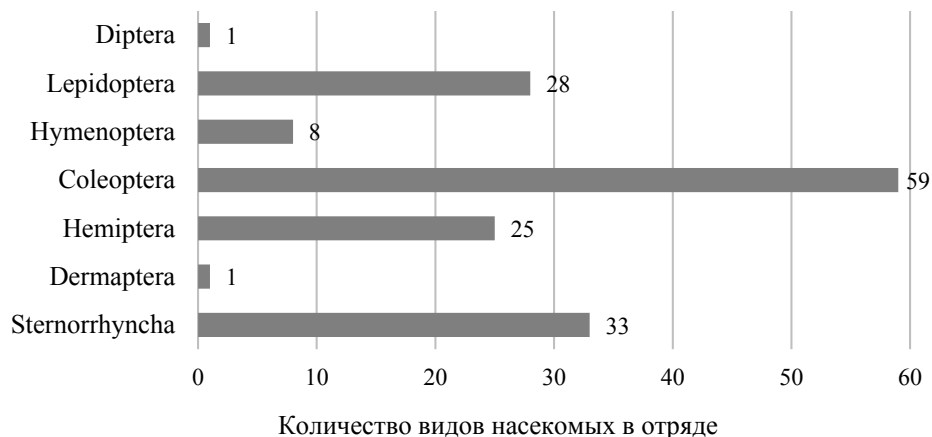


Рис. 1. Видовое разнообразие (%) насекомых-вредителей на территории северного и северо-центрального районов интродукции Беларуси

В результате обследований обнаружено 3 инвазивных вида для Беларуси: алычево-дремовая тля (*B. divaricatae* Shaposhnikov; Aphididae), большая яворовая тля (*Dr. platanoides* Schrank; Drepanosiphidae) и поздний спиральногалловый пемфиг (*P. spyrothecae* Passerini; Eriosomatidae).

Широко распространены в сборах вредители-минеры из отряда Lepidoptera, среди которых наибольший вред наносят каштановая минирующая моль *C. ohridella* и липовая минирующая моль-пестрянка *P. issikii*.

В сборах северной части Витебской области, в частности в Новополоцке и Витебске, часто встречаются гусеницы и имаго вида *Y. padella*. Гусеницы 1-го возраста минируют листья и стебли кормового растения, нанося при этом значительные повреждения насаждениям, затем питаются открыто, образуя паутинные гнезда на ветках.

В Минске серьезные повреждения наносит тополевая нижнесторонняя моль-пестрянка *Ph. Populifoliella*. Гусеница, развивающаяся внутри листовой пластины защищена от воздействия неблагоприятной среды [4], однако тополи, подвергающиеся высокому антропогенному воздействию, преждевременно сбрасывают листья, в результате чего гусеницы погибают. На листовой пластине зарегистрировано от 2 до 4 мин, которые, сливаясь, покрывают всю листовую пластину, в результате листья выглядят белыми. Мины могут покрывать до 90% листьев дерева, нарушая процессы фотосинтеза и дыхания, приводя к еще более преждевременному сбрасыванию листьев, чем под воздействием антропогенных факторов.

Самыми малочисленными по видовому составу являются представители отрядов Dermaptera и Diptera, включающие по одному виду: *F. auricularia* (сем. Forficulidae) и *A. alnibetulae* (сем. Agromyzidae). *F. auricularia* в годы массового развития может наносить значительный

ущерб городским насаждениям, повреждая листовые пластины и питаясь плодами и семенами растений. *A. alnibetulae* также является массовым вредителем, минирующим листовые пластины березы на всех обследованных пробных площадях.

Обследования различных типов городских насаждений показало, что распределение насекомых-вредителей по территории города, представленное на рис. 2, является неравномерным и взаимосвязано с величиной антропогенной нагрузки.



Рис. 2. Видовое распределение насекомых-вредителей (%) в различных типах городских зеленых насаждений на территории северного и северо-центрального районов интродукции Беларуси

Наибольшее видовое разнообразие вредителей характерно для зеленых насаждений на периферических уличных магистралях (примерно 40,4% вредителей от общего количества экземпляров) и в частном секторе (25,7%), что может быть связано с более широким видовым составом зеленых насаждений.

Наименьшее видовое разнообразие зарегистрировано в зеленых насаждениях центральных уличных магистралей (21,4%) и лесопарковых зонах (12,5%), что, вероятнее всего, связано с менее широким видовым составом насаждений, контролем численности вредителей в парковых зонах, а также высокой антропогенной нагрузкой в центральной части города.

Заключение. В ходе многолетнего обследования городских зеленых насаждений северного и северо-центрального районов интродукции Беларуси выявлено 155 видов насекомых-вредителей из 7 отрядов (*Sternorrhyncha*, *Dermaptera*, *Hemiptera*, *Coleoptera*, *Hymenoptera*, *Lepidoptera*, *Diptera*) и 43 семейств.

Во всех типах городских зеленых насаждений наибольшим видовым разнообразием представлены отряды *Coleoptera* (59 видов, 38,1%), *Sternorrhyncha* (33 вида, 21,3%), *Lepidoptera* (28 видов, 18,1%) и *Hemiptera* (25 видов, 16,1%). Наибольшее видовое разнообразие насекомых-вредителей зарегистрировано в зеленых насаждениях, произрастающих на периферических уличных магистралях и зонах частного сектора, что связано с более широким видовым составом кормовых растений. При этом в условиях высокой антропогенной нагрузки преобладают вредители, ведущие скрытый образ жизни, такие, например, как минеры (различные виды молей-пестрянок), галлообразователи и вредители с колюще-сосущим типом ротового аппарата, трофически не связанные с загрязненной поверхностью листовой пластины (тля).

Эколого-фаунистические исследования насекомых-вредителей городских зеленых насаждений послужат основой для разработки мероприятий по своевременной и эффективной защите городских зеленых насаждений.

Список литературы

1. Мозолевская Е. Г. Концепция мониторинга состояния зеленых насаждений и городских лесов Москвы // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. 1998. № 2. С. 5–13.
2. Воронцов А. И. Патология леса. М.: Лесная пром-сть, 1978. 271 с.
3. Радкевич В. А., Роменко Т. М. Выживаемость и плодовитость дубового, кольчатого и непарного шелкопряда на различных по физиологическому состоянию кормовых растениях // Животный мир Белорусского Поозерья. 1972. Вып. 2. С. 59–76.
4. Чумаков Л. С., Лозинская О. В. Экологическая оценка поражения насаждений тополя тополевой минирующей молью (*Lithocolletis populifoliella* Tr.) в городе Минске // Экологический вестник. 2015. № 1. С. 94–101.
5. Голуб В. Б., Цуриков М. Н., Прокин А. А. Коллекции насекомых: сбор, обработка и хранение материала. М.: КМК, 2012. 339 с.
6. Schauff M. E. Collecting and preserving insects and mites: Techniques and tools. Washington: National Museum of Natural History, 2005. 68 p.
7. Прокопович Т. В., Каплич В. М. Вредители-филлофаги в различных типах городских зеленых насаждений // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2009. Вып. XVII. С. 296–300.
8. Прокопович Т. В. О видовом составе вредителей городских зеленых насаждений // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2008. Вып. XVI. С. 388–391.
9. Тупик П. В. Интродукция древесных видов. Минск: БГТУ, 2014. 70 с.
10. Новая система классификации насекомых (INSECTA s. str.) [Электронный ресурс] // Информационная система ZInsecta – Зоологический институт РАН. 2002. URL: <https://www.zin.ru/projects/zinsecta/Index.html> (дата обращения: 20.10.2020).
11. Global Biodiversity Information Facility [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gbif.org/ru> (дата обращения: 20.10.2020).

References

1. Mozolevskaya E. G. The concept of monitoring the state of green spaces and urban forests in Moscow. *Vestnik MGUL. Lesnoy vestnik* [Bulletin of the Moscow State Forest University. Forestry Bulletin], 1998, no. 2, pp. 5–13 (In Russian).
2. Voroncov A. I. *Patologiya lesa* [Forest pathology]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 271 p.
3. Radkevich V. A., Romenko T. M. Survival and fertility of oak, ringed and gypsy moths on fodder plants of different physiological state. *Zhivotnyy mir Belorusskogo Poozer'ya* [Fauna of the Belarusian lakes], 1972, issue 2, pp. 59–76 (In Russian).

4. Chumakov L. S., Lozinskaya O. V. Environmental assessment of poplar plantation damage by poplar miner (*Lithocolletis populifoliella* Tr.) in Minsk. *Ekologicheskiy vestnik* [Ecological bulletin], 2015, no. 1, pp. 94–101 (In Russian).
5. Golub V. B., Tsurikov M. N., Prokin A. A. *Kolleksii nasekomykh: sbor, obrabotka i khraneniye materiala* [Insect collections: collection, processing and storage of material]. Moscow, KMK Publ., 2012, 339 p.
6. Schauff M. E. Collecting and preserving insects and mites: Techniques and tools. Washington, National Museum of Natural History, 2005. 68 p.
7. Prokopovich T. V., Kaplich V. M. Phyllophagous pests in various types of urban green spaces. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry, 2009, issue 17, pp. 296–300 (In Russian).
8. Prokopovich T. V. On the species composition of pests of urban green spaces. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry, 2008, issue 16, pp. 388–391 (In Russian).
9. Tupik P. V. *Introduktsiya drevesnykh vidov* [Introduction of tree species]. Minsk, BSTU Publ., 2014. 70 p.
10. *Novaya sistema klassifikatsii nasekomykh (INSECTA s. str.)* [New insect classification system (INSECTA s. str.)]. 2002. Available at: <https://www.zin.ru/projects/zinsecta/Index.html> (accessed 20.10.2020).
11. Global Biodiversity Information Facility [Electronic resource]. Available at: <https://www.gbif.org/ru> (accessed 20.10.2020).

Информация об авторах

Каплич Валерий Михайлович – доктор биологических наук, профессор кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kaplichvm@mail.ru

Власенко Анна Дмитриевна – аспирант. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: krylovaad123@gmail.com

Information about the authors

Kaplich Valeriy Mikhaylovich – PhD (Biology), professor of the Department of Tourism, Nature Management and Game Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kaplichvm@mail.ru

Vlasenko Anna Dmitrievna – PhD Student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: krylovaad123@gmail.com

Поступила 03.12.2020

ТУРИЗМ И ЛЕСОХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 338.482

Д. А. Бессараб

Белорусский государственный технологический университет

К ВОПРОСУ О РАЗВИТИИ КЕМПИНГОВ И КАРАВАНИНГА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В статье приводятся взгляды автора на принципы развития сети кемпингов на территории Республики Беларусь с целью оживления внутреннего туризма и увеличения потока международных прибытий. Дается оценка территориального размещения функционирующих кемпингов. Производится анализ опыта стран, являющихся лидерами в этом виде туризма. Так, в основе принятия решения об оборудовании кемпинга лежат основополагающие принципы: назначение средства размещения и вид организации, берущейся за его строительство. По назначению средств размещения они подразделяются на две большие группы, решающие принципиально различные задачи. Этот фактор в большей степени определяет месторасположение и степень «оборудованности», т. е. «звездность» кемпинга.

Кроме того, производится попытка оценить основные подходы к разработке европейского стандарта качества для кемпингов, по версии Европейской экономической палаты торговли, коммерции и промышленности (EEIG). Анализ европейского опыта позволил обосновать наиболее часто встречающийся выбор приоритетных мест для оборудования кемпинга и их первоочередное назначение.

Было выяснено, что одним из самых востребованных видов являются кемпинги, организованные на побережьях водоемов различного генезиса. Оценка имеющегося фактического материала позволила сделать однозначный вывод: они представлены различными типами и видами организации хозяйства: от самых бюджетных до пятизвездочных кемпингов. По специализации на приеме гостей кемпинги можно достаточно условно разделить на представляющие возможности семейного и молодежного отдыха.

Таким образом, изучение опыта размещения и специализации кемпингов в странах Европы, помогло разработать некоторые рекомендации, позволяющие транспонировать накопленный в этой области опыт на территорию Республики Беларусь.

Ключевые слова: туризм, развитие туризма в Беларуси, кемпинг, караванинг, классификация кемпингов, стандарт качества кемпинга, антропогенно-рекреационное использование территорий, мотивация туристов.

Для цитирования: Бессараб Д. А. К вопросу о развитии кемпингов и караванинга на территории Республики Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 88–93.

D. A. Bessarab

Belarusian State Technological University

ON THE DEVELOPMENT OF CAMPING AND CARAVANNING ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS

The article presents the author's views on the principles of developing a network of campsites on the territory of the Republic of Belarus in order to revive domestic tourism and increase the flow of international arrivals. The assessment of the territorial location of functioning campsites is given. The experience of countries that are leaders in this type of tourism is evaluated. Thus, the decision on the equipment of a campsite is based on fundamental principles: the purpose of the accommodation facility and the type of organization that undertakes its construction. According to the purpose of placement facilities, they are divided into two large groups that solve fundamentally different tasks. Increasingly this factor determines the location and degree of "equipment", i.e. "star rating" camping.

In addition, an attempt is made to evaluate the main approaches to the development of the European quality standard for camping, according to the European Economic Chamber of Trade, Commerce and Industry (EEIG). The analysis of European experience allowed us to justify the most common choice of priority places for camping equipment and their first purpose.

It was found that one of the most popular types of camping are organized on the coasts of reservoirs of various Genesis. An assessment of the available actual material allowed us to make a clear conclusion: they are represented by a variety of types of organization of the economy from the most budget-friendly to five-star campsites. According to the specialization at the reception of guests, campsites can be quite conditionally divided into opportunities for family and youth recreation.

Thus, the study of the experience of placing and specialization of campsites in European countries made it possible to make an attempt to develop some recommendations that allow transferring the accumulated experience in this area to the territory of the Republic of Belarus.

Key words: tourism, development of tourism in Belarus, camping, caravanning, classification of campsites, camping quality standard, anthropogenic and recreational use of territories, motivation of tourists.

For citation: Bessarab D. A. On the development of camping and caravanning on the territory of the Republic of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 88–93 (In Russian).

Введение. В государственной программе «Беларусь гостеприимная» на 2016–2020 гг. [1] отмечено, что в нашей стране начата работа по развитию сети кемпингов и стоянок для кемперов. Таким образом, в ближайшее время планируется достаточно интенсивно развивать сеть кемпингов с целью оживления внутреннего туризма и увеличения потока международных прибытий.

Согласно информации, размещенной в сети Internet [2], в настоящее время действующих и активно позиционирующих себя насчитывается 15 кемпингов. Треть из них находится на территории Брестской области, концентрируясь либо близ границы с Польшей (80%), либо на трассе М1/Е30 Брест – Минск – граница Российской Федерации. Характерно, что большинство кемпингов находится на берегах водных объектов в сравнительно экологически чистых местах.

Основная часть. На территории Минской области размещено 6 кемпингов (40%), из них четыре (66%) расположены у крупных транспортных артерий: два на трассе Р28 Минск – Молодечно – Нарочь, и по одному – на трассах М1/Е30 и М6/Е28 Минск – Гродно. Примечательным является то, что все эти автостоянки концентрируются преимущественно в 20–40-километровой доступности от Минска. Два других приурочены к крупным водным объектам – Вилейскому водохранилищу и оз. Селява. Кроме того, следует констатировать, что и они находятся максимум в 30-минутной автодоезжаемости от трасс Р28 и М1/Е30.

Два объекта, находящиеся на территории Гродненской области, разместились непосредственно в населенных пунктах – г. п. Мир и г. Мосты, хотя и ориентируются на водные

объекты. Еще один кемпинг находится в Витебской области на территории национального парка «Браславские озера» на берегу оз. Струсто (третье по площади в системе озер) и последний – в Могилевской области, в 30 км от трассы М8/Е95 граница Российской Федерации – Витебск – Гомель – граница Украины (поворот на г. Быхов) на берегу Чигиринского водохранилища.

Следует отметить, что практически все кемпинги расположены в пределах пешей доступности до водоема, а согласно информации, помещенной на их сайтах, у всех имеется стандартный инфраструктурный набор: водоснабжение, канализация, душ, электричество (у отдельных предусмотрены отводы к домам на колесах) и иные удобства. Таким образом, некое начало в развитии сети мест размещения этого направления в Беларуси положено.

Для того чтобы попытаться сформулировать общие принципы организации кемпингов, есть смысл обратиться к опыту стран, являющихся лидерами в этом виде туризма. Так, воспользовавшись имеющимися данными [3] и дополнив их отдельными демографическими и туристическими показателями, была произведена попытка получить статистическую информацию, позволяющую определить европейские страны-лидеры в организации кемпингов и развитии караванинга.

В результате по общему количеству средств размещения данного типа явно лидируют четыре страны: Франция (2773 кемпинга), Германия (1126), Нидерланды (1101) и Италия (862). Во второй европейский эшелон входят 15 стран, на территории которых расположены от 100 до 600 кемпингов, а далее следуют аутсайдеры (до 100), среди которых находится и Беларусь.

Имеющиеся статистические данные [4] позволяют утверждать, что не прослеживается прямой корреляционной зависимости между количеством международных прибытий и числом мест размещения данной категории, что помогает сделать вывод: кемпинг является возможностью развития преимущественно внутреннего туризма, на международном уровне его роль сравнительно мала.

Если обратиться к опыту ведущих стран, развивающих данный вид туризма, то можно отметить четко выраженную дихотомическую типологию кемпингов двух целеполагающих функций. Так, в основе принятия решения об оборудовании кемпинга лежат следующие принципы: назначение средства размещения и вид организации, берущейся за его строительство.

По назначению средств размещения кемпинги подразделяются на две большие группы, решающие принципиально различные задачи. Этот фактор в большей степени определяет месторасположение и степень оборудованности, т. е. «звездность» кемпинга. В развитие этого положения следует заметить, что единого понятия «классификация кемпинга» с точки зрения объема и качества предоставляемых услуг и удобств до настоящего времени не существует. Как правило, каждая страна разрабатывает свою систему звезд, согласно национальным особенностям и «ментальным» взглядам на организацию быта в походных условиях. Хотя никто не отрицает, что предпринимаются попытки унифицировать подходы к решению этого вопроса и выработать общую взаимоприемлемую позицию.

Так, европейский стандарт качества для кемпингов был разработан международными экспертами туризма и специалистами Европейской экономической палаты торговли, коммерции и промышленности (EETG) в Брюсселе с целью не допущения недобросовестной конкуренции, защиты интересов потребителей и улучшения качества в этой конкретной области.

Получила известность и система стандартов звездности кемпингов, разработанная крупнейшей общественной организацией автомобилистов Германии ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club – Всеобщий немецкий автомобильный клуб) [5]. Среди приоритетов этой системы – общий уровень сервиса в кемпингах. Расчет общей оценки проводится по результатам оценки пяти различных сфер обслуживания, которые, в свою очередь, делятся на десять отдельных категорий. Выделяются следующие сферы: санитарно-гигиеническое оборудование, месторасположение, снабжение, отдых и развлечения, отдых на воде. Места, получив-

шие полные пять звезд, носят звание ADAC BestCamping.

Если вернуться к типологии, то стоит отметить, что кемпинги, предназначенные для организации длительного отдыха в «высокий» период, как правило, предлагают наиболее высокий уровень сервиса, размещаются в относительно нетронутых местах, зачастую в пределах особо охраняемых природных территорий (ООПТ), и имеют достаточно ярко выраженную привязку к водным объектам.

Требования к мобильным средствам размещения второго типа могут быть более скромны, но, безусловно, предполагается обязательное наличие возможности подключения к системам коммуникации (электроэнергия, водоснабжение, канализация и пр.). Зачастую эти кемпинги ориентируются на крупные туристические и экономические центры, оживленные транспортные магистрали, т. е. располагаются в урбанизированной зоне повышенного туристического спроса, тогда их классность может возрастать.

Если кемпинг предназначен в первую очередь для активного коммерческого использования, то, как правило, он имеет крупные размеры и территориально приурочен в большинстве случаев к зонам повышенного туристического спроса:

- крупным городским туристическим центром (например, кемпинги на территории или в пределах 10–20-минутной досягаемости от таких городов, как Венеция, Флоренция, Варшава и пр.);
- местам активного развития пляжно-купального туризма (Лазурный берег, испанские и итальянские Ривьеры, оз. Балатон и пр.);
- местам развития событийного туризма, фольклорных и национальных фестивалей;
- местам регулярного проведения крупных спортивных соревнований;
- местам организации крупных музыкальных фестивалей и др.

Кроме выбора места организации кемпинга, они могут отличаться значительными размерами и достаточно молодым контингентом постояльцев, предпочитающих вести активный стиль жизни и ориентирующихся на развлекательные программы, как правило, в вечернее время суток.

В данном случае почти всегда территория кемпинга имеет дополнительное оборудование с учетом возможности покупки продовольственных и непродовольственных товаров, кроме того, приветствуется размещение пунктов общественного питания (закусочные, бары, рестораны и др.). Еще одной существенной деталью является наличие на территории кемпинга

данного типа спортивных сооружений, проката спортивного инвентаря и возможности оказания услуг для развлечения и отдыха в плохую погоду.

Несколько иные требования предъявляются к муниципальным, или «семейным», кемпингам. Как правило, они имеют меньшее количество машиномест, более скромны в размерах территории, зачастую ориентированы на организацию семейного отдыха и отдыха с детьми, предусматривают возможность длительного пребывания. В данном случае территория дополнительно оборудуется детскими площадками, создаются условия для возможности допуска на территорию кемпинга домашних животных. Приветствуется организация питания и возможности сервиса торговли.

Приоритетные места для оборудования кемпинга и их первоочередное назначение можно подразделить на несколько типов.

Первый тип – обеспечивает транзит. Расположены либо вдоль наиболее оживленных магистралей (достаточно редко), либо (чаще) в местах 10–20-минутной доступности до магистралей, зачастую обеспечивается близость его нахождения к городским поселениям, являющимся туристическими центрами. В этом случае у дорожного полотна устанавливается соответствующий туристический знак с указанием расстояния до места отдыха и его оборудования («звездность»). Сам кемпинг располагается тогда в достаточно живописном месте, часто на берегу водоема. В связи с непродолжительным нахождением путешественников в этом месте размещения зачастую возможности и качество сервисных услуг, досуга и быта не являются приоритетными целями постояльцев, поэтому, как правило, характеризуются малой звездностью. Хотя обязательным является наличие канализации, водопровода и электричества.

Второй тип – кемпинг, либо расположенный в черте города, либо лежащий в непосредственной близости от туристического центра. Чаще всего он оборудуется как бюджетное средство размещения туристов, останавливающихся для посещения поселения и знакомства с его достопримечательностями. То есть перед путешественником стоит задача экономии на оплате средств размещения и перераспределении высвободившейся суммы непосредственно на туристические цели. В этом случае время пребывания лица на территории лагеря предельно минимизируется, а значит, бытовые условия должны, прежде всего, обеспечивать комфортную ночевку. В этих условиях на территории кемпинга обеспечивается достаточно скромный набор сопутствующих услуг и удобств.

Если целью прибытия в городское поселение является посещение массовых спортивных и культурно-развлекательных мероприятий, имеющих достаточно продолжительный срок проведения (от 3 до 7 дней, редко более), то будут востребованы кемпинги, представляющие широкий набор сопутствующих услуг, т. е. отличающиеся повышенной «звездностью» и возможностью размещения достаточно большого количества туристов.

Третий тип – кемпинги, размещающиеся на площадях, имеющих статус особо охраняемой природной территории. К ним предъявляются требования обеспечения повышенной экологической безопасности, как правило, они невелики по размерам, немногочисленны и предлагают достаточно широкий спектр услуг, позволяющий организовать практически автономную жизнь. Зачастую характеризуются специфичным контингентом постояльцев: семейные пары с детьми, любители активного отдыха на природе и пр.

И, наконец, один из наиболее востребованных типов – кемпинги, организованные на побережьях водоемов различного генезиса. Оценивая имеющийся фактический материал, можно сделать однозначный вывод: они представлены самыми различными типами и видами организации хозяйства – от самых бюджетных до пятизвездочных. По специализации на приеме гостей, их можно достаточно условно разделить на представляющие возможности семейного и молодежного отдыха.

Заключение. Таким образом, изучив опыт размещения и специализации кемпингов в странах Европы, можно произвести попытку выработки некоторых рекомендаций, позволяющих транспонировать накопленный в этой области опыт на нашу почву. Таким образом, намечается несколько достаточно аргументированных вариантов.

1. Кемпинг в городе (в близлежащих окрестностях города). В первую очередь, имеется в виду г. Минск.

В этом случае территорию кемпинга целесообразно организовывать в пределах 10–15-минутной доступности от столицы. Как альтернативный вариант – использовать появившиеся не так давно огражденные парковочные места в новых микрорайонах Минска, расположенных рядом с МКАД, отведя часть их площадей для размещения, например, домов на колесах. В этом случае резко снижаются затраты на организацию инфраструктуры: как правило, подвод электричества и воды уже либо осуществлен, либо существуют низкие входные барьеры для организации действий в этом направлении.

Оценивая, в каких местах под Минском наиболее предпочтительно организовывать данные средства размещения, можно с высокой долей уверенности констатировать, что это четыре основных направления:

- с западной и восточной стороны трассы М1/Е30 Брест – Минск – граница Российской Федерации (самое загруженное направление движения по Республике Беларусь);

- с западной стороны трассы М6/Е28 Минск – Гродно;

- с западной стороны трассы М6/Е28 Минск – Ошмяны – граница Литовской Республики;

- с северной стороны трассы М8/Е95 граница Российской Федерации – Витебск – Гомель – граница Украины.

2. Кемпинг в близлежащих окрестностях областного города.

3. Транзитный кемпинг. Целесообразна организация средств размещения рядом или вдоль самых загруженных автотрасс Беларуси:

- М1/Е30 Брест – Минск – граница Российской Федерации;

- М6/Е28 Минск – Гродно;

- М7/Е28 Минск – Ошмяны – граница Литовской Республики;

- М8/Е95 граница Российской Федерации – Витебск – Гомель – граница Украины.

Основное внимание следует сосредоточить на первой из них. Наиболее перспективными участками магистрали М1/Е30 следует считать отрезок между Столбцами и Барановичами (развязки на Мир, Несвиж) и часть автострады, находящаяся между Барановичами и Ивацевичами (развязки направлений, ведущих к Беловежской пушце).

4. Кемпинги на территории ООПТ или прилегающим к ним территориям.

Согласно сложившейся специализации, одним из важнейших видов туризма, который исторически развивается на территории нашей страны, является экологический. Соответственно, в «высокий сезон» территории национальных парков Беларуси принимают максимальное количество посетителей. К то-

му же в предновогодний период активизируются туристические потоки в резиденцию Деда Мороза на территории Беловежской пушчи и к Зюзе Поозерскому (д. Озерцы Поставского р-на, национальный парк «Браславские озера»). Некий динамизм посещению Беловежской пушчи потенциально должна придать объездная дорога. Соответственно, территории, прилегающие к национальным паркам, в первую очередь, будут перспективны для размещения кемпингов.

5. Кемпинги, приуроченные к береговой линии водоемов. Скорее всего, в качестве основных «реперов», вокруг которых целесообразно размещать объекты исследуемого назначения, необходимо выбирать, опираясь на размещение наиболее живописных озерных групп Беларуси (Ушачская, Браславская, Нарочанская и др.). Приоритет – Поозерье.

6. Кластерный кемпинг. Выше отмечалось, что в Беларуси планируется размещать кемпинги вблизи известных туристических объектов, находящихся, например, в Полоцке, Несвиже, Мире и др.

Изучив предложения компаний, работающих в этом секторе туристического рынка, можно отметить, что среднестатистическое время пребывания на одном из вышеперечисленных объектов составляет в среднем 3–4 ч, редко более. Исходя из временных затрат, скорее всего, следует располагать средство размещения, ориентируясь не на туристическую привлекательность объекта, а на расстояние желательности одновременной автомобильной доступности от группы объектов, обладающих высокой туристической привлекательностью. Так, удачным с точки зрения востребованности может быть, например, кемпинг, оборудованный в центре кластера, который условно можно назвать Мир – Несвиж – Новогрудок – оз. Свитязь. В качестве других примеров можно привести связку Полоцк – Витебск, «Полесский» кластер в составе Туров – Пинск – Припятский национальный парк и др.

Список литературы

1. Об утверждении государственной программы «Беларусь гостеприимная» на 2016–2020 годы: Постановление Совета Министров Республики Беларусь, 23 марта 2016 г., № 232 // Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2020. URL: <http://www.pravo.by/document/?guid=3871&r0=C21600232> (дата обращения: 07.10.2020).

2. Кемпинг в Беларуси. URL: <https://www.holiday.by/by/dom/camping> (дата обращения: 08.10.2020).

3. Eurocampings. URL: <http://www.acsi-eurocampings.ru> (дата обращения: 08.10.2020).

4. World Tourism Organization. URL: <https://www.unwto.org/search?keys=barometer> (дата обращения: 06.10.2020).

5. Campingplätze in deiner Nähe. URL: <http://campingfuehrer.adac.de/campingfuehrer/suche.php> (дата обращения: 07.10.2020).

References

1. *Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy "Belarus' gostepriimnaya" na 2016–2020 gody: Postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus', 23 marta 2016 g., № 232* [Approval of the state program "Belarus hospitable" for 2016–2020 : Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, March 23, 2016, No. 232]. Available at: <http://www.pravo.by/document/?guid=3871&p0=C21600232> (accessed 07.10.2020).
2. *Kemping v Belarusi* [Camping in Belarus]. Available at: <https://www.holiday.by/by/dom/camping> (accessed 08.10.2020).
3. Eurocampings. Available at: <http://www.acsi-eurocampings.ru> (accessed 08.10.2020).
4. World Tourism Organization. Available at: <https://www.unwto.org/search?keys=barometer> (accessed 06.10.2020).
5. Campingplätze in deine Nähe. Available at: <http://campingfuehrer.adac.de/campingfuehrer/suche.php> (accessed 07.10.2020).

Информация об авторе

Бессараб Дмитрий Александрович – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dibess1@yandex.ru

Information about the author

Bessarab Dmitry Aleksandrovich – PhD (Geographical), Assistant Professor, Associate Professor, the Department of Tourism, Nature Management and Hunting. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dibess1@yandex.ru

Поступила 09.10.2020

УДК 634.74-047.44:577.118

Я. Л. Страх, Е. В. Феськова, О. С. Игнатовец

Белорусский государственный технологический университет

ПОПУЛЯЦИОННЫЕ РАЗЛИЧИЯ МАКРО-, МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ И ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА ЛИПИДОВ СЕМЯН МОРОШКИ ПРИЗЕМИСТОЙ (*RUBUS CHAMAEMORUS L.*)

Элементный состав и его соотношение в структуре растительного сырья является показателем адаптивности и изменчивости растений к условиям окружающей среды. Однако существует видоспецифичность, которая обуславливает необходимость изучения минерального состава для разных видов растений. Морошка приземистая (*Rubus chamaemorus L.*) является редким для Республики Беларусь видом, нуждающимся в защите и охране, однако имеющим в себе большой потенциал. В статье представлены результаты по определению макро- и микроэлементного состава различных частей морошки, сделаны выводы о популяционных различиях в зависимости от соотношения биогенных элементов. Определен жирно-кислотный состав липидов семян плодов, который варьирует в зависимости от популяций и климатических условий произрастания данного вида. Установлено, что доминирующими жирными кислотами в составе триацилглицеридов являются линолевая (ω -6), линоленовая (ω -3) и олеиновая (ω -9). Сделан вывод, что заказник «Лонно» является наиболее оптимальным с точки зрения условий произрастания данного вида.

Ключевые слова: морошка приземистая (*Rubus chamaemorus L.*), жирно-кислотный состав липидов, макроэлементы, микроэлементы, популяция, адаптация, экологическая чистота.

Для цитирования: Страх Я. Л., Феськова Е. В., Игнатовец О. С. Популяционные различия макро-, микроэлементного состава растений и жирнокислотного состава липидов семян морошки приземистой (*Rubus chamaemorus L.*) // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 94–100.

Ya. L. Strakh, A. Feskova, O. S. Ignatovets

Belarusian State Technological University

POPULATION DIFFERENCES IN MACRO-, MICROELEMENTAL COMPOSITION OF PLANTS AND FATTY ACID COMPOSITION OF SEED LIPIDS OF CLOUDBERRY (*RUBUS CHAMAEMORUS L.*)

The elemental composition and its ratio in the composition of plant materials is an indicator of the adaptability and variability of plants to environmental conditions. However, there is species specificity, which necessitates the study of the mineral composition for different plant species. Squat cloudberry (*Rubus chamaemorus L.*) is a rare species for the Republic of Belarus which is wanted for saving and protection, but it has a great potential. The article presents the results of the macro- and microelement composition of various parts of the cloudberry determining, it is drawn conclusions about population differences depending on the ratio of biogenic elements. The fatty acid composition of lipids of fruit seeds was determined, which varies depending on the populations and climatic conditions of growth of this species. It has been established that the dominant fatty acids in the composition of triacylglycerides are linoleic (ω -6), linolenic (ω -3) and oleic (ω -9). It was concluded that the Lonno reserve is the most optimal from the point of view of the growing conditions of this species.

Key words: cloudberry (*Rubus chamaemorus L.*), fatty acid composition of lipids, macroelements, microelements, species specificity, population, adaptation, ecological purity.

For citation: Strakh Ya. L., Feskova A., Ignatovets O. S. Population differences in macro-, microelemental composition of plants and fatty acid composition of seed lipids of cloudberry (*Rubus chamaemorus L.*). *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 94–100 (In Russian).

Введение. Современные темпы роста промышленных мощностей с одновременным ростом численности населения обеспечивают людей всеми необходимыми видами сырья, материалов и продукции. Однако данный факт

вносит не только положительные аспекты в жизнедеятельность каждого индивида и общества в целом, но и негативные, одним из которых является ухудшение экологического состояния окружающей среды.

Под негативное воздействие попадает не только человек как высшая форма жизни, но и растения, которые страдают сами, однако потенциально могут принести вред человеку. Существует проблема экологической чистоты растительного сырья, которая является актуальной в настоящее время.

Растения содержат ряд макро- и микроэлементов, обладающих высоким биологическим потенциалом. Однако состав и соотношение элементов зависит от генетических особенностей вида, фазы развития растения, факторов окружающей среды, почвенных, природно-климатических и ландшафтно-геохимических условий произрастания [1].

Техногенная нагрузка, оказываемая на биогеоценоз, провоцирует аккумуляцию различных элементов, в том числе и нежелательных для определенных видов растений.

В последние годы получены сведения о биогеоценности целого ряда микроэлементов, которые раньше не рассматривались в качестве факторов, необходимых для жизнедеятельности [2]. Следовательно, требует внимания задача определения степени негативного воздействия факторов окружающей среды на популяции охраняемых видов.

Морошка приземистая (*Rubus chamaemorus* L.) является редким реликтовым растением на территории Республики Беларусь, где проходит южная граница ее ареала обитания. Так как таксон включен в Красную книгу Беларуси и относится ко II национальной категории охраны (соответствует статусу EN по Международной системе IUCN), он нуждается во внимании с целью обеспечения сохранности вида на данной территории.

На сегодняшний день актуальным является исследование видоспецифичности элементного и жирнокислотного состава дикорастущего сырья морошки приземистой.

Изучение популяционных различий, установление закономерностей и особенностей вида позволит сформировать рекомендации для осуществления активных способов ее защиты и сохранения.

Основная часть. Цель настоящей работы – количественное определение макро- и микроэлементов морошки приземистой для оценки видоспецифичности, популяционных различий и условий произрастания, а также сравнительный анализ жирнокислотного состава липидов семян плодов морошки приземистой (*Rubus chamaemorus* L.) в зависимости от страны произрастания.

Объектами исследования являлись семена и зола листовых пластинок, черешков, ягод и се-

мян морошки приземистой, полученная согласно ГФ РБ [3].

Макро- и микроэлементный состав образцов золы анализировали с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 (JEOL, Япония).

Результаты определения содержания макро- и микроэлементов в золе частей морошки приземистой (*Rubus chamaemorus* L.) представлены в табл. 1.

Особенности химического состава растений определенной систематической группы проявляются в любых условиях их произрастания. Поэтому аккумулятивный ряд и соотношение элементов идентичен для каждого вида растения независимо от условий его произрастания, однако популяционные различия выявляются в уровне накопления различных элементов [4].

В большинстве обменных процессов в организме минеральные вещества играют значительную роль (водно-солевой, кислотно-щелочной балансы). В то же время, многие ферментные процессы невозможны без их участия.

Из табл. 1 видно, что в листовых пластинках преобладают такие макроэлементы, как $K > Ca > Mg$. Данные результаты демонстрируют видовую специфичность накопления элементов *Rubus chamaemorus* L. [5].

В черешках преобладает K, его содержание больше в 1,5–2 раза, чем в листовых пластинках. Этот факт объясняется тем, что калий – ключевой элемент водно-солевого баланса растения, в котором черешки являются транспортными путями между корневой системой растения и листовой массой, осуществляющий фотосинтез.

Калий задействован в биосинтезе крахмала, жиров, белков и сахарозы, что особенно важно в период плодоношения. При недостатке калия угнетается развитие плодов, бутонов и зачаточных соцветий. Калий защищает от обезвоживания, укрепляет ткани, предупреждает преждевременное увядания цветков, повышает сопротивляемость культур к различного рода патогенам.

Микроэлементы и ферменты на их основе усиливают восстановительную активность тканей и препятствуют заболеванию растений.

При недостаточном поступлении либо отсутствии какого-либо микроэлемента из числа необходимых рост растения отклоняется от нормы, а также возможно полное прекращение роста, нарушаются метаболические циклы, что может повлечь его гибель [6].

Таблица 1

**Содержание макро- и микроэлементов в золе листовых пластинок различных популяций
морозки приземистой и в золе черешков**

Элемент	Объект исследования			
	Листовые пластинки, РБ, заказник «Лонно», Полоцкий р-н, Витебская обл.	Листовые пластинки, РБ, нацпарк «Нарочанский», Мядельский р-н, Минская обл.	Листовые пластинки, РБ, заказник «Болото Великий Мох», Миорский р-н, Витебская обл.	Черешки, РБ, заказник «Лонно», Полоцкий р-н, Витебская обл.
	Содержание элементов, мг элемента/100 мг золы			
O	26,08 ± 0,10	22,13 ± 0,08	23,67 ± 0,08	16,95 ± 0,09
Na	1,28 ± 0,02	0,58 ± 0,02	0,65 ± 0,02	1,50 ± 0,01
Mg	10,43 ± 0,01	11,38 ± 0,01	12,53 ± 0,01	4,44 ± 0,01
Al	1,14 ± 0,01	0,84 ± 0,01	–	0,72 ± 0,01
Si	0,61 ± 0,01	2,46 ± 0,01	1,97 ± 0,01	0,66 ± 0,01
P	1,20 ± 0,01	1,12 ± 0,01	1,83 ± 0,01	0,40 ± 0,01
S	1,10 ± 0,01	0,62 ± 0,01	1,30 ± 0,01	–
Cl	2,93 ± 0,01	3,35 ± 0,01	2,29 ± 0,01	8,21 ± 0,01
K	30,50 ± 0,01	23,98 ± 0,01	26,52 ± 0,01	53,83 ± 0,01
Ca	19,01 ± 0,01	23,57 ± 0,01	20,47 ± 0,01	7,93 ± 0,01
Mn	0,70 ± 0,01	2,23 ± 0,02	2,52 ± 0,02	0,86 ± 0,02
Fe	0,64 ± 0,02	1,26 ± 0,02	–	0,45 ± 0,02
Cu	1,97 ± 0,04	4,08 ± 0,04	2,85 ± 0,04	2,99 ± 0,03
Zn	2,42 ± 0,05	2,21 ± 0,05	2,77 ± 0,04	1,07 ± 0,04

Результаты определения содержания макро- и микроэлементов в золе плодов и семян морозки приземистой (*Rubus chamaemorus* L.) различных популяций представлены в табл. 2.

При недостатке микроэлементов активность многих ферментов резко снижается. Например, установлено, что при недостатке меди резко падает активность ферментов, в состав которых

входит медь, а именно, полифенолоксидазы и аскорбатоксидазы [7].

Также медь входит в состав пластоцианина, участвующего в фотосинтезе, она повышает стойкость растений к неблагоприятным климатическим условиям, однако при превышении содержания медь проявляет токсическое действие на растение.

Таблица 2

**Содержание макро- и микроэлементов в золе ягод и семян морозки приземистой
различных популяций**

Элемент	Объект исследования			
	Ягоды, РФ	Ягоды, Латвия	Семена, РФ	Семена, Латвия
	Содержание элементов, мг элемента/100 мг золы			
O	23,46 ± 0,06	27,14 ± 0,16	26,14 ± 0,07	25,26 ± 0,12
Na	–	–	–	0,83 ± 0,02
Mg	6,56 ± 0,01	9,00 ± 0,01	11,89 ± 0,01	13,10 ± 0,01
Al	0,69 ± 0,01	–	0,51 ± 0,01	–
Si	1,07 ± 0,01	1,43 ± 0,01	0,69 ± 0,01	0,62 ± 0,01
P	4,12 ± 0,01	2,28 ± 0,01	13,84 ± 0,01	9,57 ± 0,01
S	0,80 ± 0,01	2,13 ± 0,01	1,24 ± 0,01	2,13 ± 0,01
Cl	1,19 ± 0,01	1,12 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,35 ± 0,01
K	50,91 ± 0,01	56,30 ± 0,01	33,66 ± 0,01	45,89 ± 0,01
Ca	2,26 ± 0,01	–	4,42 ± 0,01	–
Mn	0,56 ± 0,01	–	0,23 ± 0,02	–
Fe	0,33 ± 0,01	0,60 ± 0,03	2,14 ± 0,02	1,83 ± 0,03
Cu	5,24 ± 0,02	–	1,73 ± 0,04	–
Zn	2,81 ± 0,03	–	3,32 ± 0,05	–

По данным сведениям можно косвенно сделать вывод о наличии факторов стресса растения. Например, наибольшее содержание меди в составе растений обнаружено в нацпарке «Нарочанский», где наблюдалась недостаточная освещенность популяции.

Необходимо отметить, что для нормальной жизнедеятельности растения железо и марганец должны находиться в соотношении примерно 2,5 : 1,5 [6, 8, 9]. Подобная закономерность наблюдается у растений популяции заказника «Лонно», где определены наиболее оптимальные условия произрастания. Следовательно, популяция заказника обладает наибольшим потенциалом для плодоношения.

Анализ литературных данных и полученных результатов показывает, что наличие макро- и микроэлементов в комплексе с различными классами биологически активных веществ в растениях демонстрирует терапевтический потенциал и дает возможность создания новых биологически активных добавок.

Необходимо отметить, что в растительном сырье содержание элементов соответствует «биологическим» концентрациям и комбинациям, что обеспечивает наилучшую усвояемость в дополнение к синергизму с другими химическими соединениями.

Количественное определение жирно-кислотного состава липидов в семенах проводили по модифицированному методу Welch [10]. Навески образцов 50–70 мг помещали в стеклянные ампулы, приливали 1 см³ раствора 2%-ной серной кислоты в метаноле с внутренним стандартом – маргариновой кислотой (C_{17:0}; 1,35 мг/см³). Ампулы запаивали на газовой горелке, гидролиз триацилглицеридов с одновре-

менным метилированием образующихся жирных кислот проводили при температуре (80 ± 1) °С в течение 4 ч. Затем ампулы охлаждали до комнатной температуры, вскрывали и экстрагировали метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК) гексаном (0,5 см³). МЭЖК разделяли методом газовой хроматографии на приборе Agilent 7820A (Agilent Technologies, США), оснащенный пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой HP-Innowax 0,25 мм × × 30 м × 0,25 мкм (полиэтиленгликоль). Анализ проводили при скорости потока гелия через колонку 1,36 мл/мин; температуре инжектора – 250 °С, детектора – 275 °С, температуре колонки – 150 °С (1 мин), затем температура колонки повышалась со скоростью 2,9 °С/мин до 250 °С и выдерживалась 3 мин. Объем анализируемой пробы – 1 мкл.

Идентификацию метиловых эфиров жирных кислот производили по времени удерживания при разделении стандартных смесей этих веществ (AccuStandart, США) и оценивали в процентах от весового суммарного содержания по отношению к внутреннему стандарту.

В табл. 3 представлены результаты исследования жирнокислотного состава липидов семян морозки. На рисунке изображена хроматограмма испытуемого образца.

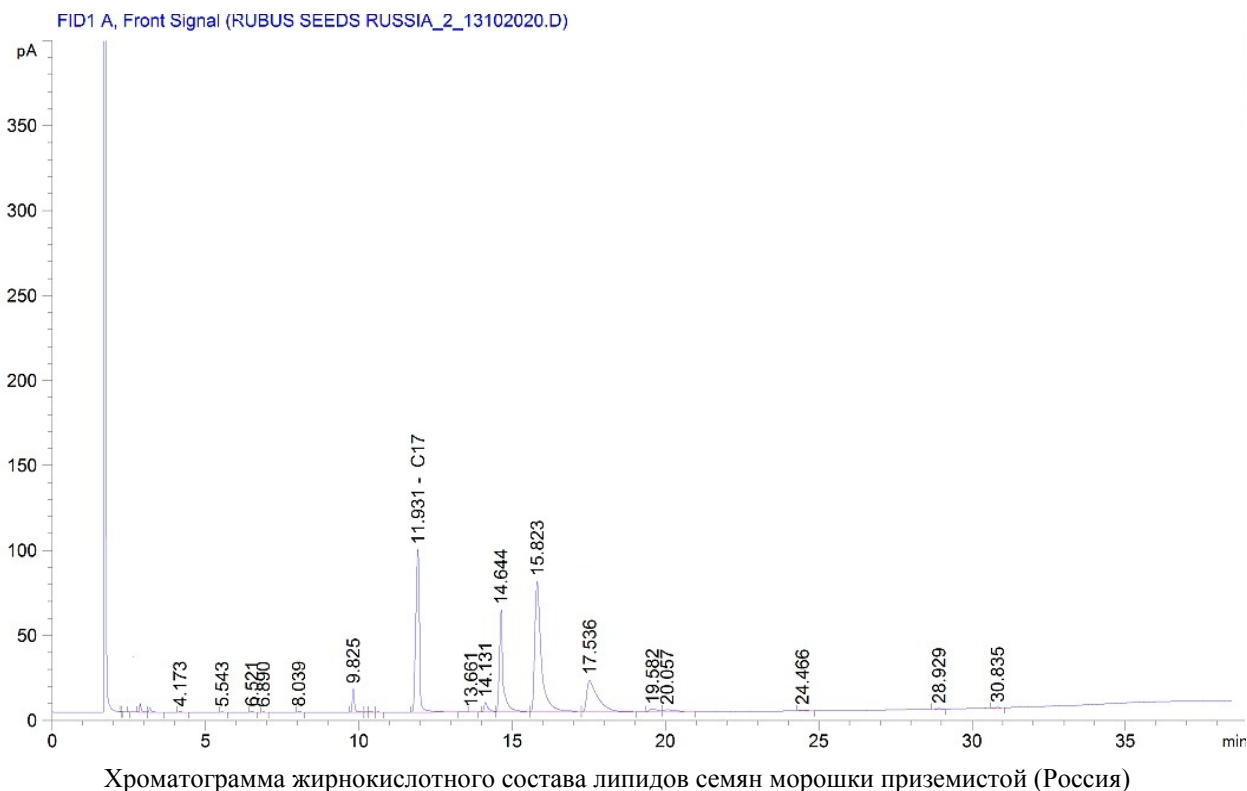
Жирнокислотный состав липидов семян растений, в том числе и морозки приземистой, генетически детерминирован. Однако содержание метаболитов в растениях варьирует и зависит от фенологической фазы, абиотических и антропогенных факторов.

Предполагается, что жирнокислотный состав липидов способствуют адаптации растений к низкотемпературному стрессу [11, 12, 13].

Таблица 3

Жирнокислотный состав липидов семян морозки приземистой

Название	Содержание, %		
	Латвия	РФ, Республика Карелия	Республика Беларусь
Лауриновая кислота C _{12:0}	0,075	0,151	0,128
Миристиновая кислота C _{14:0}	0,091	0,174	0,124
Пальмитиновая кислота C _{16:0}	3,285	3,702	3,485
Пальмитолеиновая кислота C _{16:1}	0,015	0,275	0,257
Стеариновая кислота C _{18:0}	1,760	2,104	2,220
Олеиновая кислота C _{18:1}	18,138	21,263	19,651
Линолевая кислота C _{18:2}	43,614	51,797	37,294
α-Линоленовая кислота C _{α18:3}	27,904	15,195	31,116
Арахидиновая кислота C _{20:0}	1,007	1,046	1,060
Гондоиновая кислота C _{20:1}	0,161	1,108	1,090



Установлено, что со снижением температуры уменьшается текучесть клеточных мембран, что приводит к активации синтеза фермента десатуразы, который участвует в процессе образования полиненасыщенных жирных кислот [14]. Увеличение количества ненасыщенных жирных кислот приводит к восстановлению текучести мембран, тем самым обеспечивая устойчивость растений к низким температурам.

Морозника приземистая является субарктическим видом. Жирнокислотный состав липидов семян *Rubus chamaemorus* L. соответствует уже установленным закономерностям, в них

преобладают линолевая, α -линоленовая и олеиновая кислоты. Содержание преимущественно полиненасыщенных ЖК способствует увеличению их резистентности к низкотемпературному режиму.

Закключение. Результаты исследований показали, что морозника приземистая адаптируется к условиям окружающей среды и по микроэлементному составу растения можно судить о наличии стресса у той или иной популяции. Наиболее оптимальными условиями обитания обладает заказник «Лонно». Популяция является одной из самых перспективных для плодотворения.

Список литературы

1. Барановская Н. В., Черненко Е. В. Особенности накопления химических элементов в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории Западной Сибири // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2. С. 299–306.
2. Немерешина О. Н., Гусев Н. Ф., Филиппова А. В. Содержание микроэлементов и низкомолекулярных антиоксидантов в чае // *Химия раст. сырья*. 2014. № 2. С. 155–168.
3. Государственная Фармакопея Республики Беларусь II. В 2 т. Т. 2. Контроль качества субстанций для фармацевтического использования и лекарственного растительного сырья / М-во здравоохранения Республики Беларусь, Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении. Минск, 2016. 1367 с.
4. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М.: Гос. изд-во географ. лит-ры, 1961. 496 с.
5. Пристова Т. А., Загирова С. В. Элементный состав растений в предгорных лесах Приполярного Урала Республики Коми // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018. Т. 20, № 2. С. 142–146.
6. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях / пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.
7. Анспок П. И. Микроудобрения: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Агропромиздат. Ленинград. отд. 1990. 272 с.

8. Ильин В. Б., Сысо А. И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
9. Лебедев С. И. Физиология растений: учебник. М.: Колос, 1982. 463 с.
10. Феськова Е. В., Леонтьев В. Н., Титок В. В. Семена льна масличного сорта Солнечный – источник биологически активных веществ. Труды БГТУ. Сер. IV, Химия, технология орган. в-в и биотехнология. 2009. Вып. XVII. С. 201–203.
11. Новицкая Г. В., Суворова Т. А., Трунова Т. И. Липидный состав листьев в связи с холодостойкостью растений томатов // Физиология растений. 2000. Т. 47, № 80. С. 829–835.
12. Свободные жирные кислоты и адаптация организмов к холодному климату Якутии / В. В. Нохсоров [и др.] // Вестн. Бурят. гос. с.-х. акад. им. В. Р. Филиппова. 2015. Т. 58, № 30. С. 329–356.
13. Особенности жирнокислотного состава некоторых растений Якутии в период формирования криорезистентности / К. А. Петров [и др.] // Вестн. Северо-Вост. фед. ун-та им. М. К. Аммосова. 2011. Т. 8, № 20. С. 26–30.
14. Лось Д. А. Структура, регуляция экспрессии и функционирование десатураз жирных кислот // Успехи биологической химии. 2001. Т. 41. С. 163–198.

References

1. Baranovskaya N. V., Chernenkaya E. V. Features of the accumulation of chemical elements in common bilberry (*Vaccinium myrtillus*) on the territory of Western Siberia. *Fundamental'nyye issledovaniya* [Basic research], 2015, no. 2, pp. 299–306 (In Russian).
2. Nemereshina O. N., Gusev N. F., Filippova A. V. The content of trace elements and low molecular weight antioxidants in tea. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant materials], 2014, no. 2, pp. 155–168 (In Russian).
3. *Gosudarstvennaya Farmakopeya Respubliki Belarus' II. V 2 tomakh. Tom 2. Kontrol kachestva substansiy dlya farmatsevticheskogo ispol'zovaniya i lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya* [The State Pharmacopoeia of the Republic of Belarus II. In 2 vol. Vol. 2. Quality control of substances for pharmaceutical use and medicinal plant materials]. Minsk, 2016. 1367 p.
4. Perelman A. I. *Geokhimiya landshafta* [Landscape geochemistry]. Moscow, Gosudarstvennoye izdatel'stvo geograficheskoy literatury Publ., 1961. 496 p.
5. Pristova T. A., Zagirova S. V. Elemental composition of plants in the foothill forests of the Subpolar Urals of the Komi Republic. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2018, no. 2, vol. 20, pp. 142–146 (In Russian).
6. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace elements in soils and plants*. CRC Press, Inc. Fourth Printing, 1984. 548 p. (Russ. ed.: Kabata-Pendias A., Pendias H. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh*. Moscow, Mir Publ., 1989. 439 p.).
7. Anspok P. I. *Mikroudobreniya: Spravochnik* [Microfertilizers: Handbook]. Leningrad, Agropromizdat Publ., 1990. 272 p.
8. Ilyin V. B., Syso A. I. *Mikroelementy i tyazhelyye metally v pochvakh i rasteniyakh* [Microelements and heavy metals in soils and plants]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2001. 229 p.
9. Lebedev S. I. *Fiziologiya rasteniy: uchebnik* [Plant physiology. Textbook]. Moscow, Kolos Publ., 1982. 463 p.
10. Feskova E. V., Leontiev V. N., Titok V. V. Seeds of oil-bearing flax varieties Solnechny – a source of biologically active substances. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 4, Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology, 2009, no. 17, pp. 201–203 (In Russian).
11. Novitskaya G. V., Suvorova T. A., Trunova T. I. Lipid composition of leaves in connection with cold resistance of tomato plants. *Fiziologiya rasteniy* [Plant Physiology], 2000, vol. 47, no. 80, pp. 829–835 (In Russian).
12. Nokhsorov V. V., Dudareva L. V., Chepalov V. A., Sofronova V. E., Verkhoturov V. V., Perk A. A., Petrov K. A. Free fatty acids and adaptation of organisms to the cold climate of Yakutia. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii imeni V. R. Filippova* [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov], 2015, vol. 58, no. 30, pp. 329–356 (In Russian).
13. Petrov K. A., Perk A. A., Chepalov V. A., Okhlopko Zh. M. Features of the fatty acid composition of some plants in Yakutia during the formation of cryoresistance. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universita imeni M. K. Ammosova* [Bulletin of the North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov], 2011, vol. 8, no. 20, pp. 26–30 (In Russian).
14. Los D. A. Structure, regulation of expression and functioning of fatty acid desaturases. *Uspekhi biologicheskoy khimii* [Advances in biological chemistry], 2001, vol. 41, pp. 163–198 (In Russian).

Информация об авторах

Страх Яна Леонидовна – аспирант кафедры биотехнологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: y.strakh@gmail.com

Феськова Елена Владимировна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры биотехнологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lena.feskova@mail.ru

Игнатовец Ольга Степановна – кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ignatovets@belstu.by

Information about the authors

Strakh Yana Leonidovna – PhD student, the Department of Biotechnology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: y.strakh@gmail.com

Feskova Alena – PhD (Engineering), Senior Researcher, the Department of Biotechnology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lena.feskova@mail.ru

Ignatovets Olga Stepanovna – PhD (Biology), Assistant Professor, the Department of Biotechnology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ignatovets@belstu.by

Поступила 15.10.2020

УДК 639.1.004

Н. Т. Юшкевич¹, Ю. И. Шумский², А. В. Неверов¹, А. В. Рубис¹¹Белорусский государственный технологический университет²РГОО «Белорусское общество охотников и рыболовов»**ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ КАК МЕХАНИЗМ РАЦИОНАЛЬНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСНЫХ И ОХОТНИЧЬИХ РЕСУРСОВ**

Для максимально эффективного использования новых технологий и их оперативного внедрения во все сферы деятельности человека предприятия должны отказаться от прежних устоев и полностью преобразовать процессы и модели работы. Это означает постепенный отказ от устаревших технологий, обслуживание которых может дорого обходиться предприятиям.

В лесном секторе нашей страны цифровая трансформация впервые серьезно начала внедряться еще в конце 90-х гг. прошлого столетия, когда была создана информационная система управления лесным хозяйством (ИСУЛХ). Она создана как многоуровневая, интегральная, многоцелевая система управления лесами, лесным хозяйством и лесными ресурсами. В мае 2017 г. принято решение о разработке и внедрении в промышленную эксплуатацию Единой государственной автоматизированной информационной системы учета древесины и сделок с ней (ЕГАИС). Данная система позволяет предъявлять единые требования к учету древесины, контролировать все этапы движения древесины в заготовленном виде, используя информацию только в электронном виде.

В охотничьей хозяйственной деятельности нашей страны информационные технологии позволяют оплачивать рыболовные и охотничьи взносы РГОО «БООР», приобретать охотничьи путевки без предварительного посещения охотхозяйства, дистанционно через геоинформационные системы (загружены актуальные карты-схемы охотничьих угодий всех охотничьих хозяйств) знакомиться с местом охоты и др.

Таким образом, процесс внедрения современных цифровых технологий означает постепенный отказ от устаревших технологий, повышение эколого-экономической эффективности использования лесных и охотничьих ресурсов, а также изменение культуры, которая теперь должна поддерживать ускорение процессов, обеспечиваемое цифровой трансформацией.

Ключевые слова: цифровая трансформация, эффективность, рациональное использование, устойчивое управление.

Для цитирования: Юшкевич Н. Т., Шумский Ю. И., Неверов А. В., Рубис А. В. Цифровая трансформация как механизм рационального использования лесных и охотничьих ресурсов // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 101–106.

N. T. Yushkevich¹, Yu. I. Shumski², A. V. Neverov¹, A. V. Rubis¹¹Belarusian State Technological University²RSOO “Belarusian Society of Hunters and Fisherman”**DIGITAL TRANSFORMATION AS A MECHANISM FOR RATIONAL USE
OF FOREST AND HUNTING RESOURCES**

Enterprises must abandon the previous foundations and completely transform processes and work models for the most effective use of new technologies and their prompt implementation in all areas of human. This process means phasing out obsolete technologies that can be expensive for businesses to maintain.

Digital transformation in the forestry sector of our country for the first time seriously began to be introduced back in the late 90s of the last century, when the forestry management information system (FMIS) was created. It was created as a multi-level, integrated, multi-purpose forest management system, forestry and forest resources. In May 2017, a decision was made to develop and introduce into industrial operation a unified state automated information system for accounting for timber and transactions with it (USAIS). This system will make it possible to present uniform requirements for timber accounting, control all stages of the movement of timber in the harvested form, using information only in electronic form.

In the hunting economic activity of our country, information technology allows you to pay fishing and hunting fees of the Republican state-public association “Belarusian society of hunters and fishermen”.

There is a possibility of purchasing hunting permits without first visiting a hunting farm, you can remotely through geoinformation systems (up-to-date maps-schemes of hunting grounds of all hunting farms are loaded) to get acquainted with the hunting area, etc.

Thus, the process of introducing modern digital technologies means a gradual abandonment of outdated technologies, an increase in the environmental and economic efficiency of the use of forest and hunting resources, as well as a change in culture, which should now support the acceleration of processes provided by digital transformation.

Key words: digital transformation, efficiency, rational use, sustainable management.

For citation: Yushkevich N. T., Shumski Yu. I., Neverov A. V., Rubis A. V. Digital transformation as a mechanism for rational use of forest and hunting resources. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 101–106 (In Russian).

Введение. Цифровая трансформация – это процесс интеграции цифровых технологий во все аспекты бизнес-деятельности, требующий внесения коренных изменений в технологии, культуру, операции и принципы создания новых продуктов и услуг. Для максимально эффективного использования новых технологий и их оперативного внедрения во все сферы деятельности человека предприятия должны отказаться от прежних устоев и полностью преобразовать процессы и модели работы. Цифровая трансформация требует смещения акцента на периферию предприятий и повышение гибкости центров обработки данных, которые должны поддерживать периферию. Этот процесс также означает постепенный отказ от устаревших технологий, обслуживание которых может дорого обходиться предприятиям, а также изменение культуры, которая теперь должна поддерживать ускорение процессов, обеспечиваемое цифровой трансформацией.

Когда предприятия осознали все возможности использования оцифрованных данных, они стали разрабатывать процессы для этих целей. С этого момента цифровые технологии начали бурно развиваться, и способность быстро внедрять их напрямую определяет конкурентоспособность предприятий. И хотя цифровая трансформация сейчас является популярной темой обсуждений среди технических специалистов, на самом деле о ней говорят уже несколько десятилетий. Однако этот термин не всегда означал одно и то же. Долгое время под ним подразумевался перевод в цифровой формат или хранение в цифровом виде традиционных форм данных. Это тоже одно из направлений цифровой трансформации, однако в современном мире данное понятие гораздо шире, чем перевод в цифровой формат.

Очень часто трансформация происходит не потому, что предприятия так решают, а потому, что это им необходимо, чтобы выжить. Сегодня на рынке вырос спрос на эффективные цифровые технологии для бизнеса, и предприятия, которые не смогли адаптироваться к новой

модели цифрового потребителя, наверняка прекратят свое существование.

Вопросы цифровой трансформации и информационных технологий рассматриваются в работах Л. И. Алешина [1], С. Аракеляна [2], М. А. Венделева [3], О. Н. Граничина [4] и др. [5, 6].

Предприятия, которые приветствуют перемены и готовы к ним, а также способны адаптироваться к более гибким моделям работы, имеют как никогда большой потенциал успеха. Это связано с тем, что цифровая трансформация охватывает все аспекты бизнеса и предлагает эффективные пути их совершенствования вместе с развитием цифровых технологий.

Этапы цифровой трансформации:

- создание плана, в котором учтены все бизнес-потребности предприятия;
- обучение сотрудников навыкам работы с новыми технологиями;
- отказ от устаревших технологий.

Основная часть. В лесном секторе нашей страны цифровая трансформация впервые серьезно начала внедряться еще в конце 90-х гг. прошлого столетия благодаря «Проекту развития лесного хозяйства», финансируемому Мировым банком реконструкции и развития. Под руководством профессора БГТУ Атрощенко О. А. впервые была создана в Министерстве лесного хозяйства информационная система управления лесным хозяйством (ИСУЛХ). Она разрабатывалась как многоуровневая, интегральная, многоцелевая система управления лесами, лесным хозяйством и лесными ресурсами.

В первую очередь это система функционирует в лесхозах по лесохозяйственной деятельности, например автоматизированное рабочее место (АРМ) «Лесопользование», система планирования лесного кадастра, ГИС-технологии и система АРМ лесов.

Система устойчивого управления лесами Беларуси основана на европейских принципах и соглашениях, критериях и показателях национальной системы лесной сертификации [7].

Устойчивое управление лесами – это устойчивое лесовосстановление, лесовозобновление и лесопользование, защита и охрана лесов таким образом, чтобы леса и лесные ресурсы выполняли в настоящем и будущем экологические, экономические и социальные функции [8].

ИСУЛХ состоит из трех систем:

- 1) система сбора и обработки информации;
- 2) система планирования и разработки альтернативных вариантов устойчивого управления лесами и лесными ресурсами;
- 3) система принятия решения с выбором оптимальных значений для принятия поставленных целей:
 - улучшение породной структуры лесов;
 - выравнивание возрастной структуры;
 - оптимизация лесопользования;
 - достижения максимальных доходов;
 - сохранение средообразующей функции лесов.

Вместе с тем для достижения любой из этих целей лесопользования необходимо дополнительно разработать целевую функцию, критерий, модель оптимизации и решать задачи с применением методов математического программирования.

В мае 2017 г. Главой государства принято решение о разработке и внедрении в промышленную эксплуатацию Единой государственной автоматизированной информационной системы учета древесины и сделок с ней (ЕГАИС).

Данная система позволит предъявлять единые требования к учету древесины как на землях лесного фонда, так и на землях, не входящих в состав лесного фонда, контролировать все этапы движения древесины в заготовленном виде, используя информацию только на электронных носителях.

Это позволит модернизировать технологии по учету при вывозке и реализации древесины в процессе осуществления хозяйственной и иной деятельности, рационального использования лесов, а также обеспечения экономических интересов государства в области лесопользования и при удалении объектов растительного мира при проведении работ на землях, не входящих в состав лесного фонда.

В Российской Федерации аналогичная Государственная автоматизированная информационная система учета древесины «ЕГАИС Лес» была создана в 2014 г. для контроля происхождения и оборота древесины. Система проводит учет древесины в стране и контролирует любые сделки с ней, а также проверяет правомерность таких сделок с точки зрения законодательства РФ. Она полностью контролирует весь процесс, начиная с вырубki деревьев и

заканчивая продажей древесины конечному пользователю.

Каждый этап подтверждается документально, а потом регистрируется в виде электронного документа в ЕГАИС Лес. Данный программный продукт регистрирует сделки не только внутри страны, но и импорт-экспорт древесины. В соответствии с законодательством РФ использование системы субъектами хозяйствования, осуществляющими деятельность в области лесопользования, является обязательным условием для участников рынка и распространяется на все сделки с древесиной и лесопродукцией.

Согласно законодательству Российской Федерации, все заготовщики, экспортеры, импортеры и внутренние продавцы и покупатели древесины, в том числе и пиломатериалов, обязаны всю деятельность осуществлять через ЕГАИС. Они должны сдавать в систему отчеты о вырубке, изменении размеров участков, продаже, покупках и переработке, а также декларацию о транспортировке.

Цели внедрения ЕГАИС Лес носят комплексный, межведомственный характер и направлены на противодействие незаконным рубкам, усиление контроля за оборотом древесины, вследствие которого отслеживается вся цепочка лесопользования: от заготовки до поставки леса потребителям. Данная система является реально действующим механизмом в борьбе с «черными лесорубами» и теневым бизнесом. Схожие системы имеются также в Украине, государствах Балтии, Польше, Скандинавии, Финляндии и других странах с высокоразвитым лесным хозяйством.

В Республике Беларусь ЕГАИС разрабатывается впервые. Отечественных аналогов такой системы не существует. В ЕГАИС предполагается использование современных информационных технологий с учетом передового отечественного и зарубежного опыта, в том числе технологий единой базы данных для доступа к ней как с мобильных устройств, так и стационарных рабочих мест, технологий современных сетей передачи данных, технологий генерации отчетных документов по учету древесины.

Посредством системы будет осуществляться информационная поддержка и комплексная автоматизация процессов, связанных с выполнением первичных регистрационно-учетных операций и предоставлением данных об объемах заготовки древесины, а также перемещении лесоматериалов.

Система по виду автоматизируемой деятельности относится к системам оперативной обработки данных, которые обеспечивают функции их сбора, контроля, регистрации, хранения, обработки и передачи.

Создание ЕГАИС позволит решить такие задачи:

- создать базу данных об учете сделок с древесиной, объемах древесины, передаваемой от одних хозяйствующих субъектов другим;
- обеспечить эффективный контроль и прозрачность информации о движении и наличии древесины;
- оптимизировать и минимизировать ручной труд и ошибки, связанные с человеческим фактором;
- сократить время и средства при учете заготовки, вывозки и реализации лесоматериалов;
- разработать механизм обеспечения управленческого персонала оперативной и достоверной информацией для планирования процессов заготовки и отгрузки древесины;
- внедрить управление движением ресурсов в цепи поставок на основе научно обоснованных логистических схем.

Создание системы позволит контролировать все этапы заготовки древесины и ее движения (не только от заготовки в лесном фонде до приемки у потребителя, но и на землях, не входящих в состав лесного фонда), используя при этом информацию только в электронном виде, и обеспечить рациональное использование лесных ресурсов за счет совершенствования управления и снижения трудозатрат.

Социальная эффективность внедрения ЕГАИС будет определяться сокращением трудозатрат на выполнение трудоемких функций.

Использование системы:

- повысит точность, качество и оперативность информационного обеспечения при решении задач по учету и реализации древесины, ее рациональному использованию;
- позволит использовать единое информационное пространство для сбора, обработки, хранения и предоставления актуальной информации, необходимой для ведения лесного хозяйства – данных о местах и объемах заготовки древесины, ее количестве, качестве, перемещении, о лицах и лесозаготовительных машинах, участвующих в процессе заготовки древесины;
- обеспечит прозрачность информации о движении и наличии древесины и эффективный контроль над оперативной деятельностью;
- даст возможность оптимизировать и минимизировать ручной труд и ошибки, связанные с человеческим фактором.

Экономическая эффективность реализации мероприятия определяется:

- получением прибыли оператором ЕГАИС за ее регистрацию юридическим лицам, ведущим лесное хозяйство, лесозаготовительным

организациям, перевозчикам, потребителям древесины и контролирующим органам, а также получением прибыли за сопровождение;

- сокращением времени и средств по учету древесины при ее заготовке, вывозке и реализации.

В целом по лесохозяйственной отрасли при практическом применении ЕГАИС ожидается экономический эффект ориентировочно до 4,4 млн. руб. в год.

В охотничьей хозяйственной деятельности нашей страны информационные технологии серьезно начали внедряться особенно в последнее десятилетие. Так, в настоящее время охотники и рыболовы – члены республиканской государственно-общественной организации «Белорусское общество охотников и рыболовов» (РГОО «БООР») могут воспользоваться ниже перечисленными современными технологиями.

Теперь не только рыболовные, но и охотничьи взносы РГОО «БООР» можно оплачивать с использованием Единого расчетного и информационного пространства (ЕРИП). При этом произвести оплату можно как с помощью персонального компьютера, так и со смартфона.

Для удобства охотников в охотхозяйствах системы РГОО «БООР» существует возможность приобретения охотничьих путевок без предварительного посещения охотхозяйства – они приобретаются в электронном виде на сайте ihunt.by. Для этого необходимо зарегистрироваться на сайте и оплатить через ЕРИП охотничью путевку.

Для ознакомления с местом охоты на сайте rgooboog.by загружены актуальные карты-схемы охотничьих угодий всех охотничьих хозяйств РГОО «БООР». Причем качество изображения позволяет в деталях изучить интересные места охоты.

Также на сайте rgooboog.by существует база данных охотничьих собак, зарегистрированных в РГОО «БООР». В этой базе данных пользователи могут ознакомиться со следующей информацией: узнать кличку, породу охотничьей собаки, номер ее родословной, номер регистрационной карточки, номер клейма (чипа), увидеть фото собаки. Благодаря этой базе данных у пользователей есть возможность идентифицировать найденную охотничью собаку или подобрать кандидатуру для вязки.

Если возникнет необходимость устроиться на ночлег, для удобства поиска подходящих вариантов все дома охотника и рыболова РГОО «БООР» внесены в базу популярного сервиса booking.com.

Заключение. Таким образом, процесс внедрения современных цифровых технологий также означает постепенный отказ от устаревших технологий, обслуживание которых может дорого обходиться организациям лесного и охотничьего хозяйства, а также изменение культуры,

которая теперь должна поддерживать ускорение процессов, обеспечиваемое цифровой трансформацией. Цифровая трансформация соответствует социально-экономическим потребностям и возможностям общества и государства, целям устойчивого развития.

Список литературы

1. Алешин Л. И. Информационные технологии: учеб. пособие. М.: Маркет ДС, 2011. 384 с.
2. Аракелян С. Цифровая экономика: стратегии развития и новые технологии – достижения, риски, угрозы // *Экономист*. 2018. № 3. С. 52–73.
3. Венделева М. А., Вертакова Ю. В. Информационные технологии в управлении: учеб. пособие. М.: Юрайт, 2013. 462 с.
4. Граничин О. Н., Кияев В. И. Информационные технологии в управлении: учеб. пособие. М.: БИНОМ. ЛЗ, ИНТУИТ, 2008. 336 с.
5. Савина Т. С. Цифровая экономика как новая парадигма развития: вызовы, возможности и перспективы // *Финансы и кредит*. 2018. № 10. С. 579–590.
6. Чалдаева Л. Цифровая экономика: вчера, сегодня и завтра // *Экономист*. 2018. № 4. С. 80–85.
7. Зорин В. П. Теоретические основы лесной сертификации в системе устойчивого управления лесами // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство: природопользование и переработка возобновляемых ресурсов*. 2017. № 2. С. 165–169.
8. Неверов А. В., Водопьянов П. А. О модели устойчивого развития Республики Беларусь // *Труды БГТУ. Сер. VII, Экономика и управление*. 2007. Вып. XV. С. 7–14.

References

1. Aleshin L. I. *Informatsionnyye tekhnologii: uchebnik* [Information technology: textbook]. Moscow, Market DS Publ., 2011. 384 p.
2. Arakelyan S. Digital Economy: Development Strategies and New Technologies – Achievements, Risks, Threats. *Ekonomist* [The Economist], 2018, no. 3, pp. 52–73 (In Russian).
3. Vendeleva M. A., Vertakova Yu. V. *Informatsionnyye tekhnologii v menedzhmente: uchebnik* [Information technologies in management: textbook]. Moscow, Yurayt Publ., 2013. 462 p.
4. Granichin O. N., Kiyaev V. I. *Informatsionnyye tekhnologii v menedzhmente: uchebnik* [Information technologies in management: textbook]. Moscow, BINOM. LZ, INTUIT Publ., 2008. 336 p.
5. Savina T. S. Digital economy as a new development paradigm: challenges, opportunities and prospects. *Finansy i kredit* [Finance and Credit], 2018, no. 10, pp. 579–590 (In Russian).
6. Chaldaeava L. Digital economy: yesterday, today and tomorrow. *Ekonomist* [The Economist], 2018, no. 4, pp. 80–85 (In Russian).
7. Zorin V. P. Theoretical foundations of forest certification in the system of sustainable forest management. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management and Processing of Renewable Resources, 2017, no. 2, pp. 165–169 (In Russian).
8. Neverov A. V., Vodopyanov P. A. About the model of sustainable development of the Republic of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 7, Economics and Management, 2007, issue 15, pp. 7–14 (In Russian).

Информация об авторах

Юшкевич Николай Тарасович – кандидат экономических наук, доцент кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ushkevichn@tut.by

Шумский Юрий Иванович – председатель РГОО «Белорусское общество охотников и рыболовов» (220012, г. Минск, пер. Калинина, 16, Республика Беларусь). E-mail: rgooboor@mail.ru

Неверов Александр Васильевич – доктор экономических наук, профессор кафедры менеджмента, технологий бизнеса и устойчивого развития. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: neverov@belstu.by

Рубис Александра Владимировна – магистрант. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: arubis1698@mail.ru

Information about the authors

Yushkevich Nikolay Tarasovich – PhD (Economics), Associate Professor, the Department of Tourism, Nature Management and Game Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ushkevichn@tut.by

Shumski Yury Ivanovitch – Chairman of the RSOO “Belarusian Society of Hunters and Fisherman” (16, Kalinin lane, 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rgooboor@mail.ru

Neverov Aleksandr Vasil’evich – DSc (Economics), Professor, the Department of Management, Business Technologies and Sustainable Development. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: neverov@belstu.by

Rubis Alexandra Vladimirovna – Master’s Degree. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: arubis1698@mail.ru

Поступила 10.11.2020

ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

УДК 630*363.7

А. В. Вавилов, А. Л. Дашко, А. А. Замула
Белорусский национальный технический университет

О ПРИМЕНЕНИИ ОТХОДОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ДЛЯ УСТРОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДОРОГ

Внутрихозяйственные дороги входят в состав местных автомобильных дорог и соединяют центры в основном агропромышленных и лесопромышленных предприятий с подчиненными им подразделениями. Преимущественно это гравийные или грунтовые дороги. Такие дороги для улучшения функционирования народнохозяйственного комплекса нуждаются в твердом покрытии. Работая в условиях стесненного финансирования такие покрытия предлагается создавать из битумосодержащих отходов строительства и отходов минерального происхождения.

Ключевые слова: асфальтогранулят, дороги внутрихозяйственные, отходы строительства, твердое покрытие, щебень.

Для цитирования: Вавилов А. В., Дашко А. Л., Замула А. А. О применении отходов строительства для устройства покрытий внутрихозяйственных дорог // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 107–112.

A. V. Vavilov, A. L. Dashko, A. A. Zamula
Belarusian National Technical University

ABOUT THE USE OF CONSTRUCTION WASTE FOR COATING ON-FARM ROADS

On-farm roads are part of the system of local roads and connect the centers, mainly of agro-industrial and timber-processing enterprises, with their subordinate units. These are mainly gravel or dirt roads. Such roads for the normal functioning of the national economic complex require a hard surface. In the context of limited funding, such proposals should be generated from bitumen-containing construction waste and mineral waste.

Key words: asphalt granulates, on-farm roads, construction waste, hard surface, crushed stone.

For citation: Vavilov A. V., Dashko A. L., Zamula A. A. About the use of construction waste for coating on-farm roads. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 107–112 (In Russian).

Введение. Внутрихозяйственные дороги входят в состав местных автомобильных дорог и соединяют в основном центры агропромышленных и лесных предприятий с подчиненными им подразделениями. Преимущественно это гравийные или грунтовые дороги категорий VI-а и VI-б в соответствии с ТКП 45-3.03-96-2008. Такие дороги для улучшения функционирования народнохозяйственного комплекса нуждаются в твердом покрытии. В условиях недостаточного финансирования такие покрытия предлагается создавать из битумосодержащих отходов строительства и отходов минерального происхождения.

Основная часть. В современных условиях развития хозяйств в сельской местности перевозкам различных грузов и пассажиров по внутрихозяйственным дорогам придается большое значе-

ние. Однако транспортно-эксплуатационное состояние внутрихозяйственных дорог не в полной мере удовлетворяет потребностям хозяйств в автомобильных перевозках [1]. Содержание таких дорог в надлежащем состоянии – сложный процесс, требующий немалых затрат труда, денежных и материальных средств. Чтобы эти работы выполнялись своевременно, качественно и с наименьшими затратами, необходима хорошо налаженная система дорожного строительства и служб эксплуатации.

Сеть внутрихозяйственных дорог должна отвечать требованиям принятой технологии и организации работ конкретного хозяйства [2].

Общие требования, предъявляемые к внутрихозяйственным дорогам, сводятся прежде всего к обеспечению безопасности движения с необходимой

скоростью на всем их протяжении, включая подъемы, спуски, повороты, независимо от времени года и погодных условий. При проектировании внутрихозяйственных дорог большое внимание следует уделять их экономичности (минимум затрат на строительство и эксплуатацию, снижение себестоимости перевозок и т. д.) при соблюдении высоких технических показателей [3].

Сеть благоустроенных внутрихозяйственных дорог имеет чрезвычайно важное не только экономическое, но и социальное значение. Хорошая дорога способствует целесообразному размещению и укрупнению населенных пунктов, приближая условия жизни сельских жителей к городским, что позволяет лучше организовать бытовое обслуживание населения и доставку сельских жителей к месту работы в экономически оправданные сроки [2, 3]. Кроме того, благоустроенные дороги будут способствовать подъему интереса к туристическим базам и заповедникам у туристических потоков. Улучше-

ние внутрихозяйственных дорог – важный фактор интенсификации производства, улучшения уровня жизни населения и туристической привлекательности региона.

В проектах внутрихозяйственного землеустройства большинства хозяйств, предприятий и туристических баз обоснованно определены расположения всех дорог, соединяющих современные крупные предприятия с районными центрами и центральными усадьбами, заповедниками, туристическими базами и др. [3].

На рис. 1 приведена типичная схема размещения внутрихозяйственных дорог. На сеть местных и внутрихозяйственных дорог обычно приходится основная доля перевозок [2].

В связи с тем, что внутрихозяйственные дороги входят в состав местных автомобильных дорог, в 2017 г. протяженность последних составила 70 977 км, из них с твердым покрытием 59 436 км (или 83,7% от общей протяженности) (рис. 2) [1].

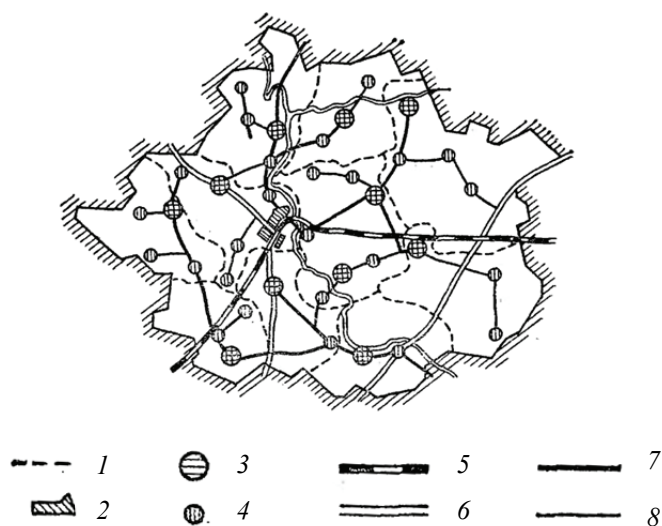


Рис. 1. Схема размещения внутрихозяйственных дорог в сельскохозяйственном районе:

- 1 – граница хозяйства; 2 – районный центр; 3 – центральный поселок хозяйства;
 4 – поселок производственного участка; 5 – железная дорога;
 6 – автомобильная дорога областного значения;
 7 – дорога районного значения; 8 – внутрихозяйственные дороги

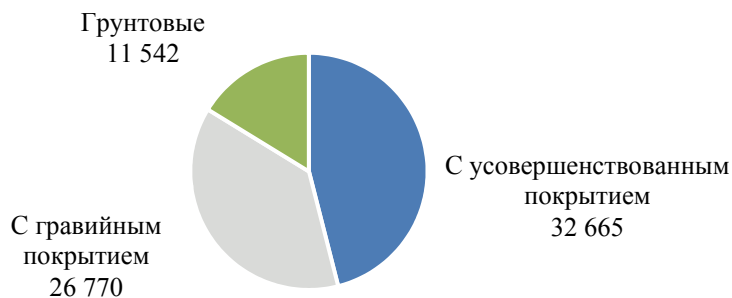


Рис. 2. Протяженность сети местных и внутрихозяйственных автомобильных дорог (в километрах)

Протяженность грунтовых автомобильных дорог возросла за счет принятия в сеть местных автомобильных дорог внутрихозяйственных дорог и подъездов к садоводческим кооперативам и составила 11 542 км (11 435 км на 1 января 2020 г.), или 16,3% [1].

Протяженность местных и внутрихозяйственных автомобильных дорог, требующих ремонта, составляет более 21 тыс. км (свыше 30%). С ограничением несущей способности дорожного покрытия до 6 т на ось эксплуатируется 60,6 тыс. км местных автомобильных дорог (85,4%) [1].

Из рис. 3 и 4 видно, что по сравнению с 2008 г. в 1,6 раза сократилась протяженность капитально отремонтированных в 2016 г. местных и внутрихозяйственных автомобильных дорог и в 2,1 раза протяженность дорог, на которых осуществлен текущий ремонт. Вследствие ограниченного финансирования 94% местных внутрихозяйственных автомобильных дорог эксплуатируется с превышением межремонтных сроков [1].

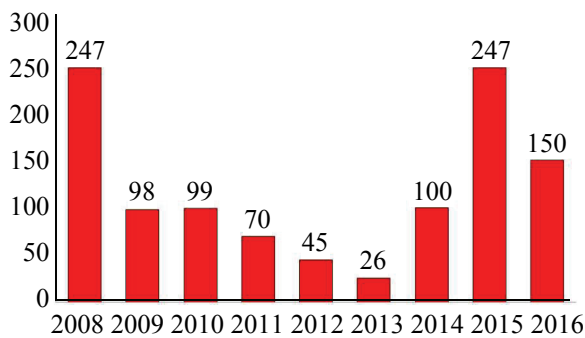


Рис. 3. Протяженность капитально отремонтированных местных и внутрихозяйственных автомобильных дорог в 2008–2016 гг. (в километрах)

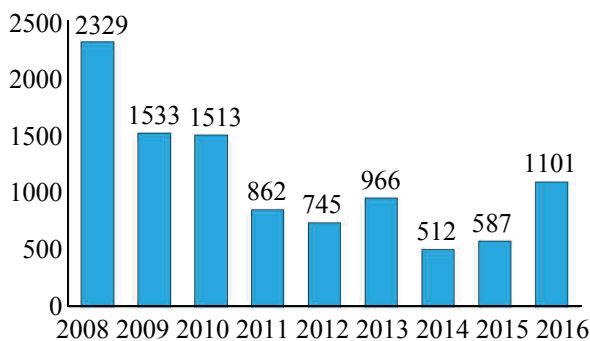


Рис. 4. Протяженность отремонтированных местных и внутрихозяйственных автомобильных дорог, на которых проведен текущий ремонт за 2008–2016 гг. (в километрах)

В ряде районов еще значительны потери от бездорожья, чтобы сократить их, в последние

годы намечены действенные меры по ускорению темпов ремонта и содержанию местных дорог. Эта задача имеет и большое социально-экономическое значение, так как в результате бездорожья во многих хозяйствах и на предприятиях наблюдается большая текучесть кадров и сокращается количество туристов в запovedники и туристические базы [3].

В засушливое время года на грунтовых и гравийных дорогах образуется пыль, возникающая при движении машин. По грунтовым дорогам затруднен проезд в дождливую погоду, а также весной и осенью. Из-за бездорожья хозяйства вынуждены в осенне-весенний период перевозить грузы с помощью тракторов, что снижает скорость перевозок и невыгодно экономически [3]. В зимний же период проезд значительно ухудшается из-за снежных заносов [2]. Транспортная нагрузка вызывает напряжения в дорожном покрытии в пределах 0,5–1,4 МПа, что существенно выше прочности грунтов, из которых отсыпано земляное полотно дороги. В результате на грунтовой дороге появляются пластические деформации в виде волн, гребенки, колеи [4].

Особенности внутрихозяйственных дорог изучены еще недостаточно. В результате в ряде случаев вновь построенные дороги уже в первые годы эксплуатации разрушаются и перестают удовлетворять требования движения по ним транспорта.

В то же время дорожная одежда внутрихозяйственных дорог должна соответствовать общим требованиям, предъявляемым к дорогам, и обеспечивать расчетную скорость, безопасность и комфортабельность движения транспортных средств в любое время года, прочность, долговечность и устойчивость к воздействию атмосферных факторов (температуры, влажности и т. д.), ровность покрытия, шероховатость – для хорошего сцепления с шинами, низкую стоимость строительства, возможность использования местных дорожно-строительных материалов, отсутствие пыления, возможность легко удалять пыль и грязь с поверхности, бесшумное движение и др. [3, 5]. Это достигается обоснованным выбором и проектированием дорожной одежды и покрытия проезжей части [5].

Внутрихозяйственные дороги относятся к VI-а и VI-б категориям. К основным видам покрытий для таких дорог можно рекомендовать щебеночные, из асфальтогранулята, из грунтов и местных малопрочных каменных материалов (марка по дробимости 400–600 для изверженных пород и 200–300 для осадочных), обработанных органическими и неорганическими вяжущими, из гравийно-эмульсионных смесей, а также из грунтов, укрепленных или улучшенных

различными местными материалами, отходами производства и строительства [6]. На последние обращается особое внимание как более дешевые и перспективные виды материалов для дорожных покрытий внутрихозяйственных дорог.

С учетом вышеизложенного изучались отходы строительства, которые можно успешно, после переработки, использовать для устройства покрытий внутрихозяйственных дорог.

По данным госстатотчетности по форме 1 – отходы (Минприроды) в 2017 г. образовалось 3,3 млн т строительных отходов (без учета вскрышных пород). Наибольшим объемом образования отличаются бой железобетонных изделий (759,1 тыс. т, или 23% общего объема образования строительных отходов), смешанные отходы строительства, сноса зданий и сооружений (627,6 тыс. т, или 19,0%), бой кирпича керамического (551,3 тыс. т, или 16,7%), бой бетонных изделий (424,5 тыс. т, или 12,86%), асфальтобетон от разборки асфальтовых покрытий (374,7 тыс. т, или 11,4%) [7].

Суммарная доля перечисленных отходов составляет 82,9% годового объема образования строительных отходов в Беларуси. Около 2,0% строительных отходов (67,2 тыс. т) в 2017 г. удалено на объекты захоронения, главным образом в виде смешанных отходов строительства, сноса зданий и сооружений и отходов от разборки зданий [7].

В зависимости от этого их следует подразделять на две группы:

I группа – отходы, образованные при реконструкции зданий и сооружений, ремонте, новом строительстве, производстве строительных материалов, деталей и конструкции; II группа – отходы, образованные при сносе и разборке зданий и сооружений [7].

Полученные после переработки строительных отходов вторичные материальные ресурсы многообразны по физико-механическим характеристикам и применению.

Вторичный щебень как раз и можно применять при строительстве внутрихозяйственных дорог, устройстве основания или покрытия пешеходных дорожек, автостоянок, прогулочных аллей и т. д.

Щебень, песок и песчано-щебеночные смеси из дробленого бетона должны соответствовать требованиям ГОСТ 32495–2013 и изготавливаться по технологической документации, утвержденной предприятием-изготовителем.

Щебень из дробленого бетона (далее – щебень) характеризуют следующими показателями качества: зерновой состав; прочность; содержание пылевидных частиц; содержание слабых зерен прочностью менее 20 МПа; содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой

формы; морозостойкость; истираемость в лочном барабане; содержание вредных компонентов и примесей; содержание засоряющих примесей; насыпная плотность (по требованию потребителя).

Щебень может поставляться в виде отдельных фракций: от 5 до 10 мм; свыше 10 до 20 мм; свыше 20 до 40 мм; свыше 40 до 80 мм и смеси фракций от 5 до 20 мм, от 5 до 40 мм.

Полные остатки на контрольных ситах при расसेве щебня приведены в табл. 1, где d и D – наименьший и наибольший диаметры контрольных сит, соответствующие наименьшим и наибольшим номинальным размерам зерен.

Таблица 1

Полные остатки на контрольных ситах при рассеве щебня

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	d	$0,5(d+D)$	D	$1,25D$
Полные остатки на ситах, % по массе	От 90 до 100	От 30 до 60	До 10	До 0,5

Прочность щебня характеризуется маркой, определяемой по дробимости щебня при сжатии (раздавливании) в цилиндре. Марки по дробимости в зависимости от потери массы при испытании щебня в насыщенном водой состоянии должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 2.

Таблица 2

Марка по дробимости щебня

Марка по дробимости щебня	Потеря массы при испытании щебня в насыщенном водой состоянии, %
600	Свыше 15 до 20
400	>> 20 >> 28
300	>> 28 >> 38

Содержание пылевидных частиц (размером менее 0,05 мм) в щебне марки по дробимости 600 не должно быть более 2% по массе, марки 400 – более 3% по массе, марки 300 – более 4% по массе.

Содержание слабых зерен прочностью менее 20 МПа в щебне марки по дробимости 300 не должно быть более 15%, марки 400 – 10%, марки 600 – 5% по массе.

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы не должно превышать 35% по массе.

Марка по морозостойкости щебня должна быть в диапазоне от F15 до F50 в зависимости

от климатического района строительства и условий его применения [8, 9].

Марка по истираемости щебня, определяемая в полочном барабане, должна быть И3 или И4.

Щебень в составе песчано-щебеночной смеси из дробленого бетона характеризуется следующими показателями качества: содержание вредных компонентов и примесей; содержание слабых зерен прочностью менее 20 МПа; содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы; истираемость в полочном барабане; морозостойкость; водостойкость; пластичность.

Содержание в щебне слабых зерен прочностью менее 20 МПа не должно превышать 10% по массе для марки щебня по дробимости 400 и 5% по массе – для марки щебня по дробимости 600.

Щебень марок по дробимости 400 и 600 в составе смеси характеризуется показателями пластичности и водостойкости.

Марка по пластичности щебня должна быть Пл2 или Пл3, по водостойкости – В1 или В2 [8].

Таким образом, при минимальных затратах на получение основного дорожно-строительного материала – щебня из строительных отходов

можно решить важную проблему строительства и ремонта внутрихозяйственных дорог республики [10, 11].

Лом асфальта также применим при строительстве внутрихозяйственных дорог предварительного превращения его в асфальтогранулят [12], рис. 5.



Рис. 5. Внутрихозяйственная дорога с покрытием из асфальтогранулята

Заключение. Из отходов строительства путем переработки можно получать щебень и асфальтогранулят, которые целесообразно использовать при устройстве твердых покрытий внутрихозяйственных дорог.

Список литературы

1. Государственная программа по развитию и содержанию автомобильных дорог в Республике Беларусь на 2017–2020 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 18 сентября 2017 г., № 699 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C21700699> (дата обращения: 25.10.2020).
2. Славуцкий А. К., Носов В. П. Сельскохозяйственные дороги и площадки. М.: Агропромиздат, 1986. 447 с.
3. Дороги местного значения / Г. А. Кузнецов [и др.]; под ред. Г. А. Кузнецова. М.: Агропромиздат, 1986. 351 с.
4. Бабаскин Ю. Г., Вербило И. Н. Технология дорожного строительства. Минск: БНТУ, 2003. 202 с.
5. Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45-3.03-19-2006 (02250). Введ. 01.07.2006. Минск: Белгипродор, 2006. 47 с.
6. Автомобильные дороги низших технических категорий. Правила проектирования: ТКП 45-3.03-96-2008 (02250). Введ. 01.11.2008. Минск: Белгипродор, 2008. 21 с.
7. Мисюченко В. М. Переработка промышленных отходов и разработка документов для предприятия. Минск: ИВЦ Минфина, 2018. 99 с.
8. Щебень, песок и песчано-щебеночные смеси из дробленого бетона и железобетона. Технические условия: ГОСТ 32495–2013. Введ. Респ. Беларусь 01.03.2016. Минск: Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 2016. 12 с.
9. Строительные материалы / В. Г. Микульский [и др.]; под ред. В. Г. Микульского. М.: АСВ, 1996. 488 с.
10. Указания по оценке прочности и расчету усиления нежестких дорожных одежд (ВСН 52-89). М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1982. 77 с.
11. Мытько Л. Р. Оценка транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог. Минск: ВУЗ-ЮНИТИ, 2001. 200 с.
12. Вавилов А. В., Бугрим К. В. Совершенствование технических средств для проведения текущего ремонта автодорог // Проблемы повышения качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 30–31 мая 2013 г. Минск, 2013. С. 39–42.

References

1. *Gosudarstvennaya programma po razvitiyu i sodержaniyu avtomobil'nykh dorog v Respublike Belarus' na 2017–2020 gody: postanovleniye Soveta Ministrov Respubliki Belarus', 18 sentyabrya 2017 goda,*

№ 699 [State program for the development and maintenance of highways in Belarus for 2017–2020: resolution of the Council of Ministers of the Republic Belarus, September 18, 2017, No. 699]. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C21700699> (accessed 10.25.2020).

2. Slavutsky A. K., Nosov V. P. *Sel'skokhozyaystvennyye dorogi i ploshchadki* [Agricultural roads and sites]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 447 p.

3. *Dorogi mestnogo znacheniya* [Roads of local importance] / G. A. Kuznetsov [et al.]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 351 p.

4. Babaskin Yu. G., Verbilo I. N. *Tekhnologiya dorozhnogo stroitel'stva* [Technology of road construction]. Minsk, BNTU Publ., 2003. 202 p.

5. ТКП 45-3.03-19-2006 (02250). Car roads. Design standards. Minsk, Belgiprodor Publ., 2006. 47 p.

6. ТКП 45-3.03-96-2008 (02250). Highways of lower technical categories. Design rules. Minsk, Belgiprodor Publ., 2008. 21 p.

7. Misyuchenko V. M. *Pererabotka promyshlennykh otkhodov i razrabotka dokumentov dlya predpriyatiya* [Industrial waste processing and development of documents for an enterprise: study guide. allowance]. Minsk, IVTs Minfina Publ., 2018. 99 p.

8. GOST 32495-2013. Crushed stone, sand and sand-crushed stone mixtures from crushed concrete and reinforced concrete. Specifications. Minsk, Gosudarstvennyy komitet po standartizatsii Respubliki Belarus' Publ., 2016. 12 p.

9. Mikulsky V. G. [et al.]. *Stroitel'nyye materialy* [Building materials]. Moscow, ASV Publ., 1996. 488 p.

10. *Ukazaniya po otsenke prochnosti i raschetu usileniya nezhestkikh dorozhnykh odezhd (VSN 52-89)* [Instructions for assessing the strength and calculating the reinforcement of non-rigid road pavements (VSN 52-89)]. Moscow, TsBNTI Minavtodora RSFSR Publ., 1982. 77 p.

11. Mytko L. R. *Otsenka transportno-eksploatatsionnykh kharakteristik avtomobil'nykh dorog* [Assessment of transport and operational characteristics of highways]. Minsk, VUZ-YUNITI Publ., 2001. 200 p.

12. Vavilov A. V., Bugrim K. V. *Sovershenstvovaniye tekhnicheskikh sredstv dlya provedeniya tekushchego remonta avtodorog. Problemy povysheniya kachestva i resursosberezheniya v dorozhnoy ot-rasli: sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Improvement of technical means for the current repair of roads. Problems of improving the quality and resource conservation in the road industry: a collection of proceedings of the international scientific and technical conference]. Minsk, 2013, pp. 39–42 (In Russian).

Информация об авторах

Вавилов Антон Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механизации и автоматизации дорожно-строительного комплекса. Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр-т. Независимости, 65, Республика Беларусь). E-mail: ftkcdm@bntu.by

Дашко Андрей Леонидович – аспирант, старший преподаватель кафедры механизации и автоматизации дорожно-строительного комплекса. Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр-т. Независимости, 65, Республика Беларусь). E-mail: dashkinz7@gmail.com

Замула Андрей Анатольевич – аспирант, старший преподаватель кафедры механизации и автоматизации дорожно-строительного комплекса. Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр-т. Независимости, 65, Республика Беларусь). E-mail: andreizml@gmail.com

Information about the author

Vavilov Anton Vladimirovich – DS (Engineering), Professor, Head of the Department of Mechanization and Automation of the Road Construction Complex. Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ftkcdm@bntu.by

Dashko Andrey Leonidovich – PhD student, Senior Lecturer, the Department of Mechanization and Automation of the Road Construction Complex. Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dashkinz7@gmail.com

Zamula Andrey Anatol'yevich – PhD student, Senior Lecturer, the Department of Mechanization and Automation of the Road Construction Complex. Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: andreizml@gmail.com

Поступила 01.10.2020

УДК 630*363.7

А. В. Вавилов, А. А. Грецкий

Белорусский национальный технический университет

**К МЕТОДИКЕ ИСПЫТАНИЯ МОСТОВЫХ КРАНОВ
ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

На предприятиях лесопромышленного комплекса в производственных цехах широко применяются мостовые краны. Такие краны часто эксплуатируются при работающем подкрановом оборудовании. Мостовые краны для обеспечения их безопасной эксплуатации подвергаются испытаниям. К сожалению, принятая методика испытания мостовых кранов не позволяет обеспечить качественные испытания в условиях действующего подкранового оборудования.

Поскольку в такой ситуации не возможен демонтаж действующего оборудования, предложена методика испытаний кранов в условиях невозможности демонтажа действующего подкранового оборудования.

Ключевые слова: мостовой кран, испытание, подкрановое оборудование лесопромышленный комплекс.

Для цитирования: Вавилов А. В., Грецкий А. А. К методике испытания мостовых кранов лесопромышленного комплекса // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 113–117.

A. V. Vavilov, A. A. Gretski

Belarusian National Technical University

**TO THE METHODS OF TESTING OVERHEAD CRANES
OF THE TIMBER INDUSTRY COMPLEX**

Overhead cranes are widely used at the timber industry enterprises in production workshops. Such cranes are used when operating under crane equipment. To ensure safe operation of overhead cranes they are tested. Unfortunately, the accepted methods of overhead cranes testing do not allow to provide qualitative tests under conditions of the operating under crane equipment.

As in such situation it is not possible to disassemble the operating equipment the methods of cranes testing in the conditions of impossibility to disassemble the operating under crane equipment are offered.

Key words: overhead crane, test, crane equipment.

For citation: Vavilov A. V., Gretski A. A. To the methods of testing overhead cranes of the timber industry complex. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management*. Processing of Renewable Resources, 2021, no. 1 (240), pp. 113–117 (In Russian).

Введение. На предприятиях лесопромышленного комплекса Беларуси в производственных цехах широко применяются мостовые краны [1]. Они эксплуатируются при работающем подкрановом оборудовании. Для обеспечения безопасной эксплуатации их подвергают испытаниям. К сожалению, принятая методика испытания мостовых кранов не обеспечивает качественные испытания в условиях действующего подкранового оборудования. Проведение демонтажа такого оборудования обойдется дорого.

Поскольку демонтаж действующего оборудования дорогой, предложена методика испытаний кранов в условиях невозможности демонтажа действующего подкранового оборудования.

Основная часть. Мостовой кран (рис. 1) имеет мост, который опирается непосредственно на надземный крановый путь. Кран со-

стоит из мостового пролетного строения или балки 1, снабженных концевыми балками с ходовыми тележками 4, передвигающимися по рельсам. Рельсы обычно уложены на подкрановые балки, которые размещены на консольных выступах стен в закрытых помещениях или на колоннах. Механизм подъема груза смонтирован на грузовой тележке 3, перемещающейся вдоль пролетного строения [1]. Такие краны используют как основное подъемно-транспортное оборудование во многих цехах лесопромышленного комплекса [1–10].

На ряде производств ввиду особенностей технологических процессов мостовые краны работают совместно со стационарным технологическим оборудованием, которое размещено под краном.

Для обеспечения промышленной безопасности периодически проводят испытания мостовых кранов.



Рис. 1. Мостовой кран:

- 1 – пролетное строение (мост); 2 – механизм передвижения крана;
 3 – грузовая тележка с механизмами подъема груза и передвижения тележки;
 4 – ходовые колеса моста

Необходимость проведения испытаний грузоподъемного крана в процессе его эксплуатации определена Правилами по обеспечению промышленной безопасности грузоподъемных кранов, утв. Постановлением МЧС Республики Беларусь 22.12.2018 № 66 (далее Правила), в главе 22 «Техническое освидетельствование грузоподъемных кранов» [11–13].

При проведении работ, связанных с испытаниями мостовых кранов по действующей методике, необходим демонтаж подкранового технологического оборудования, что требует существенных затрат.

При техническом освидетельствовании крана обязательно проведение статических и динамических испытаний (П. 374 Правил).

Статические испытания проводятся при положительных результатах осмотра и проверки работоспособности грузоподъемного крана нагрузкой, на 25% превышающей его паспортную грузоподъемность (П. 377 Правил).

Статические испытания мостового крана проводятся следующим образом. Кран устанавливается над опорами кранового пути, а его тележка (тележки) – в положение, отвечающее наибольшему прогибу моста. Контрольный груз поднимается грузоподъемным краном на высоту 100–200 мм и выдерживается в таком положении в течение 10 мин.

По истечении 10 мин груз опускается, после чего проверяется отсутствие трещин, остаточных деформаций и других повреждений металлоконструкций и механизмов грузоподъемного крана. При наличии повреждений,

явившихся следствием испытания, грузоподъемный кран не должен допускаться к работе до выяснения специализированной организацией причин повреждений и определения возможности дальнейшей работы грузоподъемного крана (П. 378 Правил).

Обследование показало, что установка крана в здании не позволяет проводить статические испытания в соответствии с требованиями Правил, невозможно установить кран над опорами кранового пути и выставить контрольный груз на перекрытие пола в положение, отвечающее наибольшему прогибу моста, из-за ограниченности зоны производства работ, размещенного в ней технологического оборудования, недостаточной прочности междуэтажного перекрытия пола.

Ввиду ограниченности рабочей зоны производства работ проведение динамических испытаний крана, согласно требованиям П.381 Правил, в этих условиях не представляется возможным.

Исследованы возможности проведения испытаний крана по Правилам с применением специального универсального испытательного оборудования.

Компьютерное и физическое моделирование испытаний с использованием предложенных конструкций специального оборудования показало, что применение такого оборудования для проведения испытаний также не представляется возможным, так как несет значительные экономические затраты, большие риски и опасности.

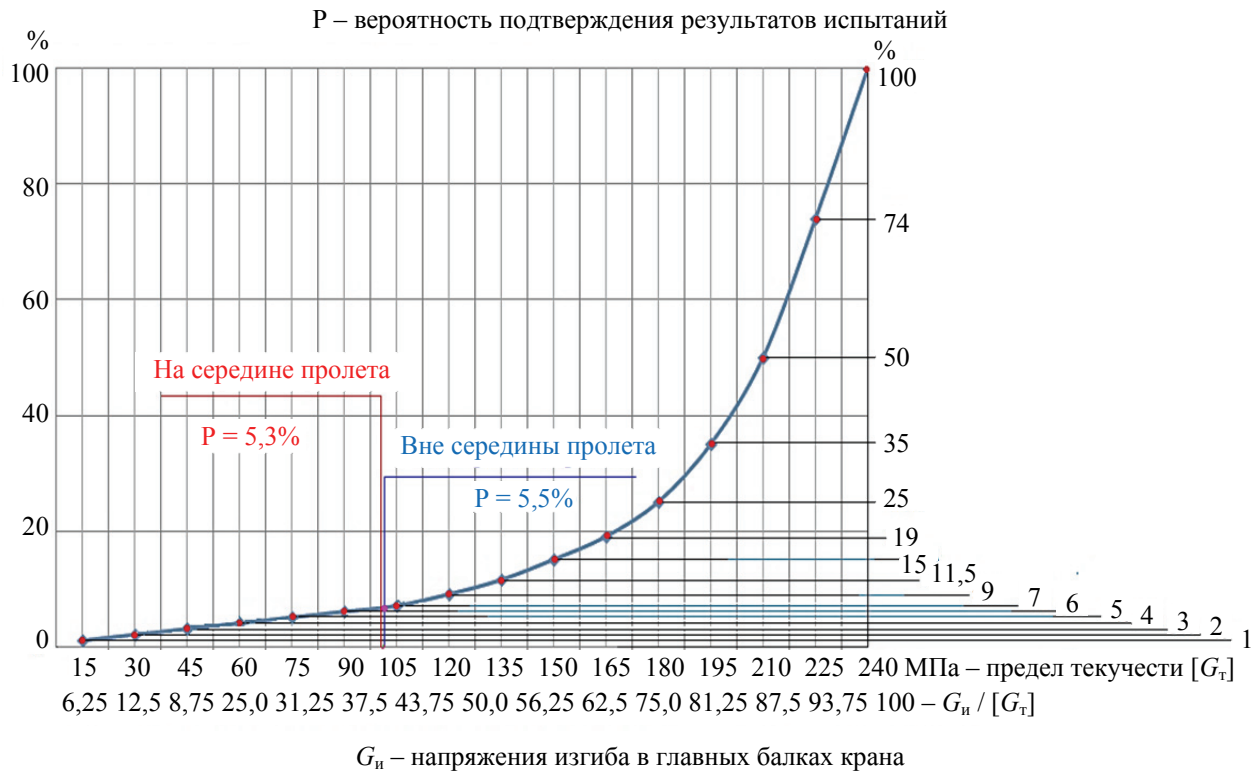


Рис. 2. Кривая Гаусса

В качестве альтернативы рассмотрена возможность проведения статических испытаний с отступлением от Правил.

Кран устанавливается над проемом, имеющимся в перекрытии пола между 1-м и 2-м этажами здания, а его тележка – в положение над проемом, отвечающее максимально возможным нагрузкам и прогибам главных балок моста для этого положения.

Контрольный груз поднимается с испытательной площадки 1-го этажа на высоту 100–200 мм, выдерживается в положении, отвечающим над проемом в течение 10 мин и опускается, после чего проверяется отсутствие трещин, остаточных деформаций и других повреждений металлоконструкций и механизмов крана, затем дается оценка результатов испытаний. Таким образом, критериями положительной оценки результатов испытаний являются: отсутствие остаточных деформаций; трещин; повреждений металлоконструкций и механизмов грузоподъемного крана.

Наиболее вероятным при испытаниях является наличие остаточных деформаций в главных балках при напряжениях изгиба, близких к пределу текучести материала балок, а трещин – при напряжениях, близких к пределу прочности. При достаточных запасах прочности балок – это маловероятно.

Установлено, что при более чем двукратном запасе прочности главных балок отличие отно-

сительных значений изгибающих напряжений при нагружении балок вне середины пролета (над проемом) и при нагружении балок на середине пролета практически не влияет на вероятность положительного результата испытаний, что нормально согласуется с теорией Гаусса, законом нормального распределения погрешностей (повреждений) (рис. 2).

Результаты исследований и выводы подтверждают возможность проведения испытаний крана с отступлением от требований пунктов 378 и 381 Правил в части проведения статических испытаний крана в положении тележки, не отвечающем наибольшему прогибу моста (вне середины пролета), а также без проведения динамических испытаний.

Для сравнительной оценки результатов статических испытаний были проведены исследования и расчеты напряженного состояния главных балок контрольным грузом на середине пролета и вне середины пролета (над проемом) с определением изгибающих моментов, напряжений изгиба, прогибов, запасов прочности балок и анализом полученных результатов.

Заключение. Для обеспечения промышленной безопасности при эксплуатации мостовых кранов и снижения при этом затрат на проведение их испытаний предложена методика испытания таких кранов в условиях невозможности демонтажа действующего подкранового технологического оборудования.

Список литературы

1. Леонович И. И., Котлобай А. Я. Машины для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог. Минск: БНТУ, 2005. 552 с.
2. Трофимов С. П. Механический транспорт деревообрабатывающих предприятий. Минск: БГТУ, 2005. 94 с.
3. Песоцкий А. Н., Ясинский В. С. Проектирование лесопильно-деревообрабатывающих производств. М.: Лесная пром-сть, 1976. 376 с.
4. Технология, механизация и автоматизация строительства / С. С. Атаев [и др.]. М.: Высш. шк., 1990. 592 с.
5. Рябов Г. А. Механизация гидротехнических работ. М.: Колос, 1973. 373 с.
6. Вавилов А. В. Введение в инженерное образование. Минск: БНТУ, 2007. 313 с.
7. Добронравов С. С., Дронов В. Г. Строительные машины и основы автоматизации. М.: Высш. шк., 2001. 575 с.
8. Афанасьев А. А., Данилов Н. Н., Копылов В. Я. Технология строительных процессов. М.: Высш. шк., 2001. 464 с.
9. Добронравов С. С., Добронравов М. С. Строительные машины и оборудование. М.: Высш. шк., 2006. 445 с.
10. Добровский Н. Г., Гальперин М. И. Строительные машины. М.: Высш. шк., 1985. 224 с.
11. Правила по обеспечению промышленной безопасности грузоподъемных кранов: утв. постановлением МЧС Респ. Беларусь, 22.12.2018, № 66 // Департамент по надзору за безопасным ведением работ в промышленности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. URL: <https://gospromnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/d8e/pravila-po-kranam.pdf/> (дата обращения: 30.10.2020).
12. Краны грузоподъемные. Правила и методы испытаний: ГОСТ 31271-2002. Введ. Респ. Беларусь 01.02.2005. Минск: Гос. стандарт Респ. Беларусь, 2005. 12 с.
13. Краны грузоподъемные. Словарь. Ч. 1. Общие положения: ГОСТ 33709.1-2015. Введ. Респ. Беларусь 01.04.2018. Минск: Гос. стандарт Респ. Беларусь, 2018. 48 с.

References

1. Leonovich I. I., Kotlobay A. Ya. *Mashiny dlya stroitel'stva, remonta i sodержaniya avtomobil'nykh dorog* [Machines for construction, repair and maintenance of highways]. Minsk, BNTU Publ., 2005. 552 p.
2. Trofimov S. P. *Mekhanicheskiy transport derevoobrabatyvayushchikh predpriyatiy* [Mechanical transport of woodworking enterprises]. Minsk, BGTU Publ., 2005. 94 p.
3. Pesotskiy A. N., Yasinskiy V. S. *Proyektirovaniye lesopil'no-derevoobrabatyvayushchikh proizvodstv* [Designing of sawmill and woodworking industries]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1976. 376 p.
4. Atayev S. S. [et al.] *Tekhnologiya, mekhanizatsiya i avtomatizatsiya stroitel'stva* [Technology, mechanization and automation of construction]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 592 p.
5. Ryabov G. A. *Mekhanizatsiya gidrotekhnicheskikh rabot* [Mechanization of hydraulic engineering works]. Moscow, Kolos Publ., 1973. 373 p.
6. Vavilov A. V. *Vvedeniye v inzhenernoye obrazovaniye* [Introduction to engineering education]. Minsk, BNTU Publ., 2007. 313 p.
7. Dobronravov S. S., Dronov V. G. *Stroitel'nyye mashiny i osnovy avtomatizatsii* [Construction machines and automation bases]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2001. 575 p.
8. Afanas'yev A. A., Danilov N. N., Kopylov V. Ya. *Tekhnologiya stroitel'nykh protsessov* [Technology of building processes]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2001. 464 p.
9. Dobronravov S. S., Dobronravov M. S. *Stroitel'nyye mashiny i oborudvaniye* [Construction machines and equipment]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2006. 445 p.
10. Dobrovskiy N. G., Galperin M. I. *Stroitel'nyye mashiny* [Construction machines]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1985. 224 p.
11. *Pravila po obespecheniyu promyshlennoy bezopasnosti gruzopod'yemnykh kranov: utv. postanovleniyem MChS Respubliki Belarus, 22.12.2018, № 66* [Rules for ensuring industrial safety of cranes: approved by the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, 22.12.2018, no. 66]. Available at: <https://gospromnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/d8e/pravila-po-kranam.pdf/> (accessed 30.10.2020).

12. GOST 31271-2002. Hoisting cranes. Rules and test methods. Minsk, Gosudarstvennyy standart Respubliki Belarus' Publ., 2005. 12 p.

13. GOST 33709.1-2015. Hoisting cranes. Dictionary. Part 1. General provisions. Minsk, Gosudarstvennyy standart Respubliki Belarus' Publ., 2018. 48 p.

Информация об авторах

Вавилов Антон Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механизации и автоматизации дорожно-строительного комплекса. Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр-т. Независимости, 65, Республика Беларусь). E-mail: ftkcdm@bntu.by

Грецкий Алексей Алексеевич – аспирант, директор НТО «Промтехбезопасность» (220007, г. Минск, ул. Володько, 20, каб. 10, Республика Беларусь). E-mail: ntoptb@mail.ru

Information about the authors

Vavilov Anton Vladimirovich – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Mechanization and Automation of the Road Construction Complex. Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ftkcdm@bntu.by

Gretsky Aleksey Alekseevich – PhD student, director of the NTO “Promtekhbezopasnost” (20, office 10, str. Volodko, 220007, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ntoptb@mail.ru

Поступила 01.10.2020

УДК 630*363.7

А. О. Германович, Е. В. Терешко

Белорусский государственный технологический университет

**МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ
В БАРАБАННОЙ РУБИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ**

В последнее время переработка древесных отходов в топливную щепу при помощи мобильных рубильных машин приобретает важное значение для энергоне­зависимости республики. Существует множество технических характеристик отдельных агрегатов рубильных машин, среди которых зачастую сложно на стадии проектирования выбрать параметры составных агрегатов, а также определить значения основных показателей новой проектируемой мобильной рубильной машины. Измельчение древесинного сырья в щепу – сложный процесс, зависящий от различных факторов. Факторы, определяющие процесс резания древесины, могут относиться как к древесному сырью, так и к режущему органу рубильной машины. Изучение процесса резания древесины усложняется не только из-за наличия большого числа этих факторов, но и в связи с возможностью многочисленных их сочетаний. Эти комбинации создают различные условия для изменения параметров щепы. Чтобы установить степень и характер влияния этих факторов на процесс резания древесины, нужен общий для них критерий. Таким критерием избирают обычно величину усилия (или мощности) резания с учетом качества обработки и величину производительности. Порода древесины и ее физико-механические свойства оказывают существенное влияние на процесс измельчения древесного сырья в щепу, усилие резания и расход энергии. Величина скорости резания оказывает влияние на чистоту среза и качество щепы. Также существенное влияние оказывает площадь среза древесного сырья, которая при проведении проектных расчетов не всегда будет сопоставима с площадью простых фигур.

Ключевые слова: биоэнергетика, измельчение, мощность резания, рубильная машина, щепа.

Для цитирования: Германович А. О., Терешко Е. В. Методика обоснования параметров технологического процесса измельчения стволовой древесины в барабанной рубильной установке // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 118–125.

A. O. Hermanovich, Ye. V. Tereshko

Belarusian State Technological University

**METHODOLOGY JUSTIFICATION PROCESS
PARAMETERS GRINDING STEM WOOD IN THE DRUM CHIPPER**

Recently, the processing of wood waste into wood chips using mobile chippers has become important for the country's energy independence. There is a wide variety of technical characteristics of individual units of chippers, among which it is often difficult to select the parameters of composite units at the design stage and also determine the values of the main indicators of a new designed mobile chipper. Chopping wood raw materials into wood chips is a complex process, depending on various factors. Factors that determine the process of cutting wood can relate to both raw wood and the cutting body of the chipper. The study of the process of cutting wood is complicated not only due to the presence of a large number of these factors, but also due to the possibility of numerous combinations thereof. These combinations create various conditions for changing chip parameters. To establish the degree and nature of the influence of these factors on the process of cutting wood, we need a common criterion for them. This criterion is usually chosen the magnitude of the effort (or power) cutting, taking into account the quality of processing and the value of productivity. Wood species and its physical and mechanical properties have a significant impact on the process of grinding wood raw materials into chips, cutting force and energy consumption. The value of the cutting speed affects the cleanliness of the cut and the quality of the chips. The cutting area of wood raw materials also has a significant effect, which, when carrying out design calculations, will not always be comparable with the area of simple figures.

Key words: bioenergetics, shredding, cutting power, chipper, chips.

For citation: Hermanovich A. O., Tereshko E. V. Methodology justification process parameters grinding stem wood in the drum chipper. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 118–125 (In Russian).

Введение. На сегодняшний день на лесозаготовительных предприятиях республики применяется широкий спектр мобильных рубильных машин, предназначенных для производства топливной щепы, выпускаемых как на отечественных, так и на зарубежных заводах. В процессе создания новой самоходной рубильной машины инженеры-конструкторы сталкиваются с проблемой выбора и обоснования параметров технологического оборудования и самоходного шасси [1–3].

Основная часть. Мобильная рубильная машина представляет сложную конструкцию взаимосвязанных между собой узлов и механизмов. Основным элементом машины является рубильная установка (рис. 1), благодаря которой из древесного сырья получается щепа. Так, древесное сырье загружается на подающий транспортер 1, уплотняется прижимным вальцом 2 и подается к рубильному барабану 3, где посредством контрножа 4, резцов 5 и сита 6, измельчается до нужных размеров в щепу. Полученная щепа при помощи винтового конвейера 7 перемещается к вентилятору 8, который и выдувает ее по щепопроводу 9 к месту складирования. Все эти механизмы рубильной установки через механические (барабан, вентилятор, винтовой конвейер) и гидравлические (подающий транспортер, прижимной валец) передачи приводятся в действие от силовой установки (двигателя) [1, 4–7].

Мощность силовой установки в процессе проектирования рубильной машины определяет дальнейшую эффективность ее работы, связанную с производством щепы. Мощность привода рубильной установки равна сумме

потерь мощности (энергозатрат) в основных ее механизмах:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5, \quad (1)$$

где N_1 – мощность, затрачиваемая на привод подающего транспортера, Вт; N_2 – мощность, затрачиваемая на привод прижимного вальца, Вт; N_3 ($N_{рез}$) – мощность, затрачиваемая непосредственно на процесс измельчения древесного сырья в щепу, Вт; N_4 – мощность, затрачиваемая на привод винтового конвейера, Вт; N_5 – мощность, затрачиваемая на выброс щепы через щепопровод, Вт.

Мощность силы (резанья) $N_{рез}$, приложенной к вращающемуся телу (ножевому барабану), равна произведению вращающего (крутящего) момента $M_{кр}$ этой силы на численное значение угловой скорости ω тела [8, с. 279].

$$N_{рез} = M_{кр} \omega, \quad (2)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент, Н·м; ω – угловая скорость ножевого барабана, рад/с.

Крутящий момент определяется следующим образом [8, с. 279]:

$$M_{кр} = F_p R, \quad (3)$$

где F_p – среднее усилие резания на ножевом барабане, Н; R – радиус ножевого барабана, м.

Угловая скорость ножевого барабана, выраженная через количество оборотов вращения барабана, определяется следующим образом [8, с. 188]:

$$\omega = 2\pi \frac{n}{60} = \frac{\pi n}{30}, \quad (4)$$

где n – число оборотов, совершаемых барабаном за время t , об/мин.

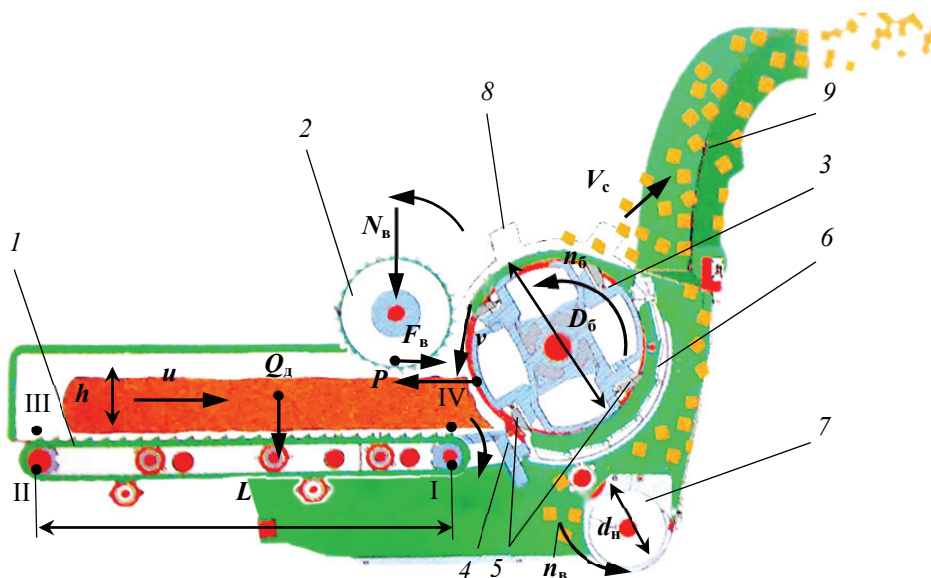


Рис. 1. Расчетная схема рубильной установки:

1 – подающий транспортер; 2 – прижимной валец; 3 – барабан; 4 – контрнож; 5 – резцы; 6 – сито; 7 – винтовой конвейер; 8 – вентилятор; 9 – щепопровод

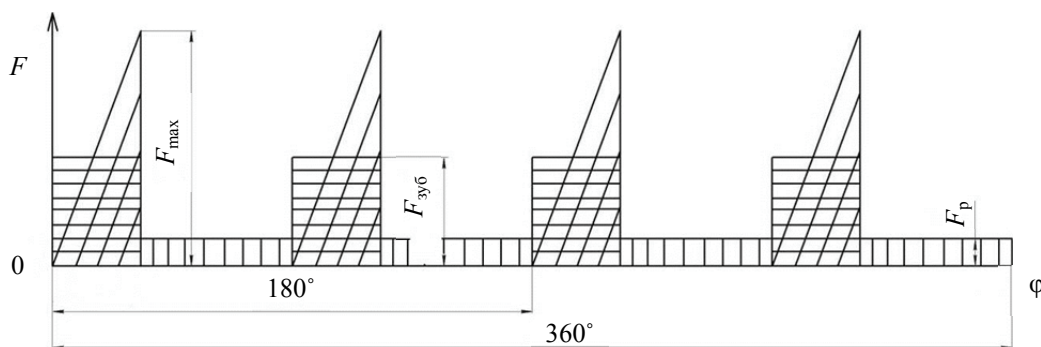


Рис. 2. Схема сил резания при измельчении древесины в щепу

Подставив выражения угловой скорости (4) и крутящего момента (3) в формулу мощности резания (2), получим:

$$N_{\text{рез}} = F_p R \frac{\pi n}{30}. \quad (5)$$

С учетом проведенных ранее исследований рядом других ученых в области энергонасыщенности процесса резания [9, с. 505; 10, 11] можно заметить, что данная зависимость не учитывает такие факторы, как коэффициент трения древесины о барабан μ_6 и КПД передаточного механизма η . По этой причине будет логично учесть данные факторы. В результате формула мощности измельчения древесины в щепу при помощи рубильного барабана примет вид:

$$N_{\text{рез}} = \frac{F_p (1 + \mu_6) R \frac{\pi n}{30}}{\eta} = F_p (1 + \mu_6) R \frac{\pi n}{30 \eta}, \quad (6)$$

где μ_6 – коэффициент трения древесины о барабан ($\mu_6 = 0,2-0,5$); η – КПД передаточного механизма ($\eta = 0,95$).

Для получения щепы в рубильных машинах применяется вид резания в торец. В процессе резания к резцу прикладывается усилие F , величина которого зависит от сопротивления резанию. Значение сопротивления резанию рассчитать довольно сложно, так как оно определяется различными взаимосвязанными факторами, зависящими от формы резца, строения и физико-механических свойств древесины. В процессе измельчения резец внедряется в древесину и снимает передней режущей кромкой слой древесины, тем самым разрушая древесину, отделяя от ее общей массы частицу щепы. Одновременно резец давит на эту частицу и деформирует ее. С увеличением глубины внедрения давление на слой древесины возрастает, и под влиянием упругой деформации частица щепы отделяется от основной массы древесины, при дальнейшем внедрении отделяется следующий элемент щепы. Усилие резания F , которое при-

ложено к резцу, в процессе измельчения древесины изменяется (рис. 2) [10]. Оно достигает максимума при внедрении на глубину и падает до наименьшего значения в момент отделения частицы щепы от основной массы древесины. Такое изменение усилий резания является основной причиной вынужденных колебаний рубильной установки.

По своей абсолютной величине усилие на резце равно равнодействующей всех сил сопротивления резанию, действующих на резец со стороны древесины (усилие на лезвии резца, нормальное давление и сила трения на передней и задней гранях резца).

При получении щепы надвигание производится одновременно с резанием, поэтому усилие резания на рубильном барабане F_p можно определить по формуле Денфера [9, с. 503]:

$$F_p = K b h \frac{u}{v}, \quad (7)$$

где K – коэффициент удельного сопротивления резанию, Н/м^2 ($2-3 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$); b – ширина среза измельчаемого древесного сырья, м; h – высота среза измельчаемого древесного сырья, м; u – скорость подачи древесного сырья, м/с ($u = 0,05-0,50 \text{ м/с}$); v – скорость резания, м/с.

Коэффициент удельного сопротивления резанию K состоит из следующих коэффициентов, учитывающих: K_c – угол резания; K_d – породу древесины; K_o – степень заострения режущих кромок резца; K_e – влияние толщины щепы на сопротивление резанию ($K_e = 1,25$); K_b – влияние влажности древесины на сопротивление резанию (табл. 1–4) [9, с. 274], и выражается следующим образом:

$$K = K_c K_d K_o K_e K_b. \quad (8)$$

Таблица 1

Значения K_c при различном угле резания

Угол резания, град	45	50	60	70	80	90
$K_c, \text{ Н/мм}^2$	17,5	21	25	35	44	53

Таблица 2
Значения K_d при измельчении различных пород древесины

Порода дерева	K_d	Порода дерева	K_d
Сосна	1,0	Береза	1,25
Ель	1,0	Дуб	1,7
Лиственница	1,1	Бук	1,5
Осина	0,85	Липа	0,8

Таблица 3
Значения K_o в зависимости от числа часов работы ножей после заточки

Число часов работы	0	1	1,5	2	3	4	5	6
K_o	1	1,2	1,25	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7

Таблица 4
Значения K_v в зависимости от влажности древесины

Состояние древесины	Влажность, %	K_v
Очень сухая	5–8	1,1
Сухая	10–15	1,00
Воздушно-сухая	20–30	0,93
Свежесрубленная	50–70	0,89
Сырая (сплавная)	>70	0,87

В формуле усилия резания (7) произведение ширины b и высоты h среза измельчаемого древесного сырья является проекцией площади среза: $bh = S$ (рис. 3). Ввиду сложной вогнутой овалообразной формы среза древесного сырья (рис. 4 и 5) ее проекция площади в силовых расчетах (теоретических исследованиях) ранее принималась упрощенно, как площадь загрузочного окна (рис. 3) с учетом его заполнения [9, с. 503]:

$$S = b_1 h_1 k_3, \quad (9)$$

где b_1 и h_1 – ширина и высота загрузочного окна соответственно, м; k_3 – коэффициент заполнения сечения окна, зависящий от плотности укладки измельчаемого древесного сырья ($k_3 = 0,45–0,99$).

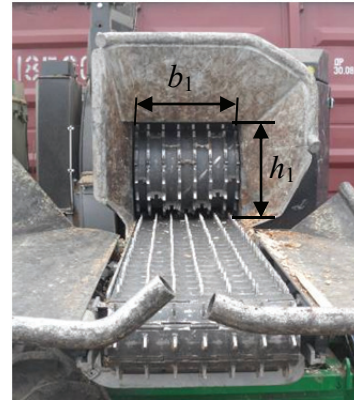


Рис. 3. Прямоугольная форма загрузочного окна



Рис. 4. Вогнутая овалообразная форма среза древесного сырья

Однако при измельчении в барабанных рубильных машинах ствольной древесины площадь среза будет представлять собой поверхность, образованную пересечением двух цилиндров S_o – рубильным барабаном и древесным сырьем (рис. 5). Площадь такой поверхности определим при помощи вычисления поверхностного интеграла первого рода.

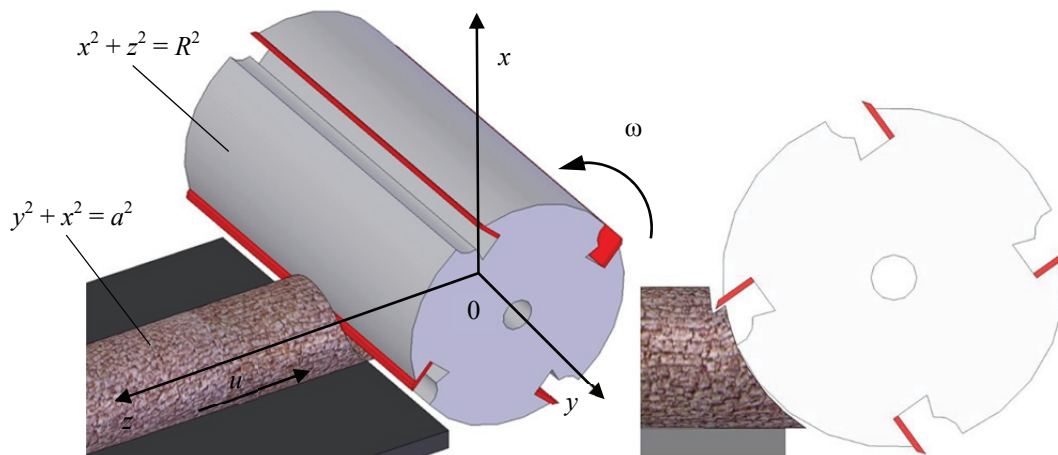


Рис. 5. Расчетная схема измельчения ствольной древесины в барабанной рубильной установке

Вычисление поверхностного интеграла первого рода производится сведением к двойному интегралу [12, 13]. Поверхностный интеграл – обобщенное понятие криволинейного интеграла, при котором интегрирование происходит не по отрезку кривой, а по ограниченной поверхности.

Поверхность Q задана уравнением $z = z(x, y)$, ее проекцией на плоскость xOy является область D_{xy} , при этом функция $z = z(x, y)$ и ее частные производные $z'_x(x, y)$ и $z'_y(x, y)$ непрерывны в области D_{xy} . $f(x, y, z)$ – функция трех переменных, а поверхность S_0 – область интегрирования этой функции. При $f(x, y, z)$, равной единице, поверхностный интеграл равен площади поверхности. Тогда площадь среза S_0 будет выражаться как:

$$\begin{aligned} S_0 &= \iint_Q dS_0 = \iint_Q f(x, y, z) dS_0 = \\ &= \iint_{D_{xy}} \sqrt{1 + (z'_x)^2 + (z'_y)^2} dx dy = \\ &= \left| \begin{array}{l} x^2 + z^2 = R^2 \\ z = -\sqrt{R^2 - x^2} \\ z'_x = \frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}} z'_y = 0 \end{array} \right| = \iint_{x^2 + y^2 = a^2} \frac{R dx dy}{\sqrt{R^2 - x^2}} = \\ &= R \int_{-a}^a \frac{dx}{\sqrt{R^2 - x^2}} \int_{-\sqrt{a^2 - x^2}}^{\sqrt{a^2 - x^2}} dy = 4R \int_0^a \sqrt{\frac{a^2 - x^2}{R^2 - x^2}} dx, \quad (10) \end{aligned}$$

где R – радиус ножевого барабана (вращающегося цилиндра), м; a – радиус древесного сырья в виде стволовой древесины (надвигающегося цилиндра), м.

Выражение (10) справедливо при $a \leq R$.

$$a = d / 2, \quad (11)$$

где d – диаметр древесного сырья (стволовой древесины), м.

Оценка точности разработанной математической зависимости площади среза S_0 стволовой древесины при измельчении в щепу производилась путем сравнения результатов теоретических (полученных при помощи разработанной математической зависимости) исследований с экспериментальными данными (рис. 6) [14, 15]. Рассматривался случай измельчения свежесрубленной стволовой древесины ели диаметром 0,35 м при помощи мобильной рубильной машины «Амкордор 2904», оборудованной рубильной установкой Kesla C645 с диаметром ножевого барабана 0,57 м. В результате относительная

погрешность теоретических и экспериментальных значений не превысила 5%.

Также производился сравнительный анализ теоретических значений, полученных при помощи разработанной математической зависимости, и расчетных значений площади среза S_0 стволовой древесины, полученных путем 3D-моделирования в программном пакете автоматизированного проектирования КОМПАС-3D (рис. 7). В результате относительная погрешность β теоретических и расчетных значений не превысила 0,5% и составила 0,0102%. Полученные оценки погрешности позволяют сделать вывод об удовлетворительной степени сходимости результатов теоретических, экспериментальных, расчетных исследований и, следовательно, о приемлемости разработанной математической зависимости площади среза S_0 стволовой древесины при измельчении в щепу барабанной рубильной машиной.



Рис. 6. Измерение параметров вогнутой овалообразной поверхности среза древесного сырья

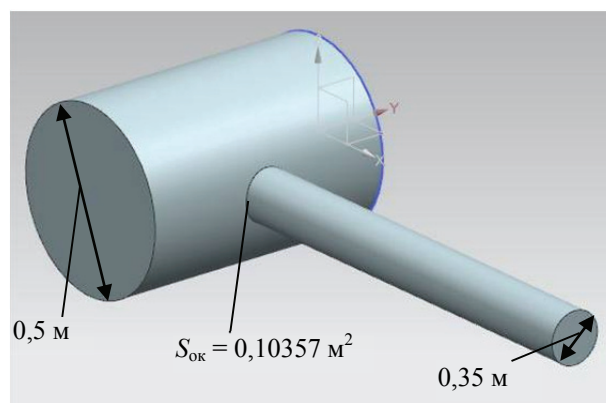


Рис. 7. 3D-модель пересечения двух цилиндров с вычисленной площадью поверхности среза

Также производился сравнительный анализ точности применяемых ранее упрощенных площадей поверхностей среза в виде круга –

$S = \pi a^2$, прямоугольника – формула (9) и вогнутой овалообразной поверхности, полученной при помощи разработанной математической зависимости (10) (рис. 8). Менее приближенная к действительному значению площади среза является зависимость (9), принятая в виде упрощенной поверхности прямоугольника, относительная погрешность такой зависимости составила 17,1% при $k_3 = 0,99$. Относительная погрешность площади среза, принятой в виде упрощенной поверхности круга, составила 7,1%. Таким образом, разработанная математическая зависимость (10) более точна на 7% относительно формулы площади среза в виде круга и на 17% зависимости (9).

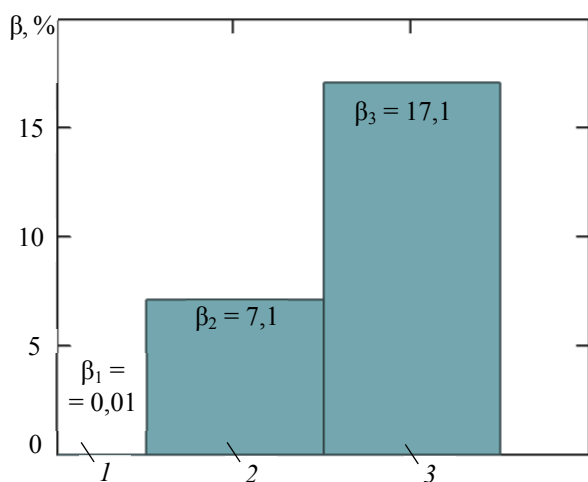


Рис. 8. Относительная погрешность площади среза: 1 – вогнутой овалообразной поверхности, полученной при помощи разработанной математической зависимости; 2 – принятой в виде упрощенной поверхности круга; 3 – принятой в виде упрощенной поверхности прямоугольника

Таким образом, формула (6), используемая для определения усилия резания на рубильном барабане, преобразуется в следующий вид:

$$F_p = KS_o \frac{u}{v}. \quad (12)$$

Скорость резания ножевого барабана, выраженная через угловую скорость, определяется следующим образом [8, с. 192]:

$$v = \omega R. \quad (13)$$

Подставив выражения усилия резания (12), скорости резания (13), угловой скорости, представленную через количество оборотов вращения барабана (4), в формулу мощности резания (6) и проделав соответствующие преобразования, получим:

$$\begin{aligned} N_{рез} &= KS_o \frac{u}{v} (1 + \mu_6) R \frac{\pi n}{30 \eta} = \\ &= KS_o \frac{u}{\omega R} (1 + \mu_6) R \frac{\pi n}{30 \eta} = \\ &= KS_o \frac{u}{\frac{\pi n}{30} R} (1 + \mu_6) R \frac{\pi n}{30 \eta} = \\ &= \frac{KS_o u (1 + \mu_6)}{\eta}. \end{aligned} \quad (14)$$

Окончательно формула мощности резания (14) примет вид после подстановки выражения площади среза S_o (10):

$$N_{рез} = \frac{4RKu(1 + \mu_6)}{\eta} \int_0^a \sqrt{\frac{a^2 - x^2}{R^2 - x^2}} dx. \quad (15)$$

При помощи данной формулы (15) были получены графические отображения влияния на мощность резания таких основных факторов, как радиус древесного сырья, радиус ножевого барабана, скорость подачи древесного сырья (рис. 9–11).

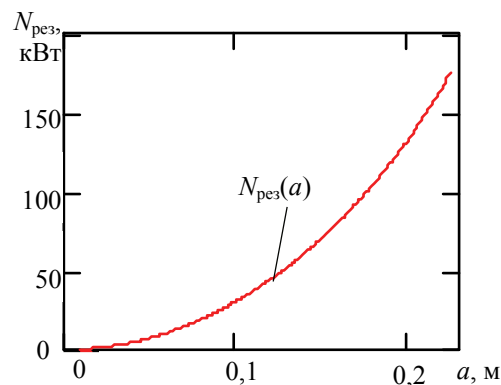


Рис. 9. Изменение мощности резания $N_{рез}$ в зависимости от изменения радиуса древесного сырья a

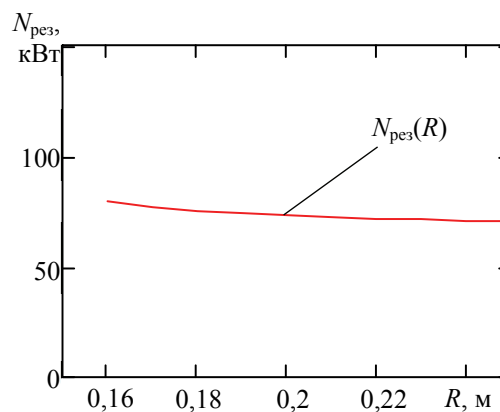


Рис. 10. Изменение мощности резания $N_{рез}$ в зависимости от изменения радиуса ножевого барабана R

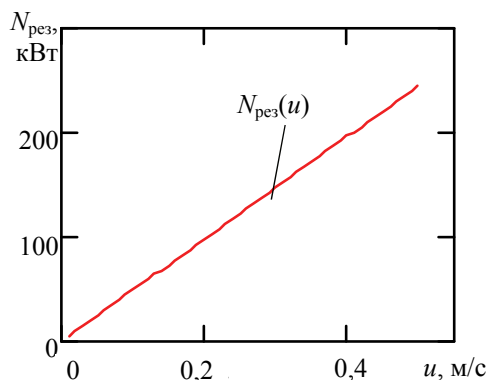


Рис. 11. Изменение мощности резания $N_{рез}$ в зависимости от изменения скорости подачи древесного сырья u

Проанализировав данные зависимости, можно установить, что при увеличении радиуса древесного сырья a от 0,1 м до 0,225 м, мощность резания $N_{рез}$ увеличивается параболиче-

ски до 174 кВт, а вот при увеличении радиуса ножевого барабана R от 0,16 м до 0,25 м (при соблюдении условия $a \leq R$) наблюдается снижение мощности резания $N_{рез}$ до 70,4 кВт. Также наблюдается рост мощности резания $N_{рез}$ при увеличении скорости подачи древесного сырья u .

Заключение. Процесс измельчения древесины является трудоемкой технологической операцией, по этой причине различные математические зависимости содержат ряд поправочных коэффициентов, что снижает точность расчетных величин [9, 10]. Применение разработанной математической зависимости определения площади вогнутой овалообразной поверхности среза древесного сырья стволовой древесины, а также усовершенствование формулы мощности резания (измельчения) позволит увеличить точность проектных расчетов барабанных рубильных машин.

Список литературы

1. Германович А. О. Обоснование параметров мобильной рубильной машины на базе многофункционального шасси для производства топливной щепы: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2015. 158 с.
2. Мохов С. П., Германович А. О. Анализ конструктивных особенностей рубильных машин // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 40–44.
3. Германович А. О. Оценка параметров технологического и тягового модулей рубильной машины на самоходном шасси // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 79–82.
4. Лой В. Н., Германович А. О. Влияние различных характеристик древесного сырья на энергонасыщенность рубильной машины // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 21–24.
5. Германович А. О., Лой В. Н. Выбор мощности автономного двигателя рубильной машины // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 17–18 нояб. 2011 г. Могилев, 2011. С. 145.
6. Влияние характеристик древесного сырья на энергозатраты рубильной машины с верхним выбросом щепы / А. О. Германович [и др.] // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19–22 апр. 2012 г.: в 2 ч. Могилев, 2012. Ч. 2. С. 13–14.
7. Facello A., Cavallo E., Spinelli R. Chipping machines: disc and drum energy requirements // Journal of agricultural engineering. 2013. Vol. XLIV (s2): e75. P. 378–380.
8. Белявский С. М. Теоретическая механика. М.: Высшая школа, 1965. 319 с.
9. Рахманов С. И., Гороховский К. Ф. Машины и оборудование лесоразработок. М.: Лесная пром-сть, 1967. 532 с.
10. Бершадский А. Л., Цветкова Н. И. Резание древесины. Минск: Высшэйшая школа, 1975. 303 с.
11. Вальщиков Н. М. Рубильные машины. СПб.: Машиностроение, 1970. 328 с.
12. Высшая математика. В 2 ч. Ч. 2 / В. М. Марченко [и др.]. Минск: БГТУ, 2014. 337 с.
13. Титаренко В. И., Выск Н. Д. Кратные, криволинейные и поверхностные интегралы. Теория поля. М.: МАТИ-РГТУ, 2006. 73 с.
14. Пижурин А. А., Розенблит М. С. Исследования процессов деревообработки. М.: Лесная пром-сть, 1984. 232 с.
15. Жуков А. В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.

References

1. Germanovich A. O. *Obosnovaniye parametrov mobil'noy rubil'noy mashiny na baze mnogo-funktional'nogo shassi dlya proizvodstva toplivnoy shchepy. Dis. kand. tekhn. nauk* [Parameters substantiation of mobile chipper based on multifunctional chassis for wood chips production. Diss. cand. of engineer. sci.]. Minsk, 2015. 158 p.

2. Mokhov S. P., Germanovich A. O. Analysis of the design features of chipping machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 40–44 (In Russian).

3. Germanovich A. O. Estimation of parameters of technological and traction modules of the chipper on a self-propelled chassis. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 79–82 (In Russian).

4. Loy V. N., Germanovich A. O. Effect of various characteristics of raw wood on energy saturation of the chipper. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 20–23 (In Russian).

5. Germanovich A. O., Loy V. N. Selection of power independent engine chipper. *Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. molodykh uchenykh "Novyye materialy, oborudovaniye i tekhnologii v promyshlennosti"* [Materials of the International scientific and technical conference of young scientists "New materials, equipment and technologies in the industry"]. Mogilev, 2011, p. 145 (In Russian).

6. Germanovich A. O., Loy V. N., Ariko S. Ye., Golyakevich S. A. Influence of characteristics of wood raw material to the energy chipper with overhead discharge chips. *Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. molodykh uchenykh "Materialy, oborudovaniye i resursosberegayushchiye tekhnologii"* [Materials of the International scientific and technical conference of young scientists "Materials, equipment and resource-saving technologies"]. Mogilev, 2012, part 2, pp. 13–14 (In Russian).

7. Facello A., Cavallo E., Spinelli R. Chipping machines: disc and drum energy requirements. *Journal of agricultural engineering*, 2013, vol. XLIV (s2): e75, pp. 378–380.

8. Belyavskiy S. M. *Teoreticheskaya mekhanika* [Theoretical mechanics]. Moscow, Vysheyschaya shkola Publ., 1965. 319 p.

9. Rakhmanov S. I., Gorokhovskiy K. F. *Mashiny i oborudovaniye lesorazrabotok* [Machinery and equipment lumbering]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1967. 532 p.

10. Bershadskiy A. L., Tsvetaeva N. I. *Rezaniye drevesiny* [Wood cutting]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1975. 303 p.

11. Val'shchikov N. M. *Rubitel'nyye mashiny* [Chippers]. St. Petersburg, Mashinostroyeniye Publ., 1970. 328 p.

12. Marchenko V. M., Asmykovich I. K., Borkovskaya I. M., Bochilo N. V., Gorbatovich Zh. N., Ignatenko V. V., Lovenetskaya E. I., Pyzhkova O. N., Solovieva I. F., Yakimenko A. A., Yanovich V. I., Yarotskaya L. D. *Vysschaya matematika* [Higher mathematics]. Minsk, BGTU Publ., 2014, part 2. 337 p.

13. Titarenko V. I., Vysk N. D. *Kratnyye, krivolineynyye i poverkhnostnyye integraly* [Multiple, curvilinear and surface integrals]. Moscow, MATI-RGTU Publ., 2006. – 73 p.

14. Pizhurin A. A., Rozenblit M. S. *Issledovaniya protsessov derevoobrabotki* [Woodworking research]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 232 p.

15. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p.

Информация об авторах

Германович Александр Олегович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: germanovich@belstu.by

Терешко Елена Владимировна – магистр физико-математических наук, ассистент кафедры высшей математики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tereshko@belstu.by

Information about the authors

Hermanovich Aliaksandr Olegovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: germanovich@belstu.by

Tereshko Yelena Vladimirovna – Master of Physical and Mathematical Sciences, assistant lecturer, the Department of Higher Mathematics. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tereshko@belstu.by

Поступила 01.10.2020

УДК 656.073.235

М. Т. Насковец¹, Н. В. Хорошун²¹ Белорусский государственный технологический университет² Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК
В ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Статья включает обзор способов контейнерных грузоперевозок лесозаготовительного производства, которые могут быть использованы на практике и базируются на конструктивном исполнении современного подвижного состава автотранспортных средств, применяемых для перевозки лесных грузов. В частности, рассмотрены технологии выполнения перевозочных процессов на вывозке древесного сырья системой Multilift. Список возможностей транспортной машины с системой погрузки контейнеров Multilift на заготовке леса не ограничен. Дополнительные кузова и контейнеры позволяют устранить из логистической цепочки машины и механизмы, которые не используются непосредственно в процессе лесозаготовки. Это цистерны, емкости для горюче-смазочных материалов с устройствами заправки, мобильные маслозаправочные станции и кузова, модули технической поддержки, ремонта и технического обслуживания, кузова для перевозки персонала, возможность перевозки мобильных домиков для жилья, пожарные модули и т. д. Также использование простых грузовых поддонов позволяет применять машины Multilift для транспортировки техники, например малогабаритных форвардеров и харвестеров. Если шасси под Multilift имеет полноприводную конструкцию с колесной формулой 6К6, как МАЗ, то возможна эвакуация лесозаготовительной техники прямо с делянок.

В статье показана возможность эффективного использования прицепов и полуприцепов в качестве первичных контейнерных транспортных средств в организации доставки лесоматериалов, представлены преимущества сменных контейнеров для вывоза леса, заключающиеся в возможности их использования для разных по назначению кузовов, с разными загрузочными объемами. Дано описание предлагаемой комбинированной системы вывозки сортиментов.

Ключевые слова: лесной комплекс, сортименты, контейнерные перевозки, системы Multilift, прицепы, полуприцепы.

Для цитирования: Насковец М. Т., Хорошун Н. В. Перспективы развития контейнерных грузоперевозок в лесной отрасли Республики Беларусь // Труды БГТУ. Сер.1, Лесное хоз-во, природопользование и переработ. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 126–131.

M. T. Naskovets¹, N. V. Khoroshun²¹ Belarusian State Technological University² Ministry of forestry of the Republic of Belarus**PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF CONTAINER TRANSPORTATION
IN THE FOREST INDUSTRY OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

The article includes the ways of container cargo transportation of logging production, which can be used in practice and are based on the design of modern rolling stock of vehicles used for the transport of forest goods. In particular, the technology of performing transportation processes on the export of wood raw materials by the Multilift system is considered. The list of possibilities of a transport vehicle with the Multilift container loading system for logging is not limited. Additional bodies and containers allow you to eliminate from the logistics chain machines and mechanisms that are not used directly in the logging process. These are tanks, fuel tanks with refueling devices, mobile oil filling stations and bodies, technical support, repair and technical services modules, bodies for personnel transportation, the possibility of transporting mobile houses for housing, fire modules and etc. Also, the use of simple cargo pallets allows you to use Multilift machines for transporting equipment, for example, small forwarders and harvesters. If the chassis under the Multilift has a four-wheel drive design with a 6x6 wheel formula, like MAZ, then it is possible to evacuate logging equipment directly from the plots.

The article shows the possibility of effective use of trailers and semi-trailers as primary container vehicles in the organization of delivery of timber materials, presents the advantages of replaceable containers for the export of timber, which consists in the possibility of using them for different purpose bodies with different loading volumes. The description of the proposed combined system of sorting is given.

Key words: forest complex; sorting; container transportation; multi-lift systems; trailers; semi-trailers.

For citation: Naskovets M. T., Khoroshun N. V. Prospects for the development of container transportation in the forest industry of The Republic of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no 1 (240) pp. 126–131 (In Russian).

Введение. В Беларуси под термином «мультилифт» подразумевают класс автотранспортных средств, оснащенных грузоподъемной системой с продольным перемещением кузова по отношению к шасси [1, 2]. Multilift – это торговая марка финской компании Partek, которая и в настоящее время производит грузоподъемные устройства с этим названием. Во всем мире со словом Multilift ассоциируются подъемники только этой фирмы, а класс автомобилей имеет собственное обозначение. В Германии, например, их называют abrollkipper – самосвалы со скатывающимся кузовом.

До 1980-х гг. в СССР не выпускали автомобили с подобными устройствами [3, 4]. В стране не было острой потребности в таких машинах, да и шасси грузовика собственного производства, пригодного для установки мультилифта тоже не было. Ситуация изменилась только в 1976 г. с началом производства грузовых автомобилей КамАЗ в Набережных Челнах. В числе прочих европейских «кузовных изысков» на КамАЗах появились и подъемники Multilift, которые производили в Финляндии, а устанавливали на шасси в СССР. Продукт советско-финского сотрудничества пришелся автохозяйствам по душе. Число таких машин в парках постепенно увеличивалось, однако все они были одного производителя. Отечественная промышленность не смогла освоить производство этих подъемников, хотя экспериментальные машины выпускали. Название «мультилифт» накрепко связалось у советских водителей со всеми машинами, оснащенными финскими устройствами: подъемников других производителей в СССР не было. После распада СССР такие устройства начали выпускать и отечественные заводы, и многие зарубежные компании [5]. Все их по привычке называли мультилифтами.

Для беспрепятственной погрузки-разгрузки и наклона кузова при самосвальной разгрузке задний свес рамы укорачивался на 50–100 мм. Наклон кузова производился двумя гидроцилиндрами, они же использовались для подъема подрамника при смене кузова. В передней части подрамника размещалась лебедка с гидроприводом и двумя барабанами. При погрузке кузова надрамник поднимался гидроцилиндрами, два троса зацеплялись за специальные проушины кузова, включалась лебедка, и за полторы минуты кузов по специальным роликам втаскивался на надрам-

ник. После этого надрамник опускался и фиксировался рычагом в транспортном положении. Все производимые на сегодняшний день тросовые мультилифты работают по такой же схеме.

У подъемника с крюковым захватом на управляемой отдельным гидроцилиндром Г-образной подвижной балке смонтирован крюк, который захватывает кузов за специальное дышло. В транспортном положении крюк также используется в качестве дополнительного фиксатора. Таким образом, на крюковом мультилифте кузов оказывается закреплен в двух плоскостях, а не в одной, как на мультилифтах других конструкций.

В целях обеспечения безопасности в странах ЕС на сегодняшний день выпускают только подъемники с крюковым механизмом. В тросовом подъемнике велика вероятность травмы людей при обрыве или перехлесте троса. Кроме того, трос со временем ржавеет. Крюковой захват позволяет погрузить кузов, стоящий под углом к продольной оси машины, чего не может обеспечить тросовый механизм, и это сокращает время маневрирования. Кроме того, водитель тросового погрузчика должен обязательно выйти из машины, чтобы зацепить или отцепить трос, а крюковой захват автоматически управляется из кабины автомобиля.

Специализированные автомобили с погрузочно-разгрузочным механизмом «Мультилифт» относятся к категории самопогрузчиков. Они самостоятельно снимают и устанавливают сменные кузова или контейнеры. Такие машины предназначены для перевозки платформ, емкостей или контейнеров.

Основная часть. Мультилифты широко применяются в строительстве, самых разных отраслях промышленности, Вооруженных Силах, органах МЧС, коммунальном хозяйстве и т. д. Мусоровозы и бетоносмесители, цистерны, бортовые платформы, мобильные компакторы – всё это мультилифты. Установленный на одном автомобиле мультилифт позволяет ему ставить различные кузова, емкости, платформы и перевозить в них все виды грузов, в том числе и древесину [6].

Современное лесозаготовительное производство главным образом предусматривает заготовку и вывозку древесины в виде сортиментов. При этом основными технологическими операциями при проведении вывозки заготовленной древесины являются: вывозка форвардерами

или погрузочно-транспортными машинами или сортиментов, их складирование вдоль лесотранспортных путей либо на промежуточных складах и дальнейшая транспортировка лесовозными автопоездами-сортиментовозами. В данном случае следует отметить частый контакт круглых лесоматериалов с поверхностью земляного покрова, в то же время они подвергаются многократной погрузке-разгрузке, что отрицательно сказывается на внешнем виде заготовленной древесины, ее загрязненности, качестве дальнейшей переработки древесины и производительности проведения погрузочных работ. Одним из направлений совершенствования лесотранспортных процессов может являться внедрение для этих целей контейнерных перевозок.

Крюковые погрузчики для транспортировки леса с помощью контейнеров используются в технологической цепочке так называемой «Скандинавской технологии» с использованием пиленого сортимента. Основное отличие сортиментного способа лесозаготовки от хлыстового заключается в том, что раскряжевка стволов происходит прямо в лесу. Для этого используются специальные лесозаготовительные машины харвестеры и форвардеры. Харвестеры в данной технологии занимают главное место. Это multifunctionальные машины, выполняющие комплекс операций по валке и первичной обработке деревьев (обрезка сучьев, раскряжевание) с помощью процессорных головок [7]. Форвардеры – самозагружающиеся машины для перевозки пиленых бревен с участка валки леса [8]. Погрузка заготовленной древесины на этих машинах производится встроенным гидравлическим манипулятором. В дальнейшем круглые лесоматериалы разгружаются на нижнем складе, где на перегрузке используется, как правило, собственный гидроманипулятор либо специальный автопоезд-сортиментовоз перевозит заготовленную древесину для дальнейшей продажи потребителю или для собственного потребления (переработки). На данном этапе перемещения заготовленной древесины имеется возможность ускорить процесс перегрузки древесины с форвардера на сортиментовоз, минуя использование лесопогрузчика или же собственного манипулятора форвардера, делается это путем установки системы мультилифт как на форвардер, так и на автопоезд-сортиментовоз.

Таким образом, возможности самопогрузки с помощью погрузочного механизма мультилифт позволяют устранить из логистической цепочки в технологии вывозки и транспортировки заготовленной древесины такие дорогостоящие машины, как лесопогрузчики, стоимость которых при одинаковой грузоподъемно-

сти с системой мультилифт в три раза больше [9, 10, 11].

Контейнерные перевозки в лесном комплексе апробированы при транспортировке щепы автомобилями производства ОАО «Минский автомобильный завод», оборудованными системой Multilift (рис. 1, а). Для транспортировки заготовленной древесины с применением данного вида транспортных средств разрабатываются различные варианты мультилифт-платформ (рис. 1, б) с установкой на них спереди и сзади щитов для обеспечения устойчивого положения сортиментов при загрузке и выгрузке.

Применение на вывозке таких контейнерных платформ направлено на снижение выше-названных негативных моментов при проведении операций лесозаготовительного процесса и сокращения времени выполнения погрузочно-разгрузочных работ.

Преимущество данного метода заключается в том, что погрузчик должен загружать пачки в поддоны, что исключает время ожидания транспорта и позволяет сократить количество технологических машин, занятых в работе на погрузочных площадках. Также при перегрузке форвардера нет необходимости в промежуточной разгрузке на подклады, находящиеся на земле, – в этом случае разгрузка бревен будет вестись сразу в поддоны. В целом, использование системы мультилифт в сортиментном методе лесозаготовки при условии хорошего развития транспортной сети близ мест лесозаготовки и наличия рядом пунктов отгрузки и переработки древесины позволяет получить большую производительность и снижение издержек в логистической цепочке. Кроме того, сортиментный метод лесозаготовки с использованием мультилифтов предпочтительнее использовать при добыче ценных пород древесины.

Требование повышения производительности одной транспортной машины с устройством мультилифт не является проблемой, достаточно использовать с сортиментовозом дополнительный прицеп, погрузку которого без отцепления также производит головная машина с крюковым погрузчиком, что позволяет перевести сразу два поддона с сортиментом.

Следует также отметить, что в настоящее время традиционно при осуществлении сортиментной перевозки лесных грузов используются автомобили-сортиментовозы с прицепом и седельные тягачи с полуприцепом [12]. В данном случае в качестве прицепного состава выступают прицепы и полуприцепы, которые технологически можно использовать в качестве своего рода платформ для контейнеров с целью накопления древесины. Преимущество рассматриваемого технологического процесса заключа-

ется в том, что тягач, приезжая на промежуточный склад, может отцепить прицеп или полуприцеп, а затем тягачевый автомобиль, прицепив загрузенные либо находящиеся на данном складе прицепные средства, доставляет круглые лесоматериалы к местам их переработки. Когда автопоезд вновь возвращается на склад, то оставленные прицеп или полуприцеп будут снова загрузены для последующей транспортировки. С этой целью в лесхозе или транспортной организации рационально иметь несколько прицепов-платформ и (или) полуприцепов-платформ.

Для более эффективного использования контейнерных систем Multilift при проведении сортиментных грузоперевозок предлагается агрегатировать их дополнительно с прицепами-сортиментовозами (рис. 2).

Как пример, мультилифт, изготовленный заводом на базе шасси МАЗ 6312В9-479-012, двигатель мощностью 412 лошадиных сил и грузоподъемностью 20 т. Palfinger ST-20, используемый в данной модели мультилифт, часто устанавливается на отечественные шасси. Он отлично зарекомендовал себя в эксплуатации. Преимуществами этой системы является мягкость загрузки, высокая безопасность, дополнительная защита рабочих деталей, простота в обращении, оригинально сконструированная кинематика [13]. Крюки высотой 1570 мм снабжены механической защелкой. Кузов блокируется задними гидравлическими замками. Этот крюковой погрузчик позволяет устанавливать несколько кузовов и очень широко применяется в народном хозяйстве, строительстве и других отраслях.



Рис. 1. Вид дополнительного оборудования для системы Multilift: а – кузов-бункер на автомобиле МАЗ 6312; б – грузовая платформа

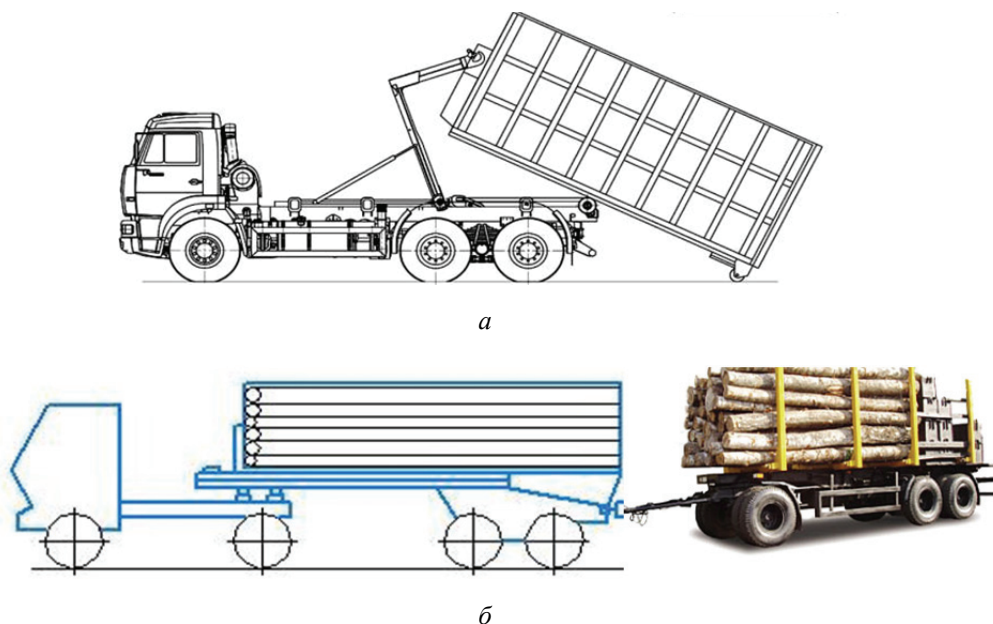


Рис. 2. Комбинированная контейнерная система: а – погрузка-разгрузка платформы системы Multilift; б – комбинированный автопоезд с системой Multilift и прицепом-сортиментовозом

В этой связи отрасль видит значительные преимущества в развитии контейнерных перевозок, технические решения которых можно использовать при строительстве и ремонте лесохозяйственных дорог [14, 15].

Заключение. На основании изложенного можно сделать вывод, что благодаря использованию этого вида спецтехники достигается:

- оптимизация затрат при перевозке грузов за счет их объединения в крупную партию;
- полная механизация погрузочно-разгрузочных работ без привлечения обслуживающего персонала и дополнительной техники;
- защита груза при транспортировке от атмосферного воздействия;
- экономия тары;
- возможность хранения груза в сменном кузове или контейнере при отсутствии склада.

Одновременно транспорт, оснащенный такой системой, имеет ряд преимуществ, значительно повышающих рациональность его использования по сравнению с узкоспециализированными машинами.

Во-первых, благодаря возможности замены одного модуля другим при погрузке сам тягачевый автомобиль может быть задействован на других видах работ. Это полностью решает основную проблему, связанную с погрузочными работами, – проблему простоя.

Во-вторых, точно таким способом решается и вопрос сезонного использования грузового автотранспорта.

В-третьих, такая система предполагает не только возможность использования одного шасси для выполнения различных задач благодаря смене кузова, но и использование одного модуля на нескольких шасси. Благодаря этому решается вопрос замены не вышедшей на линию машины.

В-четвертых, значительно облегчается сам процесс погрузочно-разгрузочных работ, поскольку он может происходить без непосредственного участия транспорта: машины-мультилифты предполагают подъем и установку уже груженого кузова. Что же касается разгрузки, мультилифт может осуществить ее любым удобным способом: самосвальным или путем спуска кузова с грузом.

Список литературы

1. Насковец М. Т. Транспортное освоение лесов Беларуси и компоненты лесотранспорта. Минск: БГТУ, 2010. 178 с.
2. Вавилов А. В. На пути к «системе машин» в целях комплексной механизации строительного комплекса Беларуси // Строительная наука и техника. 2011. № 1. С. 74–75.
3. Бенсон Д., Уайтхед Дж. Транспорт и доставка грузов. М.: Транспорт. 1990. 279 с.
4. Вырко Н. П. Сухопутный транспорт леса. Минск: Вышэйшая школа, 1987. 297 с.
5. Общий курс транспорта / Т. Н. Каликина [и др.]. М.: ФГБУ ДПО «Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2018. 216 с.
6. Вавилов А. В. О необходимости создания системы технологических машин строительного комплекса // Наука и техника. 2014. № 5. С. 82–85.
7. Матвейко А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Минск: Техноперспектива, 2006. 447 с.
8. Матвейко А. П., Клоков Д. В., Протас П. А. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Минск: БГТУ, 2005. 160 с.
9. Курочкин Д. В. Транспортная логистика. Минск: Альфа-книга, 2018. 636 с.
10. Логинова Н. А. Планирование на предприятии транспорта. М.: Инфра-М, 2013. 319 с.
11. Галабурда В. Г., Соколов Ю. И., Королькова Н. В. Управление транспортной системой. М.: ФГБОУ «Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2015. 343 с.
12. Насковец М. Т., Короленя Р. О. Организация перевозок лесной продукции. Минск: БГТУ, 2014. 109 с.
13. Об утверждении межотраслевых правил по охране труда в лесной, деревообрабатывающей промышленности и в лесном хозяйстве Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь: постановление М-ва труда и соц. защиты Респ. Беларусь и М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь от 30 дек. 2008 г. № 211/39 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: [http://www.pravo.by/pdf/2009-147/2009-147\(016-099\).pdf](http://www.pravo.by/pdf/2009-147/2009-147(016-099).pdf) (дата обращения: 24.09.2020).
14. Рекомендации по текущему ремонту и содержанию лесных автомобильных дорог, согласованные М-вом лесного хоз-ва Респ. Беларусь 14 дек. 2015 г. Минск, 2015. 31 с.
15. Лесные автомобильные дороги: нормы проектирования и правила устройства: ТКП 500-2013 (02080): Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2013. 87 с.

References

1. Naskovets M. T. *Transportnoye osvoyeniye lesov Belarusi i komponenty lesotransporta* [Transport development of forests in Belarus and components of the forest transport port]. Minsk, BG TU Publ., 2010. 178 p.
2. Vavilov A. V. *Na puti k "sisteme mashin" v tselyakh kompleksnoy mekhanizatsii stroitel'nogo kompleksa Belarusi* [On the way to the "machinery" for the purposes of comprehensive mechanization of the complex of Belarus].

the construction complex of Belarus. *Stroitel'naya nauka i tekhnika* [Building science and techniques], 2011, no. 1, pp. 74–75 (In Russian).

3. Benson D., Whitehead J. *Transport i dostavka грузов* [Transport and cargo delivery]. Moscow, Transport Publ., 1990. 279 c.

4. Vyrko N. P. *Sukhoputnyy transport lesa* [Land transport timber]. Minsk, Vysheyshaya shkola, 1987. 297 p.

5. Kalikina T. N. [et al]. *Obshchiy kurs transporta* [General course of transport]. Moscow, FGBU DPO “Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte” Publ., 2018. 216 p.

6. Vavilov A. V. About necessary of creation of system of technological machines building complex. *Nauka i tekhnologii* [Science and technology], 2014, no. 5, pp. 82–85 (In Russian).

7. Matveyko A. P. *Tekhnologii i oborudovaniye lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Technology and Equipment timber production]. Minsk, Tekhnoperspektiva Publ., 2006. 447 p.

8. Matveyko A. P., Klovov D. V., Protas P. A. *Tekhnologii i oborudovaniye lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Technology and Equipment timber production]. Minsk, BGTU Publ., 2005. 160 p.

9. Kurochkin D. V. *Trasportnaya logistika* [Transport logistics: practice. manual]. Minsk, Al'fa-kniga Publ., 2018. 636 p.

10. Loginova N. A. *Planirovaniye na predpriyatiyakh transporta* [Planning at the transport enterprise]. Moscow, Infra-M Publ., 2013. 319 p.

11. Galaburda V. G. Sokolov Yu. I., Korolkova N. In. *Upravleniye transportnoy sistemoy* [Managing the transport system]. Moscow, FGBOU “Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte” Publ., 2015. 343 p.

12. Naskovets M. T., Korolenya R. O. *Organizatsiya perevozok lesnoy produktsii* [Organization of transportation of forest products]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 109 p.

13. *Ob utverzhdenii mezhotraslevykh pravil po okhrane truda v lesnoy, derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti i v lesnom khozyaystve Ministerstva lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus': postanovleniye M-va truda i sots. zashchity Resp. Belarus' i M-va lesnogo khoz-va Respubliki Belarus' ot 30 dek. 2008 no. 211/39* [About the approval of intersectoral rules on labor protection in the forest, woodworking industry and in forestry of the Ministry of forestry of Republic of Belarus. Resolution No. 211/39 of the Ministry of labour and social protection of the Republic of Belarus and the Ministry of forestry of the Republic of Belarus of 30 December 2008]. Available at: [http://www.pravo.by/pdf/2009-147/2009-147\(016-099\).pdf](http://www.pravo.by/pdf/2009-147/2009-147(016-099).pdf) (accessed 24.09.2020).

14. *Rekomendatsii po tekushchey remontu i soderzhaniyu lesnykh avtomobil'nykh dorog: soglasovany Ministrestvom lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' 14 dek. 2015* [Recommendations on the current and maintenance of forest roads: approved by the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus of December 15, 2015]. Minsk, Ministrestvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' Publ., 2015. 31 p.

15. ТКР 500-2013 (02080). Forest roads: design standards and rules of the device. Minsk, Ministrestvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' Publ., 2013. 87 p.

Информация об авторах

Насковец Михаил Трофимович – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: naskovets@belstu.by

Хорошун Николай Владимирович – магистр экономических наук, магистр технических наук, начальник отдела промышленного производства управления производства и реализации продукции. Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь (220048, г. Минск, ул. Мясникова, 39, Республика Беларусь). E-mail: kharashun@ministry.mlh.by

Information about the authors

Naskovets Mikhail Trofimovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Professor, the Department of Forest Machinery, Roads and Technologies of Timber Industry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: naskovets@belstu.by

Khoroshun Nikolai Vladimirovich – Master of Economics, Master of Engineering, Head of Industrial Engineering Division of the Production and Sales Department. Ministry of Forestry of the Republic of Belarus (39, Myasnikova str., 220048, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kharashun@ministry.mlh.by

Поступила 19.10.2020

УДК 625.711.84

Ю. И. Мисуно

Белорусский государственный технологический университет

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ
ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ
ЛЕСНЫХ МАШИН С ПОЧВОГРУНТАМИ**

Одним из наиболее важных и актуальных направлений исследований путей совершенствования технологии лесозаготовок с точки зрения минимизации негативного влияния составляющих технологического процесса на компоненты лесной экосистемы является изучение процесса взаимодействия движителей лесных машин с почвогрунтом. По данной тематике было проведено большое количество экспериментальных исследований, в которых применялись различные методы и способы проведения научных исследований для получения достоверных опытных данных. Как показывает анализ литературных источников, для более полного и точного анализа влияния различных факторов на процесс взаимодействия движителя с опорной поверхностью проведение экспериментальных исследований должно включать в себя как определение показателей воздействия движителя на опорную поверхность, а так и изменения состояния почвогрунта в результате проходов лесной техники.

В данной статье приводится описание методики экспериментальных исследований, которая позволяет осуществить комплексную оценку эксплуатационно-экологической совместимости движителей лесных машин с почвогрунтами. Представленная методика включает в себя два этапа по определению параметров воздействия исследуемого движителя, а также степени повреждения лесного почвогрунта в результате выполнения лесосечных работ. Каждый этап включает в себя описание последовательности выполняемых полевых и лабораторных исследований. Дана методика проверки адекватности полученных данных и их сравнительного анализа с результатами теоретических исследований.

Ключевые слова: методика, экспериментальные исследования, форвардер, движитель, лесосека, почвогрунт, воздействие.

Для цитирования: Мисуно Ю. И. Методика экспериментальных исследований по оценке эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 132–140.

Yu. I. Misuno

Belarusian State Technological University

**METHODOLOGY FOR EXPERIMENTAL STUDIES TO ASSESS
THE OPERATIONAL AND ENVIRONMENTAL COMPATIBILITY
OF FOREST MACHINES WITH SOIL**

One of the most important and topical areas of research on ways to improve the technology of logging from the point of view of minimizing the negative impact of the components of the technological process on the components of the forest ecosystem is the study of the process of interaction of the movers of forest machines with soil. A large number of experimental studies have been carried out on this topic, in which various methods and ways of scientific research were used to obtain reliable experimental data. As the analysis of literary sources shows, for a more complete and accurate analysis of the influence of various factors on the process of interaction of the mover with the support surface, experimental research should include both the determination of the indicators of the impact of the mover on the support surface, as well as changes in the state of the soil as a result of the passage of forestry machinery.

This article describes the experimental research methodology, which allows for a comprehensive assessment of the operational and environmental compatibility of forest machine movers with soil. The presented method includes two stages for determining the parameters of the impact of the investigated mover, as well as the degree of damage to forest soil as a result of cutting operations. Each stage includes a description of the sequence of field and laboratory studies performed. A method is given for checking the adequacy of the obtained data and their comparative analysis with the results of theoretical studies.

Key words: methodology, experimental research, forwarder, mover, cutting area, soil, impact.

For citation: Misuno Yu. I. Methodology for experimental studies to assess the operational and environmental compatibility of forest machines with soil. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 132–140 (In Russian).

Введение. Область научных исследований, направленная на изучение влияния объектов лесозаготовительного производства на обеспечение экологической безопасности компонентов лесной экосистемы, остается актуальной уже на протяжении нескольких десятков лет [1, 2]. Дальнейшее развитие на основе принципов устойчивого лесопользования и лесопользования диктует жесткие требования для лесозаготовителей. С учетом данных тенденций повышение эффективности лесозаготовительного производства, организации выполнения лесосечных работ и обеспечение экологической безопасности компонентов лесной экосистемы при использовании специализированной техники возможно не только за счет накопления производственного опыта, но и благодаря всестороннему изучению взаимодействия всех компонентов лесозаготовительного производства друг на друга.

Одним из наиболее важных и актуальных направлений исследований путей совершенствования технологий лесозаготовок является минимизация негативного воздействия лесных машин на почвогрунт [3–5]. По данной тематике существует большое количество экспериментальных исследований, в которых применялись различные методы и способы проведения научных исследований для получения достоверных опытных данных.

Как показывает анализ литературных источников [3–11], экспериментальная часть научных исследований включает в себя выполнение работ в полевых и лабораторных условиях. В полевых производственных условиях получают данные о воздействии движителей лесных машин на почвогрунт (параметры колеи, степень минерализации) и физико-механических характеристик лесного почвогрунта (модуль упругости, модуль деформации, индекс конуса). Кроме того, осуществляется отбор проб почвогрунта для изучения изменения его параметров после прохода машин (влажность, плотность, пористость и др.), а также определения его прочностных показателей в лабораторных условиях.

Методика и последовательность выполнения таких испытаний приведены в большом количестве работ [6–8]. Различие между ними заключается в основном в природно-климатических условиях, где проходят исследования, а также в типе и конструктивных особенностях применяемых лесотранспортных и лесозаготовительных машин.

Также для определения некоторых параметров взаимодействия движителя с почвогрунтом, например площади контакта, давления движителя на опорное основание, буксования и др., проводятся стендовые испытания, которые

позволяют выполнить имитационное моделирование, варьируя параметры как движителя, так и опорного основания. В качестве примера можно отметить возможность использования грунтового канала (рис. 1) [9], различное измерительное оборудование, например, прототип платформы для нагрузочных испытаний лесных машин (рис. 2) [10], сетчатый датчик для измерения распределения давления в зоне контакта движителя с опорным основанием, а также площади отпечатка колеса при статической нагрузке на колесо (рис. 3) [11].



Рис. 1. Грунтовый канал кафедры ЛМДиТЛП (БГТУ)



Рис. 2. Прототип платформы для нагрузочных испытаний лесных машин

Проведение полевых экспериментальных исследований позволяет получить большее количество данных о воздействии конкретных лесных

машин в определенных природно-производственных условиях движения по сравнению с лабораторными испытаниями путем имитационного моделирования. Но ввиду их многообразия такие исследования являются трудозатратными. И не каждая научно-исследовательская работа может быть обеспечена необходимым объемом финансирования для закупки стендового оборудования.



Рис. 3. Сетчатый датчик для определения параметров зоны контакта колеса с опорной поверхностью

В данной работе на основании анализа результатов научных исследований, материалов по теме разработаны методы проведения экспериментальных исследований по оценке эксплуатационно-экологической совместимости двигателей лесных машин с почвогрунтами.

Основная часть. Основная задача экспериментальных исследований заключается в изучении основных факторов, влияющих на совместимость лесных машин и почвогрунта при проведении лесозаготовительных работ на лесосеке. Кроме того, полученные результаты экспериментов позволяют получить подтверждение теоретических исследований и провести проверку адекватности разрабатываемой математической модели.

Разработка плана эксперимента осуществлялась по следующему алгоритму.

1. Формулировка цели и задач эксперимента.
2. Выбор объектов исследования.
 - определение исследуемых факторов и диапазона варьирования параметров;
 - выбор и обоснование средств измерений;
 - тарировка и поверка оборудования;

- обоснование объема эксперимента, числа опытов;
- определение порядка и последовательности проведения опытов;
- непосредственное выполнение экспериментов;
- выбор и обоснование способов обработки и анализа результатов.

В соответствии с приведенным алгоритмом и направлением исследований далее дается описание разработанного плана методики экспериментальных исследований.

Целью экспериментальных исследований является получение необходимых данных в условиях производства для того, чтобы оценить влияние двигателей лесных машин на почвогрунт.

Объектами экспериментальных исследований являются лесотранспортные машины, выполняющие переместительные операции (в основном это специализированные или прицепные форвардеры, трелевочные трактора), их двигатель и лесной почвогрунт.

Проведение экспериментальных исследований включает в себя 2 этапа (рис. 4 и 5). Суть и содержание представленных этапов следующая.

Этап 1. Определение давления колес на опорное основание, распределение нагрузки на колеса форвардера при выполнении погрузочно-разгрузочных операций, а также в зависимости от рейсовой нагрузки. Изучение влияния конструктивных особенностей шин на почвогрунт.

Этап 2. Оценка повреждения почвогрунта на лесосеке после проведения лесосечных работ. Этап включает исследование основных показателей (плотность почвогрунта, модуль деформации, глубина колеи и др.), по которым можно выполнить оценку воздействия колесного двигателя форвардера на почвогрунт в реальных эксплуатационных условиях.

Для обеспечения получения более точных результатов необходимо провести минимальное число повторений опытов, при котором среднее арифметическое, найденное по всей выборке, отличалось бы от математического ожидания не более чем на заданную величину максимальной ошибки. Тогда требуемое количество опытов определяется по формуле [12]

$$n = \frac{t^2 s^2}{\Delta^2}, \quad (1)$$

где t – критерий Стьюдента; s^2 – оценка дисперсии; Δ – максимальная ошибка при измерениях.

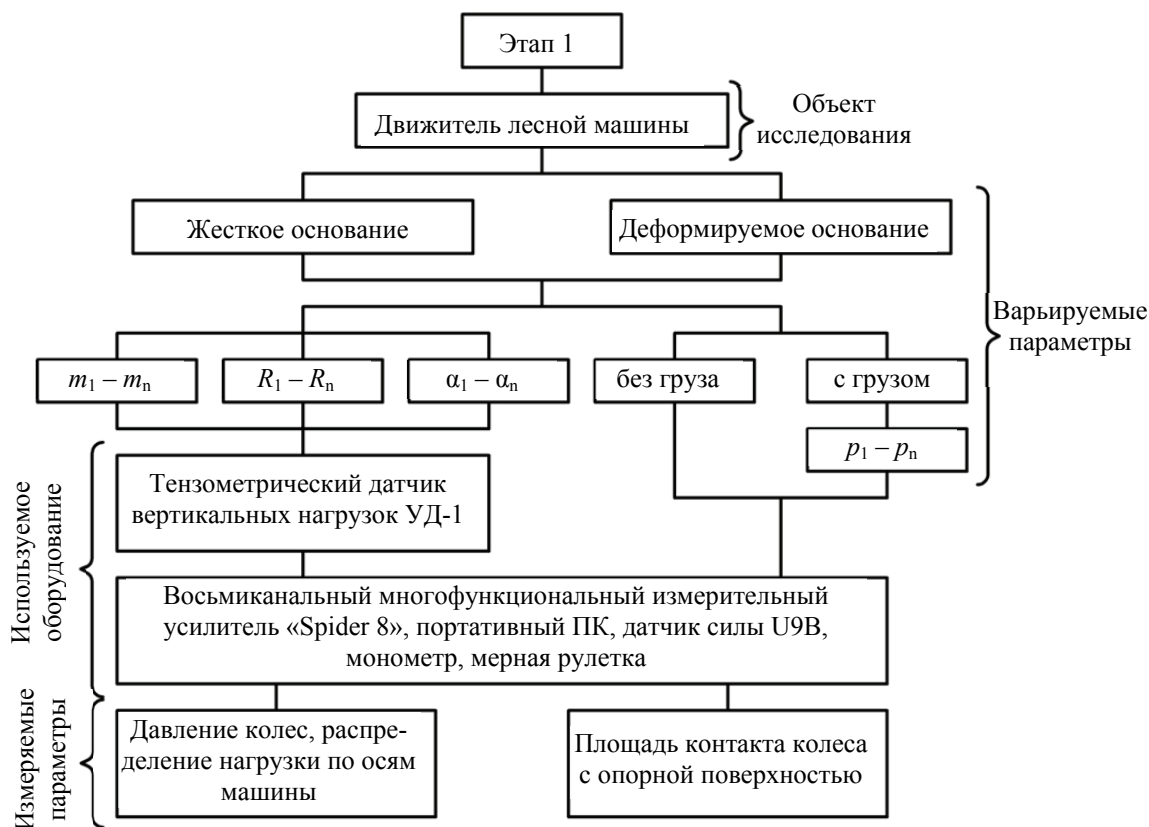


Рис. 4. Схема проведения экспериментальных исследований по оценке воздействия двигателя форвардера на опорное основание (этап 1)

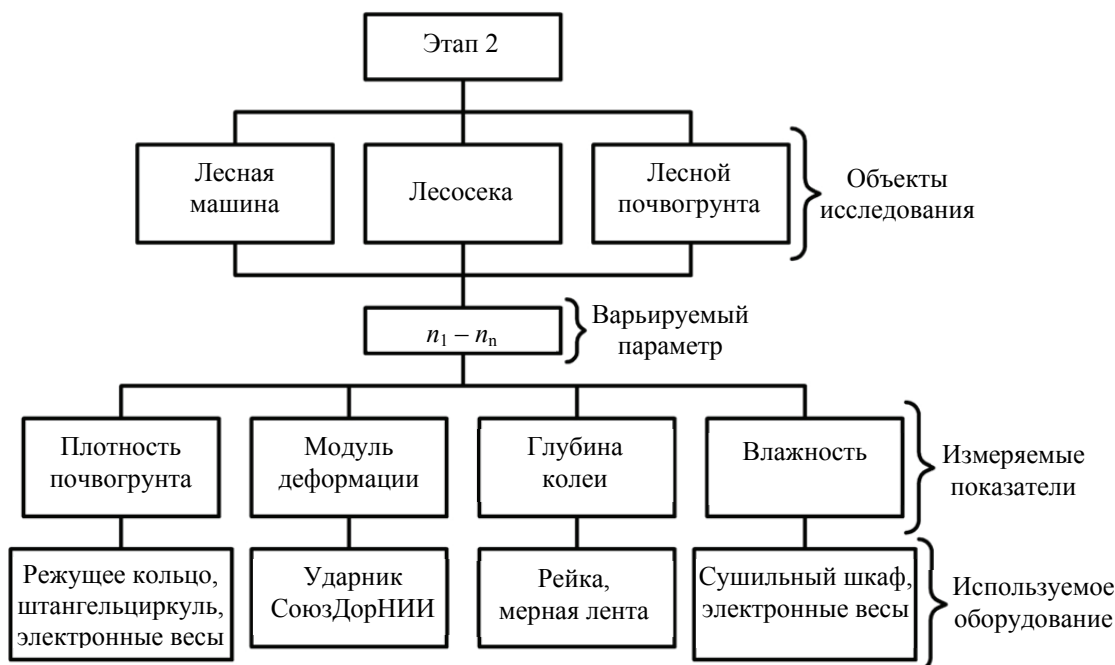


Рис. 5. Схема проведения экспериментальных исследований по оценке степени повреждения почвогрунта в результате проведения лесосечных работ (этап 2)

Измерительное оборудование. При проведении экспериментальных исследований по оценке давления и распределения нагрузки на ось для записи параметров использовалась

измерительная аппаратура в составе восьмиканального многофункционального измерительного усилителя Spider 8 и портативного переносного компьютера (рис. 6). Регистрация

силовых параметров производилась тензометрическими датчиками вертикальных нагрузок УД-1 (рис. 7). Для определения массы сортиментов использовался датчик силы U9B (рис. 8) фирмы «НВМ».

Питание измерительного комплекса осуществлялось от аккумуляторов «Зубр Standard» (60Ah).



Рис. 6. Измерительное оборудование в составе многофункционального измерительного усилителя Spider 8 и портативного ПК



Рис. 7. Тензометрические датчики вертикальных нагрузок УД 1



Рис. 8. Датчик силы UB9

Программное обеспечение Catman позволяло настраивать, производить тарировку и проверку работоспособности датчиков. Запись измеряемых параметров осуществлялась на жесткий диск компьютера и сопровождалась графической визуализацией процесса. Для каждого канала была установлена частота опроса датчиков 50 Гц. В результате измерений получены мас-

сивы значений измеряемых параметров в цифровом формате, соответствующие реальному времени с дискретностью 0,02 с. Регистрация определяемого параметра производилась тензометрическим методом с относительной погрешностью 0,5%. Обработка полученных массивов данных осуществлялась с помощью методов математической статистики.

При проведении экспериментальных исследований соблюдались требования техники безопасности, в соответствии с которыми измерительное оборудование располагалось на расстоянии 20 м от места проведения работ.

Для определения характеристик исследуемого почвогрунта в условиях лесосеки использовались режущее кольцо, ударник СоюзДорНИИ, рулетка (рис. 9).



Рис. 9. Оборудование для определения характеристик лесного почвогрунта в полевых условиях:

a – режущее кольцо;
б – ударник СоюзДорНИИ; *в* – рулетка

Кроме того, для количественной оценки характеристик почвогрунта проводился ряд лабораторных исследований. При этом использовались штангенциркуль, электронные весы и сушильный шкаф.

Методика выполнения экспериментальных исследований. Одним из основных критериев оценки совместимости движителя с опорной поверхностью является давление. Сведение данного показателя до минимума позволит обеспечить не только щадящий режим работы техники на лесных почвогрунтах, в том числе и на слабых, но и высокие показатели проходимости машин и их производительности.

Потому задача 1-го этапа исследований – оценка влияния выполнения погрузочно-раз-

грузочных и трелевочных работ форвардера на реакцию опорного основания и на распределение нагрузок по осям машин. При этом дополнительно должно быть изучено влияние геометрических характеристик шин и рейсовой нагрузки на величину площади отпечатка колеса на жестком основании и на внутреннее давление воздуха в шине.

Подробное описание последовательности выполнения данного этапа исследований было выполнено ранее [13].

2-й этап исследований включает в себя определение изменения характеристик почвогрунта и его деформации на лесосеке в результате проезда техники. Изменяемыми величинами в данном случае являются плотность почвогрунта, влажность, модуль деформации и глубина колеи.

Местом проведения соответствующих исследований является лесосека после выполнения основных лесосечных работ. По материалам отвода изучаются таксационные показатели лесосеки, а по данным технологической карты – принятый технологический процесс и система машин для разработки лесосеки.

Исследования степени повреждения лесного почвогрунта включают в себя отбор проб почвогрунта для определения влажности и плотности в лабораторных условиях, а также проведение замеров на лесосеке модуля деформации и глубины колеи. Последовательность выполнения полевых и лабораторных работ следующая.

Первоначально составляется предварительная схема расположения трелевочных волоков на лесосеке с указанием прямолинейных и криволинейных участков. Одновременно с этим определяются размеры трелевочных волоков путем измерения их длины и средней ширины. Средняя ширина пасечных и магистральных волоков находится путем выполнения замеров через каждые 10–20 м (в зависимости от длины волока). Произведением длины волоков на их среднюю ширину определяется общая площадь трелевочных волоков. Аналогичным образом определяется площадь других технологических элементов лесосеки.

Процентное соотношение площади технологических элементов от общей площади лесосеки находится как соотношение суммарной площади всех технологических элементов лесосеки к общей ее площади.

После производится измерение характеристик почвогрунта. Плотность почвогрунта определяется методом режущего кольца, который позволяет установить плотность связных грунтов, легко поддающихся вырезке, а также и в том случае, когда объем и форма отбираемого

образца грунта могут быть сохранены только при помощи жесткой тары. Исследования проводятся методом парного сравнения, при котором плотность почвы в колее сравнивается с контрольным неуплотненным участком возле колеи.

При помощи режущего кольца берутся пробы почвогрунта в колее и на контрольных неуплотненных участках, которые затем помещаются в герметичные пакеты.

После, уже в лабораторных условиях, определяется естественная влажность и плотность образцов почвы. Для определения плотности используются штангенциркуль и электронные весы. При помощи штангенциркуля измеряются внутренний диаметр, высота кольца и по формуле рассчитывается его объем:

$$V = \pi r^2 h, \quad (2)$$

где r – радиус режущего кольца, м; h – высота режущего кольца, м.

На электронных весах измеряется масса взятых при помощи режущего кольца проб почвогрунта. В итоге плотность почвогрунта определяется путем деления массы пробы на объем кольца.

Определение естественной влажности почвогрунта выполняется сушильно-весовым методом. Для этого используются бюксы, электронные весы и сушильный шкаф. Образцы почвогрунта после предварительного взвешивания помещаются в сушильный шкаф, в котором поддерживается температура 100–105°C. Образцы высушиваются до постоянной массы, которая устанавливается периодическим взвешиванием.

Величина влажности почвогрунта в процентах определяется по формуле

$$W = \frac{m_b - m_c}{m_c - m_6} 100, \quad (3)$$

где m_b – масса влажного грунта и бюксы, г; m_c – масса высушенного грунта (до постоянного веса) и бюксы, г; m_6 – масса бюксы, г.

Модуль деформации почвогрунта определяется в колее и на контрольном участке с помощью ударника СоюзДорНИИ. Принцип действия ударника основан на погружении наконечника в грунт на глубину 0,1 м при определенном числе ударов груза весом 25 Н о шайбу при свободном падении с высоты 0,4 м.

Модуль деформации рассчитывается в зависимости от числа ударов N по формуле Бируля:

$$E_0 = 1,55N. \quad (4)$$

Деформация почвы (или глубина колеи) измеряется отдельно для левой и правой колеи

с помощью рейки и линейки с точностью до 0,1 см.

Обработка результатов. Результаты экспериментальных исследований представляют собой выборку статистических данных, обработка которых позволяет определить закономерности между постоянными и варьируемыми параметрами, а также значения, характеризующие исследуемый процесс.

Обработка результатов экспериментальных исследований осуществляется в следующей последовательности.

1. Исключение из выборок аномальных результатов исследований.

2. Проверка однородности дисперсий.

3. Определение оценок коэффициентов регрессионной модели.

4. Проверка значимости коэффициентов регрессионной модели, отбрасывание незначимых членов модели и повторное определение оценок коэффициентов модели, если план эксперимента не ортогональный.

5. Определение дисперсии воспроизводимости опытов, дисперсии адекватности и проверка адекватности модели опытным данным [12].

Адекватность полученных данных экспериментальных исследований и сравнительной их оценки с результатами математического моделирования процесса взаимодействия движителя с почвогрунтом устанавливается на этапе проверки однородности дисперсий. Для чего определяется соотношение между дисперсией адекватности s_1^2 , получаемой на основании результатов экспериментальных исследований, и дисперсией воспроизводимости s_2^2 (результаты математического моделирования). Для этого может быть использован критерий Фишера, который позволяет проверить нуль-гипотезу о равенстве двух генеральных дисперсий σ_1^2 и σ_2^2 .

Если вычисленное отношение критерия

$$F_{\text{расч}} = s_1^2 / s_2^2 \quad (5)$$

меньше критического $F_{\text{кр}}$, определяемого по таблице для соответствующих степеней свободы и при заданном уровне значимости, то нуль-гипотеза принимается. В противном случае гипотеза отвергается. Если выборочная дисперсия неадекватности не проходит оценки дисперсии воспроизводимости, тогда F -отношение меньше (или равно) единицы и неравенство $F < F_{\text{кр}}$ выполняется для любого числа степеней свободы, то есть гипотеза $\sigma_1^2 \leq \sigma_2^2$ не противоречит экспериментальным данным и математическая модель адекватно описывает исследуемый процесс [12, 14].

Заключение. Планирование и организация проведения экспериментальных исследований

должны обеспечить получение необходимого количества точных сведений и данных об исследуемых объектах и процессах. При разработке методики проведения экспериментов по оценке работы лесозаготовительных машин и их влияния на лесной почвогрунт следует учесть большое количество параметров и условий их взаимодействия: тип движителя и его конструктивные параметры, тип почвогрунта и его характеристики, природно-климатические условия и т. д. Поэтому первоначально важно установить с точки зрения наибольшего влияния, какие параметры следует определить и в каких условиях должны проводиться эксперименты, чтобы обеспечить достаточно точное математическое описание исследуемого процесса.

Еще одним условием при планировании экспериментов является наличие необходимых средств и материальных ресурсов: измерительного оборудования, полномасштабных объектов исследований, производственной базы, лабораторий и т. д.

В соответствии с этим разработка и планирование экспериментальных исследований должны базироваться на следующих основных принципах:

- использование имеющейся научно-исследовательской базы;

- обеспечение получения необходимого количества данных с возможностью исследований влияния на них различных факторов;

- обеспечение точности получаемых данных.

Представленная в данной работе методика экспериментальных исследований позволяет решить большинство задач, проводимых в рамках научной работы по оценке эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами. Поэтапное проведение исследований, которое включает в себя работу в естественных производственных условиях, в лабораториях и на специальных площадках (полигонах), позволяет изучить влияние случайных факторов на процесс взаимодействия движителя лесной машины с почвогрунтом и провести варьирование различных параметров в контролируемых условиях, что дает возможность обеспечить точность полученных данных.

Дальнейшая работа будет связана с увеличением диапазона исследуемых типажей и параметров движителей, а также условий их эксплуатации. Одновременно с этим ведется работа по включению дополнительного этапа исследований по определению показателя буксования при движении лесных машин в различных условиях, а также работоспособности трелевочных волоков (или их транспортной способности) методом пенетрации.

Список литературы

1. Агейкин Я. С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981. 232 с.
2. Беккер М. С. Введение в теорию систем местность – машина. М.: Машиностроение, 1973. 520 с.
3. Сюнев В. С., Давыдков Г. А. Воздействие машин на лесные почвы // *Resources and Technology*. 2001. № 3. С. 88–91.
4. Котиков В. М. Воздействие лесозаготовительных машин на лесные почвы: автореф. ... д-ра техн. наук. М., 1993. 37 с.
5. Федоренчик А. С. Экологические особенности проектирования и использования лесной техники // Актуальные вопросы стратегии развития лесного хозяйства Беларуси: материалы респ. науч.-практ. семинара, пос. Ждановичи, 10 апр. 2012 г. Минск, 2012. С. 79–87.
6. Solgi A., Najafi A., Sam Daliri H. Assessment of Crawler Tractor Effects on Soil Surface Properties // *Caspian J. Env. sci*. 2013. Vol. 11, no. 2. P. 185–194.
7. Soil disturbance caused by ground-based skidding at different soil moisture conditions in Northern Iran / R. Naghdi [et al.] // *International Journal of Forest Engineering*. 2016. Vol. 27, no. 3. P. 169–178.
8. Rutting and soil displacement caused by 450C Timber Jack wheeled skidder (Asalem forest northern Iran) / R. Naghdi [et al.] // *Journal of forest science*. 2009. No. 55. P. 177–183.
9. Протас П. А. Актуализация лесосырьевого потенциала обеспечением эксплуатационно-экологической совместимости систем машин с почвогрунтами на принципах устойчивого лесопользования: автореф. ... канд. техн. наук. Минск, 2010. 24 с.
10. Labelle E. R., Jaeger D. Effects of steel flexible tracks on forwarder peak load distribution: results from a prototype load test platform // *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2019. No. 40. P. 1–23.
11. Influence of wheel load and tire inflation pressure on footprint area in static regime / N. Ungureanu [et al.] // *Actual Tasks on Agricultural Engineering: materials on the 44th International Symposium*, Opatija, 23–26 Febr. 2016. Opatija, Croatia. 2016. P. 99–110.
12. Родионов П. М. Основы научных исследований. Л., 1989. 100 с.
13. Протас П. А., Мисуно Ю. И. Исследование давления колесного движителя форвардера «АМКОДОР 2661-01» на опорную поверхность // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов*. 2017. № 2. С. 251–258.
14. Матыс В. Г., Жилинский В. В. Основы научных исследований и инновационной деятельности. Минск: БГТУ, 2016. 161 с.

References

1. Ageykin Ya. S. *Prokhdimost' avtomobiley* [Passability of cars]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1981. 232 p.
2. Bekker M. S. *Vvedeniye v teoriyu sistem mestnost' – mashina* [An Introduction to Terrain – Machine Systems Theory]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1973. 520 p.
3. Syuney V. S., Davydkov G. A. Impact of machines on forest soils. *Resources and Technology*, 2001, no. 3, pp. 88–91 (In Russian).
4. Kotikov V. M. *Vozdeystviye lesozagotovitel'nykh mashin na lesnyye pochvy. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Impact of forestry machines on forest soils. Abstract of thesis cand. of engineer. sci.]. Moscow, 1993. 15 p.
5. Fedorenchik A. S. Environmental features of the design and use of forestry equipment. *Materialy respublikanskogo nauchno-prakticheskogo seminara "Aktual'nyye voprosy strategii razvitiya lesnogo khozyaystva Belarusi"* [Materials of the Republican Scientific and Practical Seminar "Topical Issues of the Strategy for the Development of Forestry in Belarus"]. Minsk, 2012, pp. 79–87 (In Russian).
6. Solgi A., Najafi A., Sam Daliri H. Assessment of Crawler Tractor Effects on Soil Surface Properties. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 2013, vol. 11, no. 2, pp. 185–194.
7. Naghdi R., Solgi A., Zenner E. K., Tsiaras P., Nikooy M. Soil disturbance caused by ground-based skidding at different soil moisture conditions in Northern Iran. *International Journal of Forest Engineering*, 2016, vol. 27, no. 3, pp. 169–178.
8. Naghdi R., Bagheri I., Lotfalian M., Setodeh B. Rutting and soil displacement caused by 450C Timber Jack wheeled skidder (Asalem forest northern Iran). *Journal of forest science*, 2009, no. 55, pp. 177–183.
9. Protas P. A. *Aktualizatsiya lesosyr'yevogo potentsiala obespecheniyem ekspluatatsionno-ekologicheskoy sovместimosti sistem mashin s pochvogruntami na printsipah ustoychivogo lesopol'zovaniya. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Actualization of the forest raw material potential by ensuring the operational and environmental compatibility of machine systems with soil based on the principles of sustainable forest management. Abstract of thesis cand. of engineer. sci.]. Minsk, 2017. 24 p.

10. Labelle E. R., Jaeger D. Effects of steel flexible tracks on forwarder peak load distribution: results from a prototype load test platform. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2019, no. 40, pp. 1–23.

11. Ungureanu N., Vladut V., Voicu G., Biris S., Ionescu M., Dincă M., Vlăduț D. I., Matache M. G. Influence of wheel load and tire inflation pressure on footprint area in static regime. *Actual Tasks on Agricultural Engineering: materials on the 44th International Symposium*, 2016, pp. 99–110.

12. Rodionov P. M. *Osnovy nauchnykh issledovaniy* [Fundamentals of Scientific Research]. Leningrad, 1989. 100 p.

13. Protas P. A., Misuno Yu. I. Investigation of pressure of the forwarder “AMKODOR 2661-01” wheeler on the base surface. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2017, no. 2, pp. 251–258 (In Russian).

14. Matys V. G., Zhilinskiy V. V. *Osnovy nauchnykh issledovaniy i innovatsionnoy deyatel'nosti* [Fundamentals of Research and Innovation]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 161 p.

Информация об авторе

Мисуно Юлия Игоревна – аспирант кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: julia.misuno@yandex.ru

Information about the author

Misuno Yuliya Igorevna – PhD student, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: julia.misuno@yandex.ru

Поступила 19.10.2020

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УДК 674.81

Z. Pásztor¹, Z. Börcsök¹, I. K. Bazhelka², A. A. Kanavalava², O. V. Meleshko³

¹University of Sopron (Hungary)

²Department Belarusian State Technological University

³FLLC “Unomedical”

THERMAL INSULATION PANELS FROM TREE BARK

To reduce the energy consumption of buildings, natural-based insulation materials are being investigated today. The annual million tones amount of bark waste allows it to be used as an alternative material with the least impact on the environment. Various additives are being investigated to improve the physical and mechanical properties of bark insulation panels. In this study, the mechanical, physical, thermal properties of 11 types of composite insulating panels from the bark of the Pannónia poplar (*Populus × euramericana* cv. *Pannónia*) were manufactured and investigated. The bark panels were supplemented and reinforced by short glass fibers, overlaying fibreglass mesh, fibreglass mat and fibreglass woven fabric and two types of paper, as well as an inner glass fiber mesh. The target density of the panels was 350 kg/m³, and the thermal conductivity of the panels varied from 0.067 to 0.078 W/mK. Although the thermal conductivity of artificial insulation materials is lower, panels made of natural materials have less impact on the environment. Glass fiber reinforcement had little effect on thermal conductivity and mechanical properties. The preliminary heat treatment of the raw material influenced the thermal conductivity due to changing the structure and the appearance of cavities. It had an effect on the density that determines thermal conductivity.

Key words: tree bark, thermal insulation, reinforcement, glass fiber.

For citation: Pásztor Z., Börcsök Z., Bazhelka I. K., Kanavalova A. A., Meleshko O. V. Thermal insulation panels from tree bark. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing Renewable of Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 141–149.

З. Пастори¹, З. Бёрчэк¹, И. К. Божелко², А. А. Коновалова², О. В. Мелешко³

¹Университет Шопрона (Венгрия)

²Белорусский государственный технологический университет

³ИООО “Уномедикал”

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПАНЕЛИ ИЗ ДРЕВЕСНОЙ КОРЫ

Чтобы снизить энергопотребление зданий, сегодня исследуются изоляционные материалы на натуральной основе. Ежегодное количество отходов коры в миллионы тонн позволяет использовать его в качестве альтернативного материала с наименьшим воздействием на окружающую среду. Изучаются различные добавки для улучшения физико-механических свойств изоляционных панелей из коры. В этом исследовании были изготовлены и исследованы механические, физические и термические свойства 11 типов композитных изоляционных панелей из коры тополя Паннония (*Populus × euramericana* cv. *Pannónia*). Панели из коры были дополнены и усилены короткими стекловолокнами, наложенными на них сеткой, матом и тканью из стекловолокна, двумя типами бумаги, а также внутренней сеткой из стекловолокна. Целевая плотность панелей составляла 350 кг/м³, а теплопроводность панелей варьировалась от 0,067 до 0,078 Вт/мК. Хотя теплопроводность искусственных изоляционных материалов ниже, панели из натуральных материалов оказывают меньшее воздействие на окружающую среду. Армирование стекловолокном оказало небольшое воздействие на теплопроводность и механические свойства. Предварительная термообработка сырья повлияла на плотность материала, определяющую теплопроводность.

Ключевые слова: кора дерева, теплоизоляция, армирование, стекловолокно.

Для цитирования: Пастори З., Бёрчэк З., Божелко И. К., Коновалова А. А., Мелешко О. В. Теплоизоляционные панели из древесной коры // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 141–149.

Introduction. As most researchers have accepted climate change, reducing energy consumption has become more important. Buildings in total, are reported to consume 40% of the EU's total energy demand and produce about 35% of greenhouse emissions. The improvement of energy efficiency on the existing and new buildings could be achieved by enhancing the thermal performance of building envelopes such as walls, roofs and floors [1]. As the environmental aspects come into the fore, the importance of natural-based, recyclable materials and solutions is increasing, and therefore the research of natural-based insulation materials is continuous.

Several studies have investigated insulation of natural materials made from cotton stalk fibers [2] to wheat straw [3]. Insulation made of plant particles or fibers have $0.037\text{--}0.065\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ thermal conductivity [4]. Bark was also among the investigated materials [5]. Each year million tons of bark are generated during wood processing globally [6]. According to several studies, bark panels have worse physical and mechanical properties than wood panels, but they can be improved [7]. In panels made of mixed wood-bark, increasing the bark content deteriorated the physical and mechanical properties of the panel [8]. Bark with long fibers is more suitable for manufacturing panels [9]. It is important to note that the increase in bark content caused a decrease in the formaldehyde released by the panels [10].

The resulting weakness of the mechanical properties of the manufactured bark-based panels can be improved by reinforcement of bark particle boards with common synthetic polymer fibres such as glass, carbon, basalt and aramid fibres. Research on iberglass reinforced wood products started in the 1960s, with wood-fibreglass composite beams by Wangaard (1964) and Biblis (1965). Since then, iberglass has been used by many researchers as external bonding, internal bonding, or near surface bonding reinforcement to increase the flexural stiffness and strength of wood composites, including MDF boards [11], plywood [12], laminated strand lumber [13], laminated veneer lumber [14] and glulam timbers. Glass fibres have been examined as inside reinforcing filaments in cement and concrete composites [15] and wood-plastic composites [16].

The thermal conductivity of wood and wood products is influenced by many factors: density, moisture content, chemical composition, porosity, grain direction, etc. [17]. Heat treatment of wood improves the dimensional stability of wood by reducing equilibrium moisture content, water uptake, and thickness swelling; while some strength properties decrease [18]. Thermal conductivity also decreases after thermal treatment [19].

Abbreviations

TS	thickness swelling (%)
WA	water uptake (wt %)
EMC	equilibrium moisture content (%)
ρ	density (kg/m^3)
λ	thermal conductivity ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)
MOE	modulus of elasticity (MPa)
MOR	modulus of rupture (MPa)
IB	internal bond (MPa)

Main part. Materials.

1. The raw material was bark slabs of Pannónia poplar (*Populus × euramericana* cv. *Pannónia*) without separation of the inner and outer bark, peeled off from poplar trees at a local sawmill, in Sopron, Hungary. The bark parts were reduced in size and chopped into particles using a hammer mill equipped with 8-mm screening holes. Afterwards, the bark particles were fractionated (3 PRO Fritsch Analysette) with different sieves, bark particles ranging from 0.5 mm to 8 mm were collected to manufacture bark-based panels and dried until a final moisture content of 6–9% was reached.

2. For heat pre-treatment the raw material was heated to 180°C. According to the heating schedule, the bark chips were heated from room temperature to 95°C in 1 hour, from 95°C to 130°C in another 2 hours, the 180°C top temperature was achieved after half an hour. Three different treatment durations (keeping temperature) were used which lasted 1 (T1), 2 (T2) and 3 (T3) hours. When cooling, the thermal inertia of the chamber was taken advantage of, so the specimens were cooled to 25°C in about 15 hours.

3. For surface reinforcement, three main commercial forms of iberglass, i.e. iberglass mesh (GFRP1), iberglass mat (GFRP2) and iberglass woven fabric (GFRP3) were used as surface layers in the analysis of the proposed panels. Two types of paper sheets, one thicker double layer recycled paper (P1) and a thinner thermomechanical pulp (TMP) coated paper (P2) also were used as reinforcement, and were bonded with urea-formaldehyde resin and pressed on both sides of the bark-based insulation panels. Their main properties, grammage (g) and tensile index (TI), were tested according to TAPPI T 410 (1998) and TAPPI T 494 (1996) standards, respectively.

The wetting behaviour of the surfaces of the paper sheets was characterized according to TAPPI T458 (2004) using a 68-76 PocketGoniometer PGX+ model. Static measurements of contact angles (CA) and immersional wetting calculations (ΔG_i) were carried out with distilled water and DIM (3,3'-Diindolylmethane) (Table 1).

4. For under surface reinforcement, two fiberglass mesh sheets with different grid sizes (M1 and M2, respectively) suitable as reinforcement materials were supplied by Tolnatext Bt. (Tolna, Hungary). Their main characteristics are given in Table 2.

Table 1

Sheet thicknesses and main properties of the paper sheets used in the research, according to TAPPI standards

Types of paper sheets	Sheet thickness, μm	Sheet grammage, g/m^2	MD ¹ tensile index, Nm/g	CD ² Tensile index, Nm/g	CA,		$\Delta G, \text{mJ}\cdot\text{m}^{-2}$	
					Upper	Glued	Upper	Glued
P1	278	194	60.19	22.28	109.8	71.4	24.66	23.22
P2	116	88.6	53.62	30.32	96.5	113.9	8.24	29.49

¹MD – machine direction.²CD – cross direction.

Table 3

Main properties of glass fibres

Product Code	Type of fibres	Filament diameter, microns	Linear density, Tex	MC, %	Breaking strength, gf/tex
EC 14-300-350	E-glass Silane modified	14.0 ± 1.5	300 ± 15	<0.20	>45

5. The E-glass fibre roving used for this study was supplied by PD Tatneft-Alabuga Fiberglass LLC (Yelabuga, Russia). We manually cut lengths of 12 mm (GF_12), 18 mm (GF_18), 24 mm (GF_24) and 30 mm (GF_30) from the fibreglass roving cylindrical packages. The main properties of the glass fibres used in this work are given in Table 3.

Table 2

Basic properties of fiberglass meshes used in this work

Properties	(M1)	(M2)
Weight, g	75	53
Grid size, mm	3.0×2.5	4.4×4.2
Tensile strength, N/5 cm	Warp	350
	Weft	760

6. The commercial UF resin and hardener used in this work was purchased from DUKOL Ostrava s.r.o. (Kronores CB 1104 D).

Panel production. The different panel version is prescribed under the paragraph below signed by letters in brackets.

1. A 4% urea-formaldehyde resin was used for the production of core-layered, bark-based panels. An aqueous solution (35%) of ammonium sulfate used as a hardener (3% solid content) was added to catalyze the resin curing. The bark particles were mixed with the resin system in a laboratory blender for 5 min to ensure a homogeneous mixture. Thereafter, the resin/bark particles mixture was formed into a wood frame mould; the mixture was manually pre-compacted and then the frame was removed.

Bark based insulation panels 500×500 mm, a nominal thickness of 20 mm and a target density of 350 kg/m^3 were produced using a laboratory hot press (Siempelkamp). The pressing time was 18 se-

conds per final thickness in millimeter, and the temperature of the plates were 180°C . The pressure of the plates initially was 2.86 MPa which was reduced after 120 seconds to 2 MPa, and after 240 seconds to 1.15 MPa to reduce the vapor pressure. Without these steps the vapor could damage the panel.

2. Each fiberglass type mat was overlaid on the top and bottom faces of the bark-based panels after hot pressing. The assembled GFRP structures were then bonded onto core layers using a 2K epoxy resin (Elan-tech EC 152; W152 HR) to form the panel. The epoxy-based adhesive was brushed onto the surface of bark panel and also onto GFRP layers. The GFRP material which was equal in length to the panel dimensions, was glued onto it by a roller. After the hand lay-up process, bonding and simultaneous curing of fiberglass overlays to the core layer was made in a press applying 0.2 MPa pressure at ambient temperature for 24 hours.

Paper overlaid insulation panels were prepared in a one-step process, since paper sheets were hot pressed simultaneously onto the mat layer of bark particles. Paper sheets were applied to the bottom and upper surfaces during the manual formation of the panels. An identical UF resin mixture as used in the bark particles, was spread on the surface of papers using a brush before they were heat compressed.

3. The fiberglass meshes were placed under the surfaces of the panels around 2 mm from both surfaces.

4. The randomly oriented, chopped glass fibres with the prepared lengths were added and homogenized with the bark particles and adhesive in a laboratory type blender for five minutes, before pressing.

5. Panels from heat-treated bark particles were manufactured the same way as the control panels, see point 1.

Thermal conductivity was measured across the thickness of the panel by a heat flow meter using a controlled hot-plate apparatus. The thermal conductivity can be calculated at steady state conditions by measuring the heat flux.

Bulk density (ρ) was measured on the same samples used for the mechanical tests, as the average of at least fifteen specimens. The density of each panel was individually measured at current moisture content at the time of the mechanical bending test.

Dimensional stability of the specimens regarding thickness swelling (TS) and water absorption (WA) after immersion in water for 2 and 24 hours was calculated according to European standard EN 317 [1993]. Twelve specimens with 50×50 mm dimensions were weighed and their thicknesses were measured with a level of accuracy of 0.01 g and 0.1 mm, respectively.

The standard mechanical properties of bark-based panels were characterized using a universal testing machine, Instron 5506, according to the appropriate European Standards. These include bending strength and modulus of elasticity (EN 310), and surface soundness (SS) test to assess the quality of bonding between the overlaid mats and bark-based core layer (EN 311). The tensile strength perpendicular to the surface (internal bond, IB) was determined according to EN 319:1993. The specimens were prepared from different areas of the board and cut according to EN 326-1 European standard.

The analysis of variance (ANOVA) was applied using Statistica13 software (TIBCO Software Inc., USA) to statistically evaluate the influence of the reinforcements. Analysis was done only inside the groups. All data were checked for normality (Shapiro – Wilk test) and homogeneity of variance (Levene's test), at 5%

significance level. Post hoc tests were conducted with Tukey's HSD test method.

Measurement results and standard deviations are shown in Tables 4 and 5. The density of most of the panels was higher than the target density (350 kg/m³), and ranged from 336 to 413 kg/m³, which is due to the inhomogeneity of the laboratory conditions. Since the surface fiberglass reinforcements were subsequently glued to the previously made panels, their density is significantly higher than that of the other panels. The same amount of starting material was used in the production of the panels made of heat-treated raw material, and the target density was the same (350 kg/m³), so differences in density are due to laboratory conditions. The density of the panels made of treated bark 1, 2 and 3 hours and the control panels were 336, 349, 352, and 336 kg/m³ respectively.

The thermal conductivity of the control panels was 0.067 W/m·K and the conductivity of the reinforced panels ranged from 0.067 to 0.078 W/mK. It is known that the thermal conductivity is strongly influenced by the density of the wood panels, because the amount of the solid content increases with density and heat can be transferred in such panels by heat bridges between the particles. The graph (Figure), shows that not only the density influences the thermal conductivity, but also the panel type has a great influence on it. Within a panel type, density does affect thermal conductivity, but the extent of this (slope of the line) varies between types. It should be noted, however, that due to the small number of measurement points, this cannot be stated with absolute certainty. The thermal conductivity of the reinforced panels was not statistically significantly different, even though the mean values of the reinforced panels were different.

Table 4

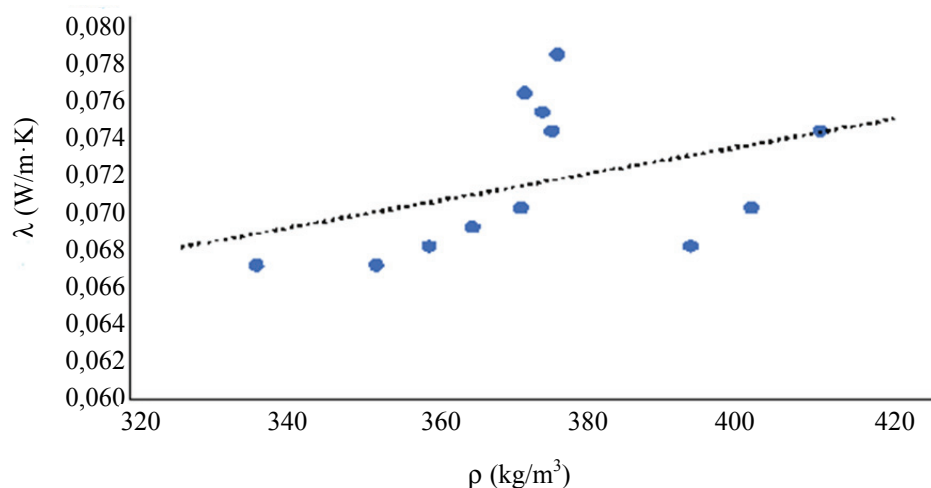
The physical and mechanical properties of panels, pretreated for different durations (T1, T2, T3 = 1, 2, 3 hours) and control (C)

Properties	C	T1	T2	T3
Physical properties:				
ρ , kg/m ³	336.80 (±22.95)	336.40 (±13.53)	349.78 (±20.73)	352.29 (±12.74)
EMC, %	8.88 (±0.22)	8.33 (±0.22)	8.44 (±0.21)	7.66 (±0.17)
WA, wt %	217.89 (±48.0)	185.57 (±23.58)	123.19 (±25.93)	100.61 (±34.82)
T, %	18.18 (±3.09)	10.68 (±2.49)	7.65 (±1.49)	5.45 (±0.72)
Thermal properties:				
λ , W/m·K	0.067 (±0.004)	0.064 (±0.003)	0.065 (±0.005)	0.067 (±0.001)
Mechanical properties:				
MOR, MPa	0.54 (±0.17)	0.45 (±0.09)	0.89 (±0.21)	1.08 (±0.22)
MOE, GPa	0.28 (±0.08)	0.22 (±0.03)	0.41 (±0.13)	0.56 (±0.06)
IB, MPa	0.037 (±0.014)	0.032 (±0.018)	0.039 (±0.009)	0.047 (±0.014)

Table 5

Properties of the glass fiber reinforced panels and control panels

Properties	Control	P1	P2	GFRP1	GFRP2	GFRP3	GF_12	GF_18	GF_24	GF_30	M1	M2
Physical properties: ρ , kg/m ³	336.80 (± 22.95)	360.24 (± 17.57)	353.06 (± 14.67)	413.07 (± 23.77)	395.69 (± 18.66)	403.71 (± 26.97)	376.89 (± 19.46)	375.60 (± 14.82)	377.63 (± 12.47)	373.21 (± 15.80)	372.68 (± 30.93)	366.14 (± 10.90)
EMC, %	8.88 (± 0.17)	9.12 (± 0.15)	9.60 (± 0.36)	9.29 (± 0.28)	9.51 (± 0.56)	9.64 (± 0.23)	9.66 (± 0.84)	10.18 (± 0.09)	9.86 (± 0.27)	9.58 (± 0.28)	9.66 (± 0.30)	9.43 (± 0.30)
WA, wt %	218.37 (± 28.03)	159.32 (± 6.98)	210.87 (± 42.45)	147.03 (± 24.04)	161.34 (± 23.53)	152.83 (± 22.96)	193.23 (± 28.05)	173.87 (± 16.91)	177.54 (± 18.29)	190.94 (± 26.26)	207.61 (± 35.91)	182.73 (± 8.37)
TS, %	18.18 (± 3.09)	12.39 (± 0.86)	16.90 (± 2.40)	13.76 (± 2.90)	9.78 (± 2.14)	9.63 (± 1.37)	8.88 (± 1.12)	9.18 (± 0.80)	9.14 (± 1.15)	9.28 (± 0.88)	16.83 (± 2.62)	15.83 (± 1.43)
Thermal properties: λ , W/m·K	0.067 (± 0.004)	0.068 (± 0.001)	0.067 (± 0.004)	0.074 (± 0.002)	0.068 (± 0.001)	0.070 (± 0.004)	0.074 (± 0.007)	0.075 (± 0.002)	0.078 (± 0.004)	0.076 (± 0.002)	0.070 (± 0.004)	0.069 (± 0.001)
Mechanical properties: SS, N/mm ²	–	0.12 (± 0.07)	0.08 (± 0.05)	0.16 (± 0.06)	0.17 (± 0.04)	0.23 (± 0.10)	–	–	–	–	–	–
IB, N/mm ²	0.04 (± 0.02)	–	–	–	–	–	0.13 (± 0.02)	0.10 (± 0.03)	0.09 (± 0.01)	0.12 (± 0.03)	0.04 (± 0.01)	0.05 (± 0.02)
MOR, MPa	0.54 (± 0.17)	2.21 (± 0.29)	1.43 (± 0.24)	2.54 (± 0.81)	2.82 (± 0.68)	4.45 (± 1.98)	1.02 (± 0.21)	0.84 (± 0.18)	0.75 (± 0.22)	0.66 (± 0.19)	0.54 (± 0.17)	2.44 (± 0.65)
MOE, GPa	0.28 (± 0.08)	0.99 (± 0.10)	0.66 (± 0.06)	1.95 (± 0.40)	1.36 (± 0.19)	2.86 (± 0.48)	0.19 (± 0.03)	0.15 (± 0.02)	0.15 (± 0.02)	0.15 (± 0.03)	0.28 (± 0.08)	0.66 (± 0.11)



Relation between density and thermal conductivity of the glass fiber reinforced panels

The density of most of the panels was higher than the target density (350 kg/m³), and ranged from 336 to 413 kg/m³, which is due to the inhomogeneity of the laboratory conditions. Since the surface fiberglass reinforcements were subsequently glued to the previously made panels, their density is significantly higher than that of the other panels.

The same amount of starting material was used in the production of the panels made of heat-treated raw material, and the target density was the same (350 kg/m³), so differences in density are due to laboratory conditions. The density of the panels made of treated bark 1, 2 and 3 hours and the control panels were 336, 349, 352, and 336 kg/m³ respectively.

The thermal conductivity of the control panels was 0.067 W/m·K and the conductivity of the reinforced panels ranged from 0.067 to 0.078 W/m·K. It is known that the thermal conductivity is strongly influenced by the density of the wood panels, because the amount of the solid content increases with density and heat can be transferred in such panels by heat bridges between the particles. The graph (Figure), shows that not only the density influences the thermal conductivity, but also the panel type has a great influence on it. Within a panel type, density does affect thermal conductivity, but the extent of this (slope of the line) varies between types. It should be noted, however, that due to the small number of measurement points, this cannot be stated with absolute certainty. The thermal conductivity of the reinforced panels was not statistically significantly different, even though the mean values of the reinforced panels were different.

The thermal conductivity of the panels was 0.064, 0.065 and 0.067 W/m·K respectively, and the control panels had 0.067 W/m·K. Parallel to the increasing density of the panels, the thermal

conductivity of the panels made of treated bark particles increased. The control and the T1 panels had a similar density, but the treated panels had lower thermal conductivity, because the thermal treatment changed the cell walls of the particles by changing their molecular structure and due to weight loss, small cavities or voids are formed in the cell wall and decreased the EMC of the panels, which also influence their thermal conductivity. Since we produced panels of almost the same density from heat-treated materials and these panels have lower thermal conductivity at the same density (T1), and reach the value of control panels at about 5% higher density (T3), it shows that the heat treatment had an effect on the microstructure and chemical levels, but the density of the panels had a greater impact on their thermal conductivity than the heat-treatment. The difference between the treatments was not statistically significant.

Physical properties. The EMC of the glass fiber and paper reinforced boards was not significantly different from the control panels. All the panels made of treated bark had a lower EMC than the controls. With increasing treatment time, the EMC decreased, because of the heat degraded the hydroxyl groups of the hemicelluloses, which is one of the major hygroscopic components of wood. The Tukey-test grouped T1 and T2 and put T3 in an individual group.

The application of fiberglass and epoxy resin bonding on the surfaces of bark-based panels, significantly reduced the water absorption and thickness swelling, due to its water vapor resistance compared to the control boards, but there were no significant differences between the glass overlaid boards. With paper coating, the lower contact angle (CA) and negative immersion wetting calculation (ΔGi) values observed on the glued surface of the recycled paper indicate the most favorable wet-

tability. This results the significantly lower WA and TS. The inner mesh reinforcement and glass fiber reinforcement of the panels did not significantly affect the water uptake and thickness swelling of the bark boards. Both the WA and TS decreased in parallel with the duration of the treatment. Both the WA and TS decreased parallel with the duration of the pretreatment of the bark raw material. The control and T1 form a group based on the WA, the T2 and T3 form another group based on both the WA and the TS.

The flexural strength and modulus, as well as surface soundness were significantly influenced by the type of overlaying material. As a general conclusion, it can be stated that the mechanical properties of fiberglass overlaid panels, had improved values compared to paper overlaid mats. Of the two paper types, recycled paper sheets had enhanced mechanical properties compared to the coated TMP paper sheets. Nevertheless, none of these paper sheet types resulted in adequate measurements. This was also true for with water absorption and thickness swelling values. On the other hand, fiberglass woven fabric exhibited the best performance compared to that of fiberglass mesh and mat and, similar mechanical properties were obtained for both fiberglass mesh and mat types. GFRP3 fiberglass type samples had the lowest thermal conductivity values, the lowest water.

Immersion properties and the highest mechanical properties of all the panels. The control boards had higher MOR and MOE values compared to the bark boards reinforced with 12–30 mm glass fiber. Further, the MOR and MOE were shown to decrease by increasing the fiber length from 12 to 30 mm. The boards reinforced with a glass fiber 12 mm long showed the best mechanical performance, of the fiber lengths that were tested. There was no significant difference in the IB inside the reinforcement groups, but differences can be observed between the inner mesh and glass fiber reinforcement: the inner mesh reinforced boards had a lower IB. This may be due to the fact that no chemical bond was formed between the glass fiber reinforcement and the bark particles, so that delamination was often observed during the measurement.

The mechanical properties of the boards made of heat treated raw material are similar, no significant differences were observed.

Conclusions. The first conclusion is that it is possible to produce thermal insulation panels from Pannonia poplar bark using UF resin.

Because the thermal conductivity of different wood-based panels ranged from 0.05 to 0.08 W/m·K, the thermal conductivity of the boards we manufactured was in the upper half of this range. Although the thermal conductivity of artificial insulating materials is between 0.021 and 0.045 W/m·K, and the environmental impact of naturally-based insulation is much lower. The heat treatment had an effect on thermal conductivity, but the density dependence of heat conduction obscured the effect of heat treatment. By using heat-resistant adhesives post-manufacture heat treatment of the finished panels could be used and the density and thermal conductivity of the panels could be drastically reduced.

Although the insulating materials do not have to have as high bending strength as structural elements, it can be an advantage during transport and handling of the insulating material if our insulating material has some rigidity. The strength of the bark board can be improved by reinforcements. Almost all the reinforcements improved the strength properties to some extent. The glass fiber woven fabric overlaid boards had the best properties among the boards. In some cases, the results could be further improved by using an adhesive that forms a bond between the fiberglass and bark particles.

Reinforcements only had an effect on physical properties (EMC, WA, TS) if they physically prevented the board from absorbing water. The heat-treatment of the raw material changed the chemical structure, thus decreasing the water absorption and swelling of the manufactured panels.

Acknowledgement. The work was carried out as part of the “Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. This project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

References

1. Pavel C. C., Blagoeva D. T. Competitive landscape of the EU's insulation materials industry for energy-efficient buildings. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2018. 24 p.
2. Zhou X., Zheng F., Li H., Lu C. An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. *Energy and Buildings*, 2010, no. 42, pp. 1070–1074.
3. Volf M., Diviš J., Havlíka F. Thermal, moisture and biological behavior of natural insulating materials. *Energy Procedia*, 2015, no. 78, pp. 1599–1604.
4. Schiavoni S., D'Alessandro F., Bianchi F., Asdrubali F. Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, no. 62, pp. 988–1011.
5. Pásztor Z., Mohácsiné R. I., Börcsök Z. Investigation of thermal insulation panels made of black locust tree bark. *Construction and Building Materials*, 2017, no. 147, pp. 733–735.

6. Aydin I., Demirkir C., Colak S., Colakoglu G. Utilization of bark flours as additive in plywood manufacturing. *Eur. J. Wood Prod.*, 2017, no. 75, pp. 63–69.
7. Murphey W. K., Rishel L. E. Relative strength of boards made from bark of several species. *Forest Products Journal*, 1969, no. 19, pp. 52.
8. Yemele M. C. N., Blanchet P., Cloutier A., Koubaa A. Effects of bark content and particle geometry on the physical and mechanical properties of particleboard made from black spruce and trembling aspen bark. *Forest Products Journal*, 2008, no. 58, pp. 48–56.
9. Maloney T. M. Bark boards from four west coast softwood species. *Forest Products Journal*, 1973, no. 23, pp. 30–38.
10. Nemli G., Çolakoğlu G. Effects of mimosa bark usage on some properties of particleboard. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2005, no. 29, pp. 227–230.
11. Cai Z. Selected properties of MDF and flakeboard overlaid with fibreglass mats. *For. Prod. Journal*, 2006, no. 56, pp. 142–146.
12. Biblis E. J., Carino H. F. Flexural properties of southern pine plywood overlaid with fibreglass-reinforced plastic. *For. Prod. Journal*, 2006, no. 50, pp. 34–36.
13. Moradpour P., Pirayesh H., Gerami M., Jouybari I. R. Laminated strand lumber (LSL) reinforced by GFRP; mechanical and physical properties. *Constr. Build. Mater.*, 2018, no. 158, pp. 236–242.
14. Bal B. C. Flexural properties, bonding performance and splitting strength of LVL reinforced with woven glass fiber. *Constr. Build. Mater.*, 2014, no. 51, pp. 9–14.
15. Kizilkanat A. B., Kabay N., Akyüncü V., Chowdhury S., Akça A. H. Mechanical properties and fracture behavior of basalt and glass fiber reinforced concrete: An experimental study. *Constr. Build. Mater.*, 2015, no. 100, pp. 218–224.
16. Zolfagari A., Behraves A. H., Shahi P. Comparison of mechanical properties of wood-plastic composites reinforced with continuous and noncontinuous glass fibers. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 2015, no. 28, pp. 791–805.
17. Maclean J. D. Thermal conductivity of wood. *Heating, Piping & Air Conditioning*, 1941, no. 13, pp. 380–391.
18. Seborg R. M., Tarkow H., Stamm A. J. Effect of heat upon the dimensional stabilization of wood. *Journal of Forest Product Res. Soc.*, 1973, no. 3, pp. 59–67.
19. Korkut S., Aytin A., Taşdemir Ç., Gurâu L. The transverse thermal conductivity coefficients of Wild cherry wood heat-treated using the Thermo Wood method. *ProLigno*, 2013, no. 9, pp. 649–683.

Список литературы

1. Pavel C. C., Blagoeva D. T. Competitive landscape of the EU's insulation materials industry for energy-efficient buildings. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. 24 p.
2. An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers / X. Zhou [et al.] // *Energy and Buildings*. 2010. No. 42. P. 1070–1074.
3. Volf M., Diviš J., Havlíka F. Thermal, moisture and biological behavior of natural insulating materials // *Energy Procedia*. 2015. No. 78. P. 1599–1604.
4. Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis / S. Schiavoni [et al.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. No. 62. P. 988–1011.
5. Pásztor Z., Mohácsiné R. I., Börcsök Z. Investigation of thermal insulation panels made of black locust tree bark // *Construction and Building Materials*. 2017. No. 147. P. 733–735.
6. Utilization of bark flours as additive in plywood manufacturing / I. Aydin [et al.] // *Eur. J. Wood Prod.* 2017. No. 75. P. 63–69.
7. Murphey W. K., Rishel L. E. Relative strength of boards made from bark of several species // *Forest Products Journal*. 1969. No. 19. P. 52.
8. Effects of bark content and particle geometry on the physical and mechanical properties of particleboard made from black spruce and trembling aspen bark / M. C. N. Yemele [et al.] // *Forest Products Journal*. 2008. No. 58. P. 48–56.
9. Maloney T. M. Bark boards from four west coast softwood species // *Forest Products Journal*. 1973, No. 23. P. 30–38.
10. Nemli G., Çolakoğlu G. Effects of mimosa bark usage on some properties of particleboard // *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2005. No. 29. P. 227–230.
11. Cai Z. Selected properties of MDF and flakeboard overlaid with fibreglass mats // *For. Prod. Journal*. 2006. No. 56. P. 142–146.
12. Biblis E. J., Carino H. F. Flexural properties of southern pine plywood overlaid with fibreglass-reinforced plastic // *For. Prod. Journal*. 2006. No. 50. P. 34–36.

13. Laminated strand lumber (LSL) reinforced by GFRP; mechanical and physical properties / P. Moradpour [et al.] // *Constr. Build. Mater.* 2018. No. 158. P. 236–242.
14. Bal B. C. Flexural properties, bonding performance and splitting strength of LVL reinforced with woven glass fiber // *Constr. Build. Mater.* 2014. No. 51. P. 9–14.
15. Mechanical properties and fracture behavior of basalt and glass fiber reinforced concrete: An experimental study / A. B. Kizilkanat [et al.] // *Constr. Build. Mater.* 2015. No. 100. P. 218–224.
16. Zolfagari A., Behravesi A. H., Shahi P. Comparison of mechanical properties of wood-plastic composites reinforced with continuous and noncontinuous glass fibers // *Journal of Thermoplastic Composite Materials.* 2015. No. 28. P. 791–805.
17. Maclean J. D. Thermal conductivity of wood // *Heating, piping & air conditioning.* 1941. No. 13. P. 380–391.
18. Seborg R. M., Tarkow H., Stamm A. J. Effect of heat upon the dimensional stabilization of wood // *Journal of Forest Product Res. Soc.* 1953. No. 3. P. 59–67.
19. The transverse thermal conductivity coefficients of Wild cherry wood heat-treated using the Thermo Wood method / S. Korkut [et al.] // *ProLigno.* 2013. No. 9. P. 649–683.

Information about the authors

Pásztor Zoltán – Senior Researcher, Innovation center. University of Sopron (4, Bajcsy-Zsilinszky str., 9400, Sopron, Hungary). E-mail: pasztor.zoltan@uni-sopron.hu

Börcsök Zoltán – Researcher, Innovation center. University of Sopron (4, Bajcsy-Zsilinszky str., 9400, Sopron, Hungary). E-mail: borcsok.zoltan@uni-sopron.hu

Bazhelka Ihar Kanstantsinovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, Head of the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bikbstu@mail.ru

Kanavalava Anastasiya Alyksandrauna – Junior Researcher, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anastasiyakonov@gmail.com

Meleshko Olga Viktorovna – Engineer, FLLC “Unomedikal” (50, Zavodskaya str., 222750, Fanipol, Dzerzhinsk region, Republic of Belarus). E-mail: volhamialeshka@outlook.com

Информация об авторах

Пастори Золтан – старший научный сотрудник Инновационного центра. Университет Шопрона (9400, г. Шопрон, ул. Байчи-Зилински, 4, Венгрия). E-mail: pasztor.zoltan@uni-sopron.hu

Бёрчэк Золтан – научный сотрудник Инновационного центра. Университет Шопрона (9400, г. Шопрон, ул. Байчи-Зилински, 4, Венгрия). E-mail: borcsok.zoltan@uni-sopron.hu

Божелко Игорь Константинович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Сverdlova, 13a, Республика Беларусь). E-mail: bikbstu@mail.ru

Коновалова Анастасия Александровна – младший научный сотрудник кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Сverdlova, 13a, Республика Беларусь). E-mail: anastasiyakonov@gmail.com

Мелешко Ольга Викторовна – инженер. ИООО «Уномедикал» (222750, г. Фаниполь, Дзержинский р-н, ул. Заводская, 50, Республика Беларусь). E-mail: volhamialeshka@outlook.com

Поступила 15.10.2020

УДК 674.048

О. К. Леонович, С. А. Дупанов

Белорусский государственный технологический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ
НАТУРАЛЬНОГО МОРЕНОГО ДУБА
МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ МИКРОСКОПИИ**

В статье проведен химический и структурный анализ образцов мореного дуба – ценнейшего природного ресурса различных периодов залегания в поймах реки СОЖ. В результате исследований установлено увеличение содержания химических соединений железа и кальция и уменьшение содержания углерода в структуре натурального мореного дуба в зависимости от периодов залегания: 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000 лет. Абсолютный возраст образцов определен радиоуглеродным методом путем счета β активности ^{14}C в бензоле, синтезируемом из углеродсодержащего образца. Изменение минерального состава (натурального мореного дуба) зависит от минерального состава среды залегания и циклического движения уровня грунтовых вод со своим химическим составом. При залегании в грунте древесина мореного дуба также будет находиться под циклическим влиянием грунтовых вод со своим химическим составом. В зависимости от периода пребывания в той или иной среде минеральный состав древесины мореного дуба будет увеличивать процентное содержание соединений железа и кальция по сравнению с натуральной древесиной дуба. С увеличением срока залегания происходят значительные структурные изменения микроскопического строения древесины. Крупные сосуды ранней зоны и мелкие сосуды поздней зоны имеют сплюснутую форму. Сердцевинные лучи извилистые. Микроскопическая структура строения мореного дуба стала более искаженной и плотной. Стенки сосудов утолщены, а мелкие сосуды практически заполнены минеральными веществами, накопленными в течение тысячелетнего залегания в поймах рек и в результате химического взаимодействия дубильных веществ древесины дуба с солями железа, кальция и других соединений.

Ключевые слова: древесина, мореный дуб, микроскопия, структура, состав.

Для цитирования: Леонович О. К., Дупанов С. А. Исследование химических и структурных свойств натурального мореного дуба методом сканирующей микроскопии // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 150–155.

O. K. Leonovich, S. A. Dupanov

Belarusian State Technological University

**RESEARCH OF THE CHEMICAL AND STRUCTURAL PROPERTIES
OF NATURAL SEA OAK BY SCANNING MICROSCOPY**

The article provides a chemical and structural analysis of bog oak samples of a valuable natural resource of different periods in the floodplains of the coolant river. As a result of studies, an increase in the content of chemical compounds of iron and calcium and a decrease in the carbon content in the structure of natural bog oak were established depending on the occurrence periods: 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000 years. The absolute age of the samples was determined by the radiocarbon method by counting the β activity of ^{14}C in benzene synthesized from a carbon-containing sample. The change in the mineral composition (natural bog oak) depends on the mineral composition of the occurrence medium and the cyclic movement of the groundwater level with its chemical composition. When lying in the ground, bog oak wood will also be in the cyclic influence of groundwater with its chemical composition. Depending on the period of stay in a particular environment, the mineral composition of bog oak will increase the percentage of iron and calcium compounds compared to natural oak wood. With an increase in the period of occurrence, significant structural changes in the microscopic structure of wood occur. Large vessels of the early zone and small vessels of the late zone have a flattened shape. The medullary rays are sinuous. The microscopic structure of the bog oak structure has become more distorted and dense. The walls of the vessels were thickened, and the small vessels were practically filled with minerals accumulated during a thousand-year occurrence in the floodplains of rivers and the chemical interaction of the tannins of oak wood with salts of iron, calcium and other compounds.

Key words: wood, stained oak, microscopy, structure, composition.

For citation: Leonovich O. K., Dupanov S. A. Research of the chemical and structural properties of natural sea oak using scanning microscopy. *Proceeding of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 150–155 (In Russian)

Введение. Мореный дуб – ценный невозполнимый природный ресурс, отличающийся от древесины обычного дуба структурой, химическими и физико-механическими свойствами. Новые характеристики мореный дуб приобретает за тысячелетия нахождения во влажной среде без доступа кислорода. В зависимости от места залегания мореного дуба и продолжительности цикла нахождения в новой среде содержащиеся в нем дубильные вещества, реагируя с солями железа, придают вариативный окрас. Возраст мореного дуба определяется анализом радиоуглеродного датирования.

В ряде работ приводятся разрозненные сведения о технических свойствах древесины мореного дуба и его ценности, а также и преимуществах при правильно организованном промышленном использовании [1–17].

В процессе переработки натурального мореного дуба возникают сложности в определении его возраста, качественных характеристик по визуальным оценкам, а также методами бесконтактного определения химических, физических и возрастных характеристик, позволяющих идентифицировать и подтвердить качественные характеристики наиболее простыми, доступными методами. Определение качественных характеристик этого ценнейшего природного ресурса расширит область его использования.

Для организации изготовления изделий высокого ценового диапазона из массива натурального мореного дуба соответствующего качества, ориентированного на экспорт, а также производства высококачественных эксклюзивных мебельных и отделочных материалов, востребованных в государственно-представительных структурах, в значимых общественных проектах, выставочных залах, театрах, где целесообразность использования ценного природного ресурса – натурального мореного дуба неоспорима, и для достоверного обоснованного использования мореного дуба необходимо:

- изучение поведения материала на всех этапах переработки в зависимости от качественных и возрастных параметров;

- создание технологического регламента на заготовку, сушку и дальнейшую переработку мореного дуба;

- исследование физико-химических свойств материала согласно качественно-возрастной группе;

- разработка регламента качественно-оценочной характеристики натурального мореного дуба.

Известны методы для исследования ценных ископаемых останков животных и других живых существ: уран-ториевый (учитывается со-

держание тория, который появляется в останках только после превращения живого существа в органические ископаемые), более чувствительный метод электронного парамагнитного резонанса (подсчитывается число сохранившихся неспаренных электронов) и метод термолюминесценции (нагревание образца вызывает испускание накопленной радиации, видимое как свечение), ЯМР-анализ. Данные методы исследования не нашли широкого применения для датирования ископаемого натурального мореного дуба.

Основная часть. Исследование натурального и мореного дуба в виде древесного материала и угольных остатков на микроуровне с анализом их химического состава проводили с использованием микроскопии.

Были взяты образцы натурального мореного дуба различной возрастной группы: 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000 лет согласно актам радиоуглеродного датирования, подтвержденным Национальной академией наук Беларуси.

Для определения структурных и химических свойств натурального и мореного дуба разных периодов залегания был использован сканирующий электронный микроскоп JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201JEO, который позволяет проводить одновременно автоматический качественный и количественный химический анализ. На рис. 1 показан прибор для сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным химическим анализом.



Рис. 1. Сканирующий электронный микроскоп JSM-5610 LV JEOL (Япония)

Микросъемку поверхности заранее подготовленных образцов древесины натурального мореного дуба размером $10 \times 10 \times 10$ мм помещали в герметичную камеру рабочей части микроскопа, после чего из пространства автоматически откачивали воздух для увеличения точности измерений и качества снимков.

С помощью графического интерфейса, исполненного под MSWindows, и системы автоматического управления подвижным столом микроскопа (по двум координатам), а также приближения-удаления объектива возможно получение 8-битных (оттенки серого) снимков поверхности пробы при различном приближении. Снимки древесины получали с приближением в 100 и до 500 раз.

Система химического анализа EDX JED-2201JEO позволяет одновременно проводить автоматический качественный и количественный химический анализ до 99 участков изображения исследуемого образца, также получать карты и профили распределения элементов.

Разрешающая способность микроскопа JSM-5610 LV составляет 3,0–4,5 нм, кратность увеличения – 18–300 000. Анализируемые элементы системы химического микроанализа от В (бор) до U (уран), диапазон определяемых концентраций – 0,1–100%.

В результате проведения спектроскопии натурального мореного дуба широкой возрастной группы были получены следующие данные (таблица).

Результат спектроскопии натурального мореного дуба широкой возрастной группы (анализ содержания элементов периодической таблицы в зависимости от возраста натурального мореного дуба)

Возраст 1000 лет			
Радиальный срез		Торцевой срез	
Элемент	Масса, %	Элемент	Масса, %
C	89,66	C	89,66
O	2,44	O	2,44
Si	0,35	Si	0,35
K	4,69	K	4,69
Ca	2,29	Ca	2,29
Fe	0,58	Fe	0,58
Total	100,00	Total	100,00
Возраст 1500 лет			
Радиальный срез		Торцевой срез	
Элемент	Масса, %	Элемент	Масса, %
C	90,53	C	90,64
O	2,68	O	2,68
Si	0,39	Si	0,53
K	0,45	K	1,16
Ca	3,88	Ca	3,69
Fe	2,07	Fe	1,3
Total	100,00	Total	100,00
Возраст 2000 лет			
Радиальный срез		Торцевой срез	
Элемент	Масса, %	Элемент	Масса, %
C	77,67	C	83,79
O	5,76	O	4,15
Si	0,88	Si	0,42

Окончание таблицы

Возраст 2000 лет			
Радиальный срез		Торцевой срез	
Элемент	Масса, %	Элемент	Масса, %
K	4,82	K	1,85
Ca	5,83	Ca	4,41
Fe	5,04	Fe	5,38
Total	100,00	Total	100,00
Возраст 3000 лет			
Радиальный срез		Торцевой срез	
Элемент	Масса, %	Элемент	Масса, %
C	73,33	C	72,32
O	6,69	O	7,01
Si	0,31	Si	0,51
K	1,18	K	1,05
Ca	7,03	Ca	6,51
Fe	11,46	Fe	12,6
Total	100,00	Total	100,00
Возраст 4000 лет			
Радиальный срез		Торцевой срез	
Элемент	Масса, %	Элемент	Масса, %
C	69,50	C	74,87
O	7,19	O	6,20
Si	0,65	Si	0,63
K	3,93	K	0,67
Ca	2,45	Ca	2,60
Fe	16,28	Fe	15,04
Total	100,00	Total	100,00
Возраст 5000 лет			
Радиальный срез		Торцевой срез	
Элемент	Масса, %	Элемент	Масса, %
C	70,49	C	73,77
O	7,49	O	6,59
Si	0,45	Si	0,33
K	1,40	K	0,40
Ca	8,08	Ca	6,30
Fe	12,09	Fe	12,62
Total	100,00	Total	100,00

Древесина состоит из органических веществ, в состав которых входят углерод, водород, кислород и немного азота. Элементарный химический состав древесины разных пород практически одинаков. В среднем абсолютно сухая древесина независимо от породы содержит 49,5% углерода, 44,2% кислорода (с азотом) и 6,3% водорода. Элементарный химический состав древесины ствола и ветвей мало различается. Условия произрастания также практически не отражаются на содержании основных элементов. Кроме органических веществ, в древесине есть минеральные соединения, дающие при сгорании золу, количество которой колеблется в пределах 0,2–1,7%;

Органический состав натурального мореного дуба значительно отличается от любого

другого вида дерева. Содержание углерода – 70–90%, кислорода – 2–8%.

Минеральный состав также очень богат: содержание железа – до 16%, кальция – до 8% а также выявлен ряд других элементов в большом количестве, отраженных в таблице.

Также наблюдается закономерность увеличения процентного содержания минеральной составляющей мореного дуба от времени пребывания в бескислородной среде.

На диаграмме (рис. 2) визуализированы данные из таблицы и приведен снимок сосудистой системы мореного дуба возрастом 4000 лет (рис. 3).

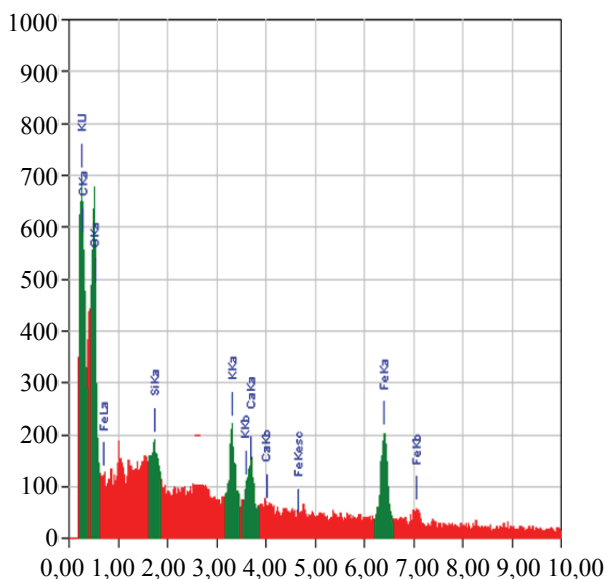


Рис. 2. Диаграмма, полученная в результате спектроскопии образца возрастом (4000 лет)

При испытании образцов мореного дуба с установленными периодами возраста от 1000 до 5000 лет определено, что содержание углерода уменьшилось с 89,66 до 70,49%, кислорода увеличилось с 2,44 до 7,49%, калия уменьшилось с 4,69 до 1,40%, кальция увеличилось с 2,29 до 8,08%.

Особенно заметно изменение процентного содержания железа (см. радиальный срез в таблице). Так, при возрасте 1000 лет его содержание

составляет 0,58%, 1500 лет – 2,07%, 2000 лет – 5,04%, 3000 лет – 11,46%, 4000 лет – 16,28%.

Изменение минерального состава мореного дуба зависит от минерального состава среды залегания этого ценного природного ресурса. В процессе придонного залегания на моренный дуб действует постоянный поток воды, имеющий свой химический состав.

В зависимости от периода пребывания в той или иной среде минеральный состав древесины мореного дуба будет увеличивать свое процентное соотношение к органическому (исходному) составу. Структура мореного дуба становится извилистой и более плотной.

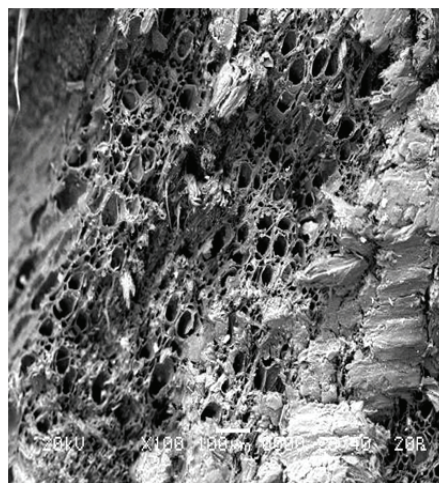


Рис. 3. Снимок сосудистой системы натурального мореного дуба в приближении $\times 100$ (4000 лет)

Заключение. Исследование химического состава такого природного ресурса, как моренный дуб, позволит решить ряд проблем, связанных с его переработкой.

Установлена закономерность изменения процентного содержания химических элементов в структуре мореного дуба в зависимости от возраста. Структура строения мореного дуба приобрела извилистые уплотненные формы. Предложено использовать анализ спектроскопии как альтернативный радиоуглеродному анализу.

Список литературы

1. Петруша А. К. Технические свойства древесины мореного дуба и его промышленное использование // Сборник научных трудов БЛТИ им. С. М. Кирова. Минск, 1948. Вып. VII. С. 11–37.
2. Дупанов А. А. Моренный дуб // ЛесПромИнформ. 2005. № 4 (26). С. 6–7.
3. Дупанов А. А. Основные проблемы добычи и переработки мореного дуба // ЛесПромИнформ. 2005. № 7 (29). С. 9.
4. Дупанов А. А. Изделия из мореного дуба // ЛесПромИнформ. 2006. № 2 (33). С. 7.
5. Дупанов А. А. Сложности деревообработки мореного дуба // Дерево.Ru. 2019. 1 (36). С. 10–12.
6. Леонович О. К. Стратегия инновационного развития лесопромышленного комплекса // Материалы 84-й науч.-техн. конф., посвященной 90-летию юбилею БГТУ и Дню белорусской науки

(с международным участием), Минск, 3–14 февраля 2020 г. Минск: БГТУ, 2020. С. 13–15 URL: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2020-god/84-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-professorsko-prepodavatelskogo-sostava-nauchnyh-sotrudniko.html> (дата обращения: 22.12.20).

7. Леонович О. К., Дупанов С. А. Перспективные направления переработки натурального мореного дуба // Материалы 84-й науч.-техн. конф., посвященной 90-летию юбилею БГТУ и Дню белорусской науки (с международным участием), Минск, 3–14 февраля 2020 г. Минск: БГТУ, 2020. С. 17–20. URL: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2020-god/84-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-professorsko-prepodavatelskogo-sostava-nauchnyh-sotrudniko.html> (дата обращения: 12.09.2019).

8. Сканирующая электронная микроскопия как метод изучения микроскопических объектов электролитического происхождения / И. С. Ясников [и др.] // Фундаментальные исследования. 2013. № 1–3. С. 758–764. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=31024> (дата обращения: 12.09.2019).

9. Пауль Э. Э., Звягинцев В. Б., Древесиноведение с основами лесного товароведения. Минск: БГТУ, 2015. 315 с.

10. Фенгел Д., Венегер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакция). М.: Лесная пром-сть, 1988. 512 с.

11. Антоник А. Ю., Леонович О. К. Структурные изменения древесины сосны при термомодифицировании // Материалы 81-й науч.-тех. конф. профессорско-преподавательского состава, науч. сотрудников и аспирантов (с международным участием). Минск, 1–12 февраля 2017. Минск, 2017. URL: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/81-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya.html> (дата обращения: 12.09.2019).

12. Антоник А. Ю. Эколого-химические свойства термомодифицированной древесины сосны // 68-я науч.-техн. конф. учащихся, студентов и магистрантов: сб. науч. работ, Минск, 17–22 апреля 2017. Минск, 2017. URL: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/68-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-uchaschihsya-studentov-i-magistrantov.html> (дата обращения: 12.09.2019).

13. Аксенов П. А., Коровин В. В. Химический состав древесины дуба, используемой для производства коньяка и бренди // Лесной вестник. 2009. № 1. С. 5–16. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskii-sostav-drevesiny-duba-ispolzuemoj-dlya-proizvodstva-konyaka-i-brendi-1> (дата обращения: 12.09.2019).

14. Азаров В. И., Буров А. В., Оболенская А. В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб.: СПбЛТА, 1999. 628 с.

15. Альтшулер С. А., Козырев Б. М. Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. М.: Наука, 1972. 672 с.

16. Уран-ториевое датирование высоких морских террас архипелага Шпицберген / Ф. Е. Максимум [и др.] // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7, Геология. География. 2016. Вып. 2. С. 54–64. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.205.

17. Франк М., Штольц В. Дозиметрия ионизирующего излучения. М.: Атомиздат, 1973. 246 с.

References

1. Petruscha A. K. Technical properties of wood stained oak and its industrial use. *Sbornik nauchnykh trudov BLTI im. S. M. Kirova* [Collection of scientific works of the S. M. Kirov BSTI], issue VII. Minsk, 1948, pp. 11–37 (In Russian).

2. Dupanov A. A. Bog oak. *LesPromInform* [LesPromInform], 2005, no. 4 (26), p. 7 (In Russian).

3. Dupanov A. A. The main problems of extraction and processing of bog oak. *LesPromInform* [LesPromInform], 2005, no. 7 (29), p. 9 (In Russian).

4. Dupanov A. A. Products from bog oak [LesPromInform], 2006, no. 2 (33), p. 7 (In Russian).

5. Dupanov A. A. Difficulties of woodworking bog oak. *Derevo.RU* [Derevo.RU], 2019, 1 (36), pp. 10–12 (In Russian).

6. Leonovich O. K. Strategy for innovative development of the timber industry complex. *Materialy 84-y nauch.-tekhn. konf., posvyashchennoy 90-letnemu yubileyu BGTU i Dnyu belorusskoy nauki, Minsk, 3–14 fevralya 2020* [Materials 84th scientific-technical conference dedicated to the 90th anniversary of BSTU and the Day of Belarusian Science (with international participation), Minsk, February 3–14, 2020]. Minsk, BGTU Publ., 2020, pp. 13–16. Available at: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2020-god/84-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-professorsko-prepodavatelskogo-sostava-nauchnyh-sotrudniko.html> (accessed 12.09.2019).

7. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Promising directions of processing of nature bog oak. *Materialy 84-y nauch.-tekhn. konf., posvyashchennoy 90-letnemu yubileyu BGTU i Dnyu belorusskoy nauki, Minsk, 3–14 fevralya 2020* [Materials 84th scientific-technical. conference dedicated to the 90th anniversary of BSTU and the Day of Belarusian Science (with international participation), Minsk, February 3–14, 2020]. Minsk, BGTU Publ., 2020, pp. 17–20. Available at: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2020-god/84-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-professorsko-prepodavatel'skogo-sostava-nauchnyh-sotrudniko.html> (accessed 12.09.2019).

8. Yasnikov I. S., Nagornov Yu. S., Gorbachev I. V., Mikeyev R. R., Sadovnikov P. S., Shubchinskaya N. Yu., Aminarov A. V. Scanning electron microscopy as a method for studying microscopic objects of electrolytic origin. *Fundamental'nyye issledovaniya* [Fundamental research], 2013, no. 1–3, pp. 758–764 (In Russian). Available at: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=31024> (accessed 12.09.2019).

9. Paul E. E., Zvyagintsev V. B. *Drevesinovedeniye s osnovami lesnogo tovovedeniya* [Wood science with the basics of forest commodity science]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 315 p.

10. Fengel D., Veneger G. *Drevesina (khimiya, ul'trastruktura, reaktsiya)* [Wood (chemistry, ultrastructure, reaction)]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1988. 512 p.

11. Antonik A. Yu., Leonovich O. K. Structural changes in pine wood during thermal modification. *Sb. nauch. rabot 81-y nauch.-tekhn. konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauch. sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem). Minsk, 1–12 fevralya, 2017 g.* [Collection of scientific articles, 81st scientific and technical conference of faculty, researchers and graduate students (with international participation). Minsk, February 1–12, 2017]. Minsk, BGTU Publ., 2017. Available at: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/81-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya.html> (accessed 12.09.2019).

12. Antonik A. Yu. Ecological and chemical properties of thermomodified pine wood. *Sb. nauch. rabot 68-y nauch.-tekhn. konf. uchashchikhsya, studentov i magistrantov, Minsk, 17–22 aprelya 2017 g.* [Collection of scientific articles 68th scientific and technical conference of pupils, students and undergraduates. Minsk, 17–22 April 2017]. Minsk, BGTU, 2017. Available at: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/68-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-uchashchikhsya-studentov-i-magistrantov.html> (accessed: 12.09.2019).

13. Aksenov P. A., Korovin V. V. Chemical composition of oak wood used for the production of cognac and brandy. *Lesnoy vestnik* [Forest Bulletin], 2009, no 1, pp. 5–16 (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskii-sostav-drevesiny-duba-ispolzuemoy-dlya-proizvodstva-konyaka-i-brendi-1> (accessed 12.09.2019).

14. Azarov V. I., Burov A. V., Obolenskaya A. V. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Chemistry of wood and synthetic polymers]. St. Petersburg, SPbLTA Publ., 1999. 628 p.

15. Al'tshuler S. A., Kozyrev B. M. *Elektronnyy paramagnitnyy rezonans soyedineniy elementov promezhutochnykh grupp* [Electron paramagnetic resonance of compounds of elements of intermediate groups]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 672 p.

16. Maksimov F. E., Sharin V. V., Kuznetsov V. Yu., Okunev A. S., Grigoriev V. A., Petrov A. Yu. Uranium-thorium dating of high sea terraces of the Spitsbergen archipelago. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta* [Bulletin of the St. Petersburg University], series 7, Geology. Geography, 2016, issue 2, pp. 54–64 (In Russian).

17. Frank M., Stolz V. *Dozimetriya ioniziruyushchego izlucheniya* [Dosimetry of ionizing radiation]. Moscow, Atomizdat Publ., 1973. 246 p.

Информация об авторах

Леонович Олег Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: OKL2001@mail.ru

Дупанов Сергей Александрович – магистрант кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: serge.zubr@yandex.by

Information about the authors

Leonovich Oleg Konstantinovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology. State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: OKL2001@mail.ru

Dupanov Sergey Aleksandrovich – Master's degree student, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: serge.zubr@yandex.by

Поступила 10.10.2020

УДК 004.92:684.7

А. С. Чуйков, Л. В. Игнатович

Белорусский государственный технологический университет

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ
И КОНСТРУКЦИЙ ДЕКОРАТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕБЕЛИ
И ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

Компьютерные технологии все больше интегрируются в технологические процессы деревообрабатывающих предприятий, заменяя частично или полностью традиционные. Не исключением стал и процесс производства декоративных элементов мебели.

Современные дизайнеры все чаще используют различные декоративные стили прошлых эпох. Самыми распространенными и излюбленными для подражания являются барокко, рококо, классицизм и прочие. Каждое из этих художественных направлений предполагает использование специальных декоративных элементов, которые определяют эстетический уровень изделия.

Художественная обработка древесины основана на использовании различных приемов. Одним из наиболее древних является резьба. Это достаточно трудоемкий процесс, который состоит из таких операций, как разработка эскизов декоративных элементов, воплощение их в материале, а также создание конструкторской документации. Изготовление элементов сложной формы подразумевает использование дорогостоящего оборудования, привлечение высококвалифицированных работников предприятий, увеличение материальных затрат и продолжительности производственного цикла.

Рассмотренная в статье технология трехмерного моделирования и 3D-печати позволяет в значительной степени упростить, сократить, а в некоторых случаях исключить некоторые этапы производства изделия, что, в свою очередь, даст возможность снизить продолжительность технологического процесса и себестоимость готовой продукции при сохранении высокого качества изделий.

Ключевые слова: проектирование, декоративный элемент, трехмерная модель, 3D-принтер, 3D-печать.

Для цитирования: Чуйков А. С., Игнатович Л. В. Особенности проектирования трехмерных моделей и конструкций декоративных элементов мебели и их изготовления // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 156–161.

A. S. Chuikov, L. V. Ignatovich

Belarusian State Technological University

**FEATURES OF DESIGNING THREE-DIMENSIONAL MODELS
AND STRUCTURES OF DECORATIVE FURNITURE ELEMENTS
AND THEIR MANUFACTURING**

Computer technologies are increasingly integrated into the technological processes of woodworking enterprises, replacing partially or completely traditional ones. The production process of decorative furniture elements is no exception.

Modern designers are increasingly using various decorative styles of past eras. The most common and favorite to follow are the Baroque, Rococo, Classicism and others. Each of these artistic directions involves the use of special decorative elements that determine the aesthetic level of the product.

Artistic wood processing is based on the use of various techniques. One of the most ancient is carving. This is a rather time-consuming process, which consists of such operations as developing sketches of decorative elements, implementing them in the material, as well as creating design documentation. The production of complex elements involves the use of expensive equipment, attracting highly qualified employees of enterprises, increasing material costs and the duration of the production cycle.

The technology of three-dimensional modeling and 3D printing considered in the article makes it possible to significantly simplify, reduce, and in some cases exclude certain stages of product production, which in turn will reduce the duration of the technological process and the cost of finished products while maintaining a high quality of products.

Key words: design, decorative element, three-dimensional model, 3D printer, 3D printing.

For citation: Chuikov A. S., Ignatovich L. V. Features of designing three-dimensional models and structures of decorative furniture elements and their manufacturing. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 156–161 (In Russian).

Введение. В последнее время ни один процесс проектирования мебели и столярно-строительных изделий не обходится без технологий трехмерного моделирования, поскольку они позволяют наглядно визуализировать любые предметы, а также сохранять проектируемые объекты в виде объемной модели или изображения.

Как известно, процесс производства любого изделия мебели включает различные подготовительные этапы, в числе которых изготовление конструкторской документации, художественная проработка и, при необходимости, создание прототипа или опытного образца [1–4].

Современные возможности, предоставляемые специализированными компьютерными программами по трехмерному моделированию [5], в значительной степени упрощают, сокращают и даже исключают некоторые этапы производства изделия, при этом позволяют значительно сэкономить время и финансовые ресурсы.

Создание виртуальных объектов и конструкций, в частности декоративных элементов мебели, заключается в разработке управляющих программ для оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) и создании твердотельных трехмерных графических образцов декоративных элементов методом 3D-печати на специальном оборудовании.

Основная часть. Процесс компьютерного моделирования позволяет создать в виртуальной среде любые изделия, включая самые сложные и трудоемкие, и снизить риски, связанные с ошибками и просчетами оператора-конструктора [5].

Однако стоит отметить, что есть и другие способы повышения эффективности производственных и технологических процессов за счет использования современных 3D-технологий. Например, изготовление пресс-форм декоративных элементов, используемых при производстве мебели. Далее будут рассмотрены этапы создания оснастки производственного оборудования с применением возмоздственной экосистемы 3D-печати [6].

Основная роль 3D-принтера в процессе изготовления пресс-форм заключается в создании шаблона, формы или непосредственно пресс-формы для изготовления шаблона.

Благодаря интеграции 3D-печати и системных комплексов автоматизированного проектирования (CAD) процесс изготовления пресс-форм становится быстрее и проще, появляется возможность получать индивидуальные модели за несколько часов, что положительно сказывается на сроках постановки изделий на производство и повышении производительности оборудования и рабочих, а также на возможности быстро и качественно расширять ассортимент продукции под потребности заказчика [7].

Использование данной методики позволяет получить требуемое качество моделей и пресс-форм за один цикл за счет применения эффективных режимов печати 3D-принтера. Современное программное обеспечение позволяет проводить инженерный анализ конструкции и тестирование эргономики изделий еще на этапе проектирования, что позволяет избежать ошибок в дальнейшем.

Высокая скорость печати дает возможность быстро изготавливать формы или их части, а также получать мгновенные результаты своей работы и демонстрировать их потребителям даже на самой ранней стадии проектных работ.

Для проведения промышленных испытаний и исследования технологии трехмерной печати был выбран 3D-принтер Zortrax M200 [8]. Редактирование моделей и создание управляющих программ происходило с помощью специального программного обеспечения Z-Suite.

Используемое оборудование относится к полупрофессиональному сегменту техники, что позволило обеспечить высокую точность печати и возможность изготовления сложных деталей.

Для создания изделий применяли способ FDM (послойной) печати [9], который является самой распространенной технологией 3D-печати в мире. Принцип построения по технологии FDM заключается в послойном выращивании изделия из предварительно расплавленной пластиковой нити (рис. 1).

При проведении исследования использовали следующие материалы: Z-материал (в основе которого лежат ABS, PLA, PETG, Nylon пластики); растворитель; распылитель; клей для пластмасс; нож или скальпель для удаления элементов поддержки; защитные перчатки; защитные очки; абразив для обработки и подготовки модели (шлифовальная шкурка с зернистостью P 180, 220 и 240).

Принцип построения пресс-форм по технологии FDM [10–13] заключался в следующем. Предварительно создавали трехмерную модель с использованием программного обеспечения Autodesk 3Ds MAX. Затем полученную 3D-модель в формате STL передавали в программное обеспечение 3D-принтера. Программа автоматически (или оператор вручную) располагала модель в виртуальном пространстве рабочей камеры и автоматически генерировала элементы вспомогательных конструкций (из специального материала поддержки) и проводила расчет количества расходных материалов, а также времени выращивания прототипа. Перед запуском процесса печати модель автоматически разделялась на горизонтальные слои и производился расчет путей перемещения печатающей головки.

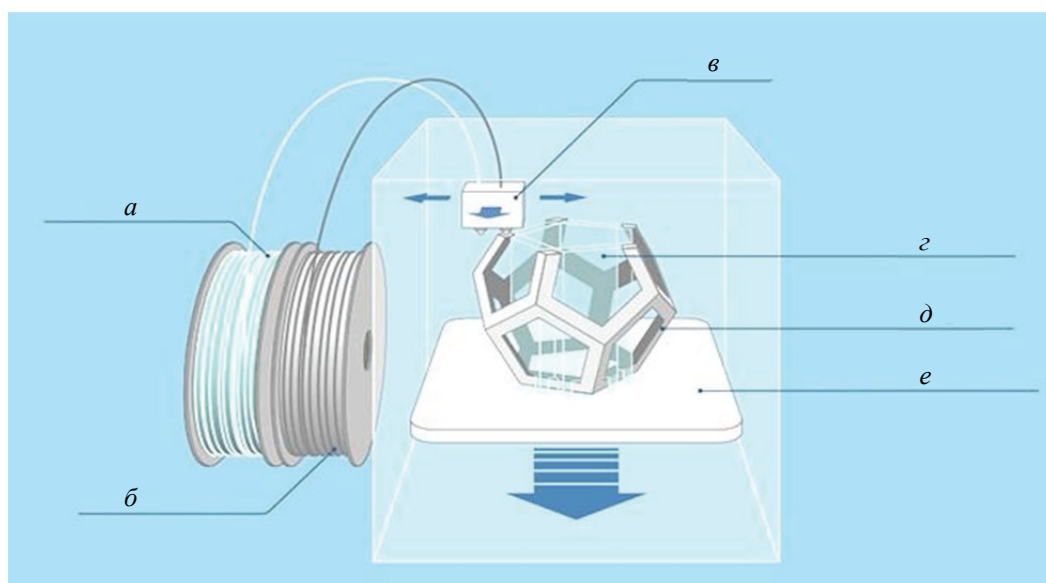


Рис. 1. Функциональная схема работы 3D-принтера:

a – катушка материала поддержки; *б* – катушка с модельным материалом;
в – экструдер; *г* – материал поддержки; *д* – строящееся изделие; *е* – платформа построения

После этого запускали процесс непосредственной 3D-печати [14]: нагревающая головка с фильерами (экструдер) расплавляла тонкую пластиковую Z-нить и послойно укладывала ее согласно данным математической 3D-модели.

После завершения процесса построения изделия вспомогательные конструкции удаляли (вручную или растворяли в специальном растворе), а готовое изделие было использовано для создания пресс-формы.

Первый этап работы заключался в создании трехмерных моделей декоративных элементов с использованием современного программного обеспечения Autodesk 3Ds MAX [5]. Для этого необходимо было создавать примитивные объекты и корректировать их геометрию путем перемещения узлов полигональной сетки. Применение различных системных модификаторов позволило усложнить и детализировать будущую виртуальную модель.

Второй этап, связанный с подготовкой управляющей программы, начинали с экспорта разработанной модели декоративных элементов в формат *.stl или *.obj.

Третий этап предполагал обработку модели в программе ZSuite. Для этого оператор запускал программный продукт и предварительно задавал ограничения области печати в соответствии с размерами поверхности для печати. После этого переходили к созданию управляющей программы. На этой стадии (Model) оператор позиционировал модель внутри рабочей области принтера, используя различные инструменты. На рис. 2 представлены вышеописанные процессы. Стоит отметить, что в одном проекте одновременно может быть подготовлено и напечатано не-

сколько моделей, если это позволяют рабочая поверхность и габаритные размеры моделей.

Изменять положение и ориентацию моделей можно за счет функций «перемещение» (Move), «масштаб» (Scale) и «поворот» (Rotate). Функция перемещения работает внутри рабочей зоны принтера. Изменение масштаба возможно реализовать как в отдельно взятом направлении, так и пропорционально по всем трем координатам X, Y, Z. Функция «поворот» позволяет осуществлять поворот модели вокруг отдельно выбранной оси либо фиксировать положение модели. Четвертый этап Analysis предназначен для анализа геометрии модели и ее возможности печати при помощи FDM технологии. При активации этой функции происходит автоматический анализ геометрии заготовки. При этом некоторые зоны могут быть подсвечены различными цветами: зеленый цвет – корректная геометрия, красный цвет – слишком тонкие либо сложные геометрические построения для адекватного воспроизведения способом 3D-печати. В последнем случае требуется корректировка геометрии трехмерной модели.

Пятый этап заключается в настройке компонентов поддержки (Support) для печати [15] элементов, которые не соприкасаются с рабочим столом 3D-принтера. Использование данной функции позволяет автоматически расставить необходимые поддерживающие элементы. Стоит отметить, что зачастую компоненты поддержки позиционируются в углах модели, так как именно эти области наиболее подвержены деформациям ввиду их расположения на краю печатной модели и наибольшей зоны контакта с охлаждающим вентилятором.

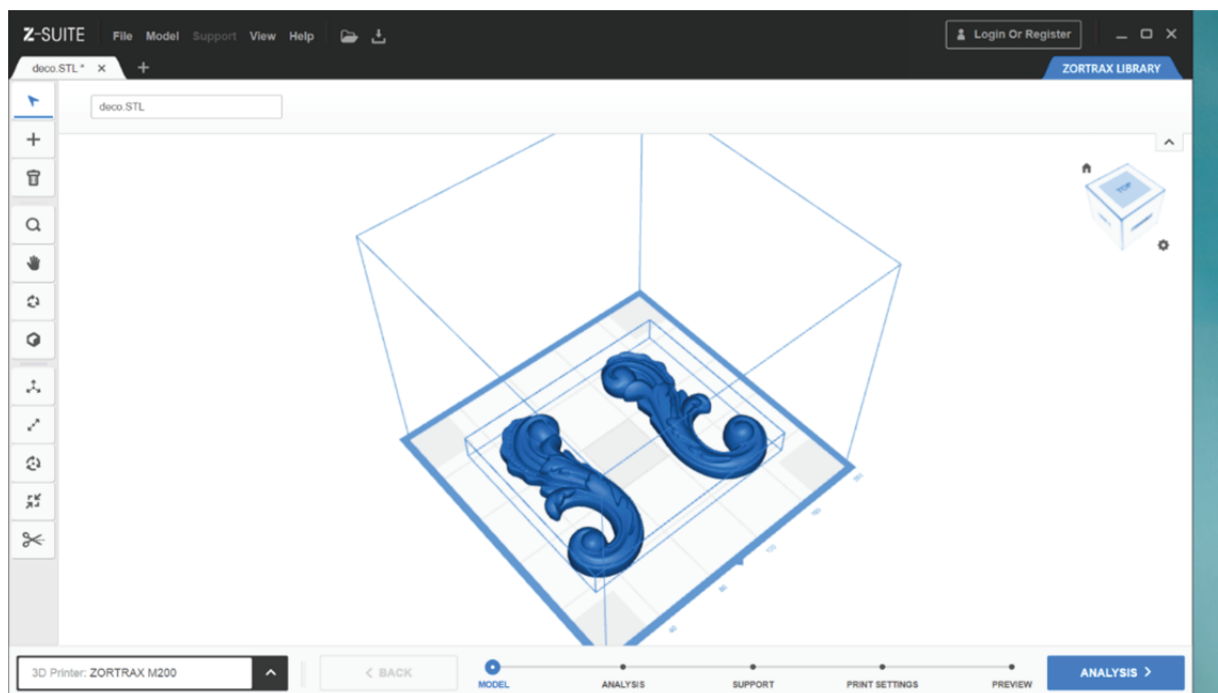


Рис. 2. Процесс позиционирования деталей на рабочем столе 3D-принтера в программе ZSuite

В ходе исследования было замечено, что проще всего на 3D-принтере печатаются объекты в форме пирамиды. Это связано с тем, что каждый последующий слой кладется на предыдущий и не нависает над пустым пространством. Поддержки позволяют печатать нависающие части объектов, но автоматически расставленные элементы не всегда оптимальны с точки зрения расхода пластика и простоты их последующего отделения от самого объекта. Поэтому в экосистеме ZSuite предусмотрена возможность ручной настройки компонентов, что позволяет получать полный контроль над процессом создания опор, упростить процесс очистки модели, получить незначительную площадь контакта 3D-изделия и компонентов поддержки, а также снизить в некоторых случаях расход пластика.

В созданные поддерживающие элементы можно вносить изменения при помощи функции Edit Support (Редактирование поддержки), что позволяет удалять их и перемещать для обеспечения оптимального качества печати.

Неотъемлемой частью любого технологического процесса является режим. В связи с этим шестой этап исследования был посвящен установке параметров материала и печати Print Setting (Настройки принтера) для изготовления моделей.

Использование стандартных материалов предполагает применение типовых настроек оборудования, однако зачастую сложность декоративных элементов и моделей требует более

широкой и детальной настройки параметров материала и печати, которые можно реализовать в режиме Advanced (профессиональный).

Как правило, основными характеристиками для 3D-печати являются: толщина слоя пластика (0,09–0,14 мм); рабочая температура экструдера (205–210°C); втягивание (30 мм/с) и т. д.

Заключительным этапом создания управляющей программы для 3D-печати является Preview (Предпросмотр), в результате которого можно произвести симуляцию процесса печати и определить время, необходимое для осуществления данного технологического процесса, расход материала на изготовление модели, а также некоторые другие параметры процесса. К ним относятся такие параметры, как модель принтера, материал печати, толщина слоя печати, скорость печати, количество поддержек и необходимого для них материала, заполнение пустот и слоев модели и другие параметры, которые носят справочную информацию. После этого осуществляли экспорт модели и параметров ее печати в файл с расширением *.zcode, который сохраняли на компьютере или карте памяти.

В дальнейшем управляющую программу загружали в 3D-принтер и производили печать пресс-формы.

В ходе эксперимента были получены одноцветные детали (рис. 3), обладающие достаточной прочностью и упругостью, а также определенным набором физико-механических характеристик, которые напрямую зависели от используемого материала.



Рис. 3. Фрагмент декора мебели, напечатанный на 3D-принтере по технологии FDM

Заключение. В результате эксперимента установлено, что в сравнении с классическими способами внедрение технологий 3D-печати и компьютерного моделирования позволяет сократить процесс изготовления пресс-форм в среднем на 40%.

Использование современных CAD-технологий и 3D-печати позволяет создавать, корректировать и оценивать эргономические и функ-

циональные решения еще на этапе проектирования, что, в свою очередь, дает возможность оптимизировать процессы моделирования трехмерных элементов мебели и столярно-строительных изделий, экономить трудовые, материальные и временные ресурсы, а также повышать производительность труда.

В ходе эксперимента установлено, что подготовка шаблона пресс-формы происходила быстрее на 50–80% в сравнении с традиционными методами, при этом затраты на производство элемента снижались на 40–75% (в зависимости от сложности детали).

Следует также отметить, что переход от стадии проектирования до стадии испытаний занимал всего один или несколько дней, а продолжительность каждого этапа проектирования продукта сокращалась благодаря использованию технологий CAD-проектирования и 3D-печати.

Экосистема 3D-печати представляет собой полный пакет интегрированных решений, начиная от профессионального оборудования и материалов и до специализированного программного обеспечения. Внедрение подобных технологий и оборудования на мебельных предприятиях Республики Беларусь позволит обеспечить высокое качество продукции, снизить ее себестоимость и повысить конкурентоспособность.

Список литературы

1. Барташевич А. А., Онегин В. И., Шетько С. В. Технология художественной обработки древесины. Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. 249 с.
2. Барташевич А. А., Романовский А. М. Художественная обработка дерева. Минск: Вышэйшая школа, 2000. 230 с.
3. Барташевич А. А., Трофимов С. П. Конструирование мебели. Минск: Современная школа, 2006. 336 с.
4. Барташевич А. А., Гайдук С. С. Конструирование изделий из древесины. Минск: БГТУ, 2016. 145 с.
5. Чуйков А. С. Моделирование объектов дизайна. Минск: БГТУ, 2019. 94 с.
6. Громько И. Г. Технология печатных и отделочных процессов при производстве упаковки и тары. Минск: БГТУ, 2019. 242 с.
7. Тягунов А. Г. Специальные виды печати. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2017. 168 с.
8. 3D-принтер Zortrax M200 [Электронный ресурс] // 3D HUB. Минск, 2020. URL: https://3dhub.by/catalog-zortrax_m200.html (дата обращения: 05.10.2020).
9. Технология 3D-печати FDM (Fused Deposition Modeling) [Электронный ресурс] // GlobalTek3D. М., 2020. URL: https://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/fdm/ (дата обращения: 05.10.2020).
10. Gibson I., Rosen D., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. New York: Springer, 2015. 510 p.
11. Horvath J. 3D Printed Science Projects: Ideas for Your Classroom, Science Fair, or Home. New York: Springer Science and Business Media, 2016. 213 p.
12. Ritland M. 3D Printing with SketchUp. Birmingham: Pack Publishing Ltd, 2014. 136 p.
13. Foster Sh., Halbstein D. Integrating 3D Modeling, Photogrammetry and Design. London: Springer-Verlag, 2014. 104 p.
14. Van den Berg B., van den Hof S., Kosta E. 3D Printing. Washington DC: T. M. C. Asser Press, 2016. 212 p.
15. Horvath J., Cameron R. Mastering 3D Printing. Pasadena: Apress, 2020. 347 p.

References

1. Bartashevich A. A., Onegin V. I., Shet'ko S. V. *Tekhnologiya khudozhestvennoy obrabotki drevesiny* [Technology of artistic wood processing]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2013. 249 p.
2. Bartashevich A. A., Romanovskiy A. M. *Khudozhestvennaya obrabotka dereva* [Art processing of a tree]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 2000. 230 p.
3. Bartashevich A. A., Trofimov S. P. *Konstruirovaniye mebeli* [Furniture design]. Minsk, Sovremennaya shkola Publ., 2006. 336 p.
4. Bartashevich A. A., Hayduk S. S. *Konstruirovaniye izdeliy iz drevesiny* [Construction of wood products]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 145 p.
5. Chuikov A. S. *Modelirovaniye ob'ektov dizayna* [Design objects modeling processes]. Minsk, BGTU Publ., 2019. 94 p.
6. Gromyko I. G. *Tekhnologiya pechatnykh i otdelochnykh protsessov pri proizvodstve upakovki i tary* [Technology of printing and finishing processes in the production of packaging and containers]. Minsk, BGTU Publ., 2019. 242 p.
7. Tyagunov A. G. *Spetsial'nyye vidy pechati* [Special types of printing]. Ekaterinburg, Ural'skiy Universitet Publ., 2017. 168 p.
8. 3D-Printer Zortrax M200. Available at: https://3dhub.by/catalog-zortrax_m200.html (accessed 05.10.2020).
9. FDM (Fused Deposition Modeling) 3D-Printing Technology. Available at: https://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/fdm/ (accessed 05.10.2020).
10. Gibson I., Rosen D., Stucker B. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. New York, Springer Publ., 2015. 510 p.
11. Horvath J. *3D Printed Science Projects: Ideas for Your Classroom, Science Fair, or Home*. New York, Springer Science and Business Media Publ., 2016. 213 p.
12. Ritland M. *3D Printing with SketchUp*. Birmingham, Pack Publishing Ltd Publ., 2014. 136 p.
13. Foster Sh., Halbstein D. *Integrating 3D Modeling, Photogrammetry and Design*. London, Springer-Verlag Publ., 2014. 104 p.
14. Van den Berg B., van den Hof S., Kosta E. *3D Printing*. Washington DC, T. M. C. Asser Press Publ., 2016. 212 p.
15. Horvath J., Cameron R. *Mastering 3D Printing*. Pasadena, Apress Publ., 2020. 347 p.

Информация об авторах

Чуйков Алексей Сергеевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: offlex88@mail.ru, offlex88@belstu.by

Игнатович Людмила Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ignatovich@belstu.by, lignatovich6@gmail.com

Information about the authors

Chuikov Aleksey Sergeevich – PhD (Engineering), Head of the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: offlex88@mail.ru, offlex88@belstu.by

Ignatovich Lyudmila Vladimirovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ignatovich@belstu.by, lignatovich6@gmail.com

Поступила 15.10.2020

УДК 674.04.047.3

О. Г. Рудак, А. Ю. Короб

Белорусский государственный технологический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ИЗМЕНЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ
ПОВЕРХНОСТНЫХ И ВНУТРЕННИХ СЛОЕВ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ
ПРИ ПРОГРЕВЕ В НЕНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ**

В статье приведены результаты исследования механизма перемещения влаги в древесине в период прогрева в ненасыщенной среде. Получены зависимости, отражающие характер изменения влажности на поверхности и внутри древесины во времени. Определены закономерности изменения величины перепада влажности образцов, имеющих различные параметры от степени насыщенности и температуры обрабатывающей среды во времени. В данной работе обращается внимание на то, что в период прогрева древесины наблюдается заметный перепад влажности на поверхности и внутри образца, что является причиной неравномерного распределения влаги по толщине пиломатериала.

В свою очередь, возникновение разницы влажности между поверхностными и внутренними слоями древесины является причиной перемещения влаги по направлению от более влажных центральных к менее влажным поверхностным слоям. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что на характер изменения влажности древесины в период прогрева влияние оказывают следующие переменные факторы: температура прогрева, степень насыщенности обрабатывающей среды, начальная влажность образца, толщина образцов.

Результаты исследований могут быть использованы при разработке режимов начального прогрева, повышающих качество продукции и снижающих энергозатраты на проведение данного процесса.

Ключевые слова: прогрев, режим, перепад влажности, градиент влажности, влагопроводность.

Для цитирования: Рудак О. Г., Короб А. Ю. Исследование характера изменения влажности поверхностных и внутренних слоев древесины сосны при прогреве в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 162–168.

O. G. Rudak, A. Yu. Korob

Belarusian State Technological University

**STUDY OF THE CHARACTER OF MOISTURE CHANGE IN SURFACE
AND INNER LAYERS OF PINE WOOD
DURING HEATING IN A UNSATURATED
ENVIRONMENT**

The article presents the results of research on the mechanism of movement of moisture in wood during heating in an unsaturated environment. Dependences are obtained that reflect the nature of changes in humidity on the surface and inside the wood over time. The regularities of changes in the value of the humidity drop of samples with different parameters from the degree of saturation and temperature of the processing medium over time are determined. In this work, attention is drawn to the fact that during the heating period of wood, there is a noticeable difference in humidity on the surface and inside the sample, which is the reason for the uneven distribution of moisture over the thickness of the lumber.

In turn, the occurrence of a difference in humidity between the surface and inner layers of wood causes moisture to move in the direction from the more humid Central to the less humid surface layers. The experimental data obtained indicate that the nature of changes in the moisture content of wood during the heating period is influenced by the following variables: the heating temperature, the degree of saturation of the processing medium, the initial humidity of the sample, and the thickness of the samples.

The results of the research can be used in the development of modes of initial heating, which improve the quality of products and reduce energy consumption for this process.

Key words: initial heating, mode, moisture difference, the gradient of humidity, moisture conductivity.

For citation: Rudak O. G., Korob A. Yu. Study of the character of moisture change in surface and inner layers of pine wood during heating in a unsaturated environment. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 162–168 (In Russian).

Введение. На сегодняшний день в Республике Беларусь производится около 2 млн м³ пиломатериалов в год, большая часть из которых подвергается камерной сушке. Породный состав производимых пиломатериалов представляет собой следующее соотношение: 67% древесины хвойных пород (в основном сосна) и 33% древесины лиственных пород.

Начальный прогрев древесины в камере производят перед собственно сушкой для предупреждения образования впоследствии внутренних напряжений, а также для сохранения целостности пиломатериалов в начальный период процесса.

Эффективным путем снижения энергозатрат при сушке древесины является проведение операции начального прогрева в ненасыщенной среде, который сопровождается изменениями ее (среды) влажности.

Целью настоящей работы являлись исследование процессов и характера изменения влажности поверхностных и внутренних слоев древесины во времени при различных условиях обрабатываемой среды.

Основная часть. В соответствии с общепринятой практикой и Руководящими техническими материалами по технологии камерной сушки древесины [1], для безопасного начального прогрева перед сушкой в камере создается высокая степень насыщенности среды при повышенной, по сравнению с первой ступенью режима сушки, температуре. Для создания высокой степени насыщенности психрометрическую разность поддерживают на уровне 0,5–1,5°C ($\varphi = 0,93–0,97$). Однако в современной литературе [2] степень насыщенности среды при прогреве в камерах с теплоносителем и увлажнителем водяной пар предлагают устанавливать иначе: для древесины с начальной влажностью более 25% – в пределах 0,98–1,00 а для древесины с влажностью менее 25% – 0,90–0,92. В таких условиях испарение влаги с поверхностных слоев древесины незначительно и не влияет на общее распределение влажности по толщине пиломатериала.

Также стоит отметить, что современные технологии сушки предполагают использование режимов начального прогрева, при которых степень насыщенности обрабатываемой среды $\varphi < 1$, разница показаний психрометра Δt не превышает 5°C, а температура прогрева устанавливается на уровне, не превышающем температуру сушки на первой ступени режима сушки. Как правило, это не более 70°C. При таких условиях интенсивность испарения влаги с поверхности пиломатериалов и перемещение ее из внутренних более влажных слоев к наружным значительно ниже, чем в процессе непосредственно сушки пиломатериалов.

При проведении начального прогрева обязательными контролируемыми параметрами обрабатываемого агента являются [3, 4]:

- 1) температура T , °C;
- 2) степень насыщенности φ ;
- 3) психрометрическая разность Δt , °C.

Непосредственно для самих пиломатериалов основными параметрами являются порода древесины, начальная влажность и температура, толщина [5–7].

Обращает на себя внимание тот факт, что в современных сушильных камерах взаимосвязь между температурой, степенью насыщенности обрабатываемого агента и начальной влажностью пиломатериала отображают как значение равновесной влажности, которая на экране пульта управления обозначается английскими буквами EMC. Количественные значения параметров режима прогрева каждая фирма-производитель устанавливает согласно своим требованиям. Сушильное хозяйство Республики Беларусь в большинстве своем состоит из камер иностранного производства, соответственно и технология прогрева разная. Стоит также учитывать, что география стран-производителей сушильного оборудования и камер достаточно широкая, и данные для составления режимов могут существенно различаться. Например, камеры итальянского производства принимают за базисную плотность сосны $\rho = 320 \text{ кг/м}^3$, а у камер из стран Скандинавии – около 480 кг/м^3 ; для нашего климата $\rho = 400 \text{ кг/м}^3$. Также средняя начальная влажность и температура прогреваемых пиломатериалов существенно отличаются в южных и северных широтах. Соответственно, параметры режимов прогрева, его продолжительность не всегда могут быть эффективно применены для наших условий. Режимы начального прогрева древесины сосны для разных фирм-производителей отражены в табл. 1.

Таблица 1

Режимы начального прогрева

Толщина S , мм	Равновесная влажность EMC, %	Параметры режима прогрева		
		φ	Δt	t , °C
Фирма SEKAL				
30–60	14	0,77	4	40
>60	16	0,82	3	38
Фирма CATHILD				
<35	14	0,81	4	65
35–60	14,5	0,83	3,5	65
Фирма НОК В HEIN				
36–75	15,5	0,83	3,5	35
>75	15	0,81	3,5	35
Фирма INCOPLAN				
30–60	18	0,86	2,5	45
>60	19	0,87	2	45

Анализируя данные табл. 1, можно заметить, как отличается интервал параметров режима прогрева: одни производители проводят начальный прогрев в условиях близких к насыщению, а другие – при параметрах среды, соответствующих первой ступени сушки.

Измерение влажности в поверхностных и внутренних слоях опытных образцов в ходе эксперимента производили с помощью климатической камеры ТХВ, оснащенной датчиками влажности древесины, а также датчиками влажности и температуры обрабатывающего агента. В комплекте климаткамеры предусмотрены датчики влажности, позволяющие фиксировать ее изменение с точностью $\pm 1\%$. Частота измерения – каждые 5 с. Все значения выводятся на экран контроля камеры.

Для определения температуры внутри древесины в период проведения эксперимента применяли оригинальную измерительную систему, имеющую восемь температурных датчиков модели DS18S20 с точностью измерения до 0,1 град. Частота измерения – каждые 5 с. Данная установка представляет собой автоматический измеритель температуры. Все значения выводятся на экран данного автоматического измерителя температур. Начальная влажность опытных образцов измерялась электровлагомером GANN HT 85.

В качестве экспериментального материала для исследования изменения влажности поверхностных и внутренних слоев древесины в процессе начального прогрева в ненасыщенной среде использовались сосновые образцы радиальной распиловки толщиной $S = 20, 40, 60$ мм. Ширина пиломатериалов b равнялась 250 мм, что существенно превосходит их толщину. Данный факт позволял считать, что перемещение влаги при прогреве происходило в основном в направлении, перпендикулярном пласти досок, т. е. от внутренних слоев к поверхностным.

На глубине, соответствующей половине толщины образца из древесины, располагаются датчик влажности W_1 и термодатчик T_1 , а на поверхности древесины, соприкасающейся с агентом обработки, – датчик W_2 на глубине 3–4 мм (рис. 1). Все датчики были изолированы пастой КПП-8 во избежание влияния обрабатывающего агента на результаты измерений. Начальная температура всех элементов системы была одинаковой и равной температуре окружающей среды $t_0 = 15–20^\circ\text{C}$.

Экспериментальные образцы помещались в климатическую камеру, где производился их прогрев в ненасыщенной среде по установленному режиму. Прогрев проводили до тех пор, пока разница температур окружающей среды и

внутренних слоев древесины не составляла 3°C . Фиксируемыми параметрами в этом эксперименте являлись влажность поверхностных и внутренних слоев древесины, а также продолжительность прогрева.

Принципиальная схема проведения эксперимента представлена на рис. 1. Условия проведения экспериментальных исследований отражены в табл. 2.

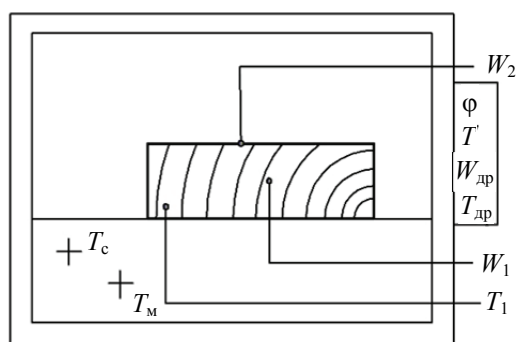


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки

Таблица 2

Условия проведения эксперимента

Характеристика образцов		Характеристика обрабатывающего агента			
Размер сечения, мм	$W_{\text{нач}}, \%$	$T, ^\circ\text{C}$	φ	$W_p, \%$ или EMC	
					S
20/40/60	250	> 30%	40	0,7	12
				0,8	15,5
				0,9	21
			60	0,7	11
				0,8	14
				0,9	19
			80	0,7	9,7
				0,8	12
				0,9	16
20/40/60	250	< 30%	40	0,7	12
				0,8	15,5
				0,9	21
			60	0,7	11
				0,8	14
				0,9	19
			80	0,7	9,7
				0,8	12
				0,9	16

Результаты исследований по условиям табл. 2 представлены в виде графических зависимостей на рис. 2–6, а также в виде кинетических кривых. Поскольку характер изменения перепада влажности по толщине был одинаковым, то для анализа показаны зависимости при граничных условиях режима прогрева.

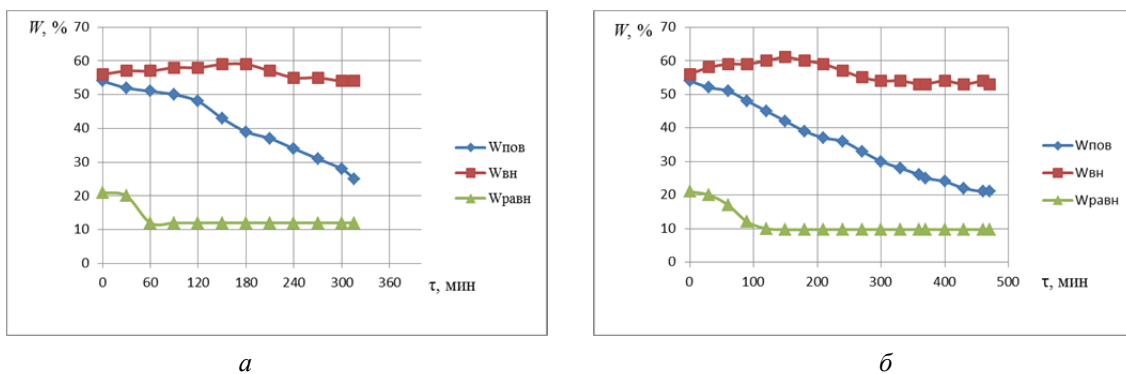


Рис. 2. Изменение влажности древесины поверхностных и внутренних слоев при $W_{\text{нач}} = 55\%$, $\varphi = 0,7$, $S = 20$ мм: температура прогрева 40°C (а) и 80°C (б)

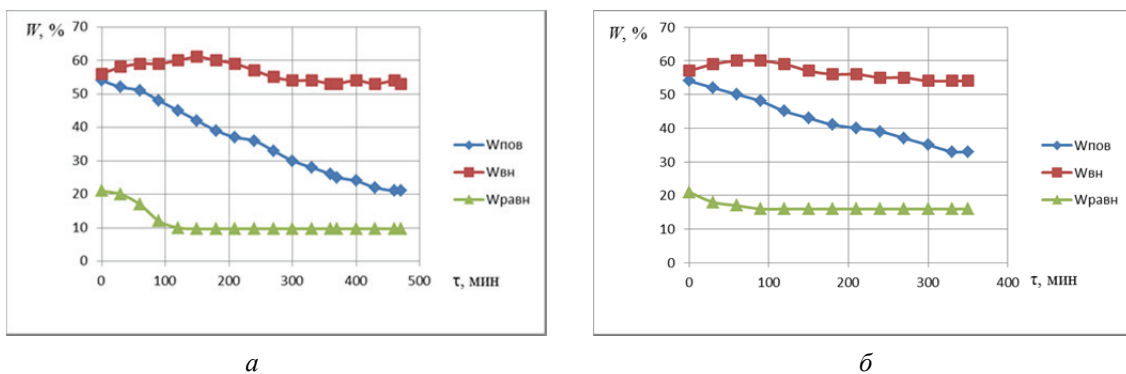


Рис. 3. Изменение влажности древесины поверхностных и внутренних слоев при $W_{\text{нач}} = 55\%$, $T = 80^\circ\text{C}$, $S = 20$ мм: степень насыщенности $\varphi = 0,7$ (а) и $0,9$ (б)

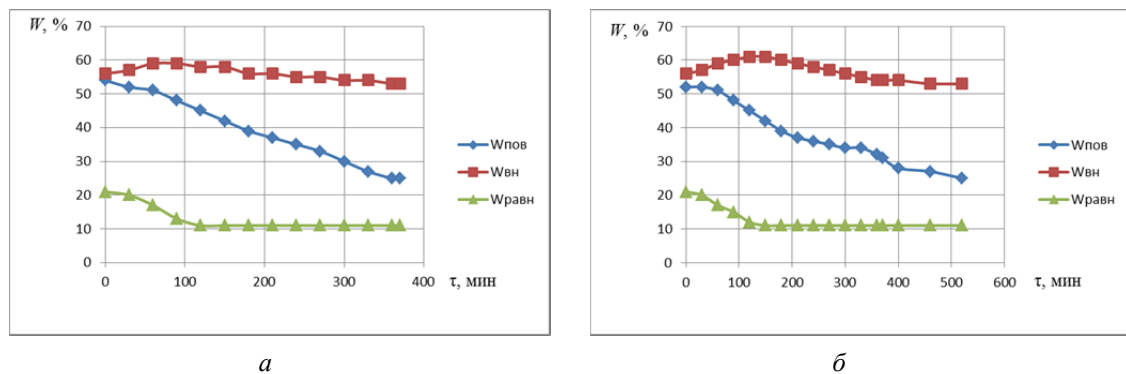


Рис. 4. Изменение влажности древесины поверхностных и внутренних слоев при $W_{\text{нач}} = 55\%$, $T = 60^\circ\text{C}$, $\varphi = 0,7$: толщина образца $S = 20$ (а) и 60 (б)

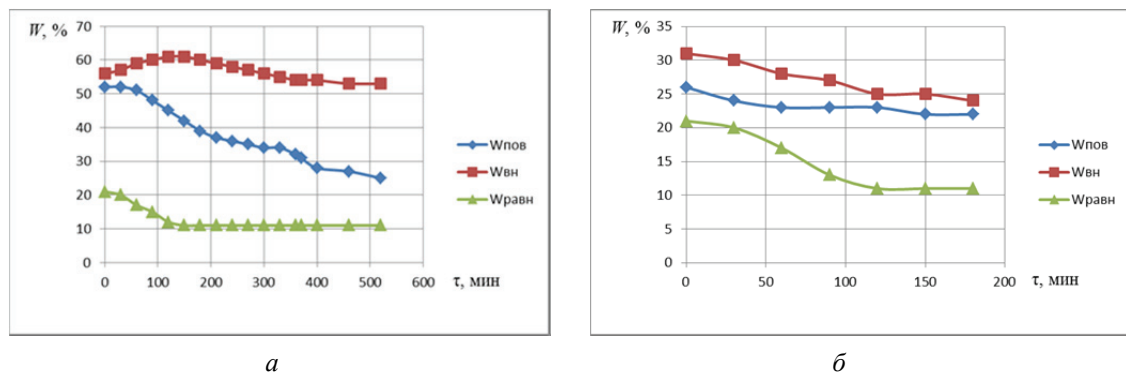


Рис. 5. Изменение влажности древесины поверхностных и внутренних слоев при $T = 60^\circ\text{C}$, $\varphi = 0,7$ мм, $S = 20$ мм: $W_{\text{нач}} = 55\%$ (а) и 27% (б)

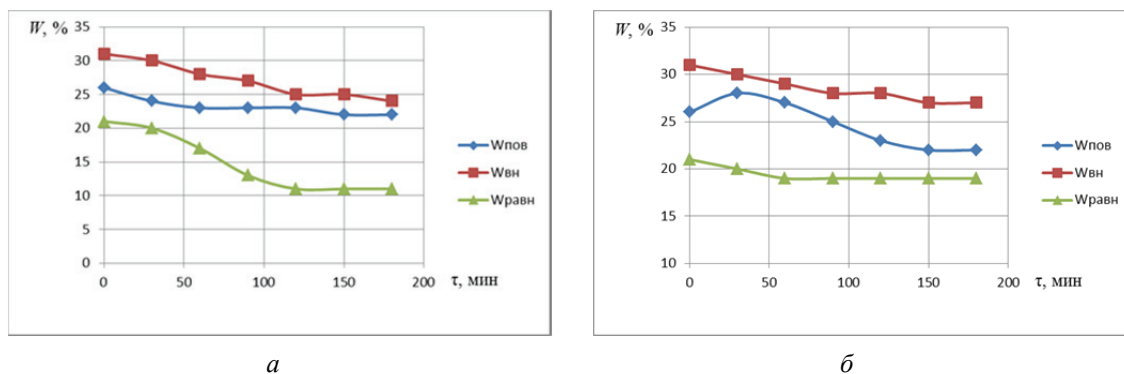


Рис. 6. Изменение влажности древесины поверхностных и внутренних слоев при $T = 60^\circ\text{C}$, $W_{\text{нач}} = 27\%$, $S = 20$ мм: $\varphi = 0,7$ (а) и $0,9$ (б)

Температура воздуха в климатической камере устанавливается на требуемом уровне ($40\text{--}80^\circ\text{C}$) уже через 3–10 мин после начала нагревания. После этого она остается неизменной на протяжении всего эксперимента. Таким образом, можно считать, что нагревание древесины проходит при постоянной температуре обрабатывающей среды.

Изменение влажности поверхностных слоев образцов древесины начинается через 30–60 мин после начала прогрева, а внутренних – с некоторым опозданием. Перепад влажности на поверхности и внутри образцов ΔW достигает максимальной величины к концу процесса прогрева.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что на характер изменения влажности поверхностных слоев древесины существенное влияние оказывает температура прогрева, степень насыщенности обрабатывающей среды, начальная влажность образцов. Толщина образцов оказывала влияние только на продолжительность процесса прогрева.

Стоит отметить, что влажность внутренних слоев увеличивается на 2–4% именно в период, когда наблюдается достаточно интенсивное снижение влажности поверхностных слоев. Данное явление можно объяснить следующим образом. В период прогрева пиломатериалов под воздействием перепада температур возникает интенсивный поток влаги от более горячих зон к более холодным даже в тех случаях, когда холодная зона оказывается более влажной [8–10]. Влажность же поверхностных слоев с течением времени уменьшается, достигает значения, близкого к равновесной влажности, после чего не изменяется.

Нетрудно заметить, что стабилизация влажности на поверхности прогреваемых сортиментов происходит на уровне значения устойчивой влажности при десорбции, соответствующей заданным параметрам обрабатывающей среды. Перепад влажности по толщине пиломатериалов изменяется от 5–7% в начале процесса до 24–29% – в конце.

Следовательно, в образце возникает градиент влажности, под действием которого влага будет стремиться к перемещению в направлении, противоположном направлению потока влаги. Влага по объему сортимента всегда движется в сторону убывающей влажности. При определенном соотношении между влажностным и температурным градиентами эффект влагопроводности полностью компенсирует эффект термовлагопроводности, и по сечению образца устанавливается стационарное поле температуры и влажности, что мы и наблюдаем в конце эксперимента.

Особый интерес представляет механизм прогрева при начальной влажности древесины $W_{\text{нач}} < 30\%$ (рис. 6). При степени насыщенности $\varphi = 0,7$ и $T = 60^\circ\text{C}$ влажность как внутренних, так и поверхностных слоев снижается на протяжении всего процесса прогрева. Перепад влажности по толщине постепенно уменьшается к концу процесса, что свидетельствует об испарении влаги, т. е. о происходящем процессе сушки.

В случае же, когда $\varphi = 0,9$ и $T = 60^\circ\text{C}$, поверхностные слои образца в начале процесса увлажняются, далее их влажность снижается и стремится к равновесной.

Также стоит отметить, что интенсивность изменения влажности поверхностных слоев древесины тем больше, чем больше разность Δt между температурой обрабатывающей среды T_c и температурой в центральных слоях образцов T_1 . Это можно объяснить положительным влиянием явления термовлагопроводности.

Оба случая, описанные выше, предполагают развитие внутренних напряжений в древесине уже на этапе начального прогрева, что, в свою очередь, является причиной возникновения дефектов сушки (трещины, коробления).

Сопоставление полученных графиков между собой позволило отметить следующее.

1. Процесс прогрева древесины в ненасыщенной среде характеризуется неравномерным распределением влаги по толщине пиломатериалов.

2. С повышением температуры обрабатываемой среды увеличивается продолжительность процесса прогрева, а также возрастает скорость изменения влажности на поверхности древесины.

3. При увеличении начальной влажности древесины наблюдается разница в характере изменения кривых влажности поверхностных и внутренних слоев образца.

4. С увеличением толщины образца увеличивается продолжительность прогрева, а скорость изменения влажности поверхностных и внутренних слоев древесины остается практически одинаковой.

5. С увеличением степени насыщенности обрабатываемого агента продолжительность прогрева снижается за счет повышения теплоемкости влажного воздуха [11–13].

Дополнительное удаление влаги при прогреве и непосредственно на первой ступени сушки экономит расход диспергированной воды для создания требуемого параметра степени насыщенности обрабатываемой среды, причем чем выше температура прогрева, тем больше этот эффект. Также испаренная из пиломатериала влага изменит количество водяного пара в обрабатываемой среде на определенную величину [5].

Отметим также, что в результате прогрева древесины в ненасыщенной среде распределение влажности по толщине образцов носит параболический характер.

Полученные данные можно использовать при разработке режимов начального прогрева древесины в ненасыщенной среде. Для оптимальной подготовки влагопроводящей системы древесины к испарению влаги можно рекомендовать проводить прогрев древесины при температуре среды выше 50–60°C и $\phi = 0,75–0,85$ для пиломатериалов с начальной степенью влажности $W_{нач} > 30\%$.

Пиломатериалы с начальной влажностью $W_{нач} < 30\%$ рекомендуется прогревать в среде сушильного агента, степень насыщенности ϕ которого по диаграмме равновесной влажности соответствуют начальной влажности материала.

Для пиломатериалов, предназначенных для отправки за границу, операция начального прогрева является одним из видов фитосанитарной обработки. Параметры режима должны быть следующие: $T = 56^\circ\text{C}$, $\phi = 0,7–0,8$, прогрев проводят до тех пор, пока по всей толщине материала не установится тепловое равновесие, и далее выдерживают в таких условиях полчаса и более.

Заключение. В период начального прогрева древесины наблюдается перепад влажности на поверхности и внутри образца. В свою очередь, возникновение перепада влажности является причиной перемещения влаги по направлению от центральных слоев к периферийным.

В результате проведенных исследований достигнуты следующие результаты:

- определен характер изменения влажности поверхностных и внутренних слоев древесины во времени при различных условиях обрабатываемой среды;

- определен характер зависимости перепада влажности от условий обрабатываемой среды во времени;

- произведена оценка влияния начальной влажности древесины, толщины образца, степени насыщенности и температуры обрабатываемой среды на продолжительность прогрева и на характер изменения влажности внутренних и поверхностных слоев образца во времени.

Полученные экспериментальные данные могут быть использованы при разработке ресурсосберегающих режимов начального прогрева древесины сосны.

Список литературы

1. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины. Архангельск: ЦНИИМОД, 1985. 92 с.
2. Фридман И. Н. Деревообработка. Практическое руководство. СПб.: Проффикс, 2003. 543 с.
3. Кречетов И. В. Сушка и защита древесины. М.: Лесная пром-сть, 1987. 324 с.
4. Кречетов И. В. Сушка древесины. М.: Лесная пром-сть, 1980. 432 с.
5. Рудак О. Г., Снопков В. Б. Исследование начального прогрева древесины без дополнительного увлажнения обрабатываемой среды // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 212–214.
6. Рудак О. Г., Гуз Ю. А., Снопков В. Б. Исследование напряженно-деформированного состояния древесины при прогреве в ненасыщенной среде // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тез. докл. IX Междунар. науч.-техн. конф. Гродно: ГрГУ, 2011. С. 30–31.
7. Рудак О. Г. Изменение влажности пиломатериалов по толщине при прогреве в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 165–167.
8. Лыков А. В. Тепло- и массообмен в процессах сушки. М.: ГосЭнергоИздат, 1956. 463 с.
9. Шубин Г. С. О коэффициентах переноса тепла и влаги в древесине // Деревообраб. пром-сть. 1989. № 8. С. 10–13.

10. Чудинов Б. С. Теория тепловой обработки древесины. М.: Наука, 1968. 255 с.
11. Серговский П. С., Расев А. И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины: М.: Лесная пром-сть, 1987. 360 с.
12. Лыков А. В. Тепло- и массообмен в процессах сушки. М.: Госэнергоиздат, 1956. 464 с.
13. Шубин Г. С. Сушка и тепловая обработка древесины. М.: Лесная пром-сть, 1990. 335 с.

References

1. *Rykovodyashchiye tekhnicheskiye materialy po tekhnologii kamernoy sushki drevesiny* [Guiding technical materials on the technology of chamber drying of wood]. Archangelsk, TsNIIMOD Publ., 1985. 92 p.
2. Fridman I. N. *Derevoobrabotka. Prakticheskoye rykovodstvo* [Woodworking. A practical guide]. St. Petersburg, Profiks Publ., 2003. 543 p.
3. Krechetov I. V. *Sushka i zashchita drevesiny* [Drying and wood protection]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 324 p.
4. Krechetov I. V. *Sushka drevesiny* [Drying of wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 432 p.
5. Rudak O. G., Snopkov V. B. Study of the initial heating of wood without additional moistening of the processing environment. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 212–214 (In Russian).
6. Rudak O. G., Guz Yu. A., Snopkov V. B. Study of the stress-strain state of wood when heated in an unsaturated environment *Energo- i materialosberegayushchiye ekologicheski chistyye tekhnologii: tez. dokl. IX Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Energy- and material-saving environmental friendly technologies: abstract of the IX International Scientific and Technical Conference]. Grodno, 2011, pp. 30–31 (In Russian).
7. Rudak O. G. Change in the moisture content of lumber by thickness when heated in an unsaturated environment. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 165–167 (In Russian).
8. Lykov A. V. *Teplo- i massoobmen v protsessakh sushki* [Heat and mass transfer in drying processes]. Moscow, GosEnergoizdat Publ., 1956. 463 p.
9. Shubin G. S. On the coefficients of heat and moisture transfer in wood. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 1989, no. 8, pp. 10–13 (In Russian).
10. Chudinov B. S. *Teoriya teplovoy obrabotki drevesiny* [Theory of wood heat treatment]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 255 p.
11. Sergovsky P. S., Rasev A. I. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovaniye drevesiny* [Hydrothermal processing and preservation of wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 360 p.
12. Lykov A. V. *Teplo- i massoobmen v protsessakh sushki* [Methods of determining thermal conductivity and thermal conductivity]. Moscow, Gosenergoizdat Publ., 1973. 413 p.
13. Shubin G. S. *Sushka i teplovaya obrabotka drevesiny* [Drying and heat treatment of wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 335 p.

Информация об авторах

Рудак Оксана Геннадьевна – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: oksrudak@mail.ru

Короб Анна Юрьевна – инженер кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: korob_98@mail.ru

Information about the authors

Rudak Oksana Gennadievna – Master of Engineering, Senior Lecturer, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: oksrudak@mail.ru

Korob Anna Yurievna – Engineer, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: korob_98@mail.ru.

Поступила 29.10.2020

УДК 684.62.059

Л. Ю. Дубовская¹, Л. В. Игнатович², Е. В. Дубоделова²¹Белорусская государственная академия искусств²Белорусский государственный технологический университет**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ
ПОЛУЧЕНИЯ ПЛИТНОГО ДРЕВЕСНО-МИНЕРАЛЬНОГО
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Критической технологической операцией в производстве плитных композиционных материалов является горячее прессование. Исследования технологических параметров, определяющих режимы прессования плитных материалов, обеспечивают не только эффективность применения технологии, но и их показатели качества и безопасности.

В статье рассмотрены режимы прессования плитного древесно-минерального композиционного материала теплоизоляционного назначения. В качестве вяжущего было использовано модифицированное жидкое стекло. Рассмотрены два способа получения теплоизоляционного материала: при термообработке исходной массы и при комнатной температуре. Особое внимание уделено таким параметрам, как продолжительность прессования и температура прогрева плит, являющимся необходимым условиям получения качественного конечного продукта. Рассмотрены зависимость изменения температуры в центре образца от времени прогрева, влияние параметров выдержки на сроки схватывания массы при получении древесно-минерального композиционного материала теплоизоляционного назначения, влияние температуры получения композита на его прочность, а также, с целью экономии энергоносителей, изучена динамика твердения образцов при комнатной температуре.

Установлено влияние температуры на сроки схватывания образцов: при температуре 150°C срок схватывания древесно-минерального композиционного материала составляет 60 мин, при 100°C – 140 мин, при 20°C – 220 мин. При этом образцы, полученные при температуре (20 ± 2)°C достигли за 4 дня постоянной влажности (9,5%). На основании полученных результатов высказано мнение об оптимальных технологических режимах получения древесно-минерального композиционного материала теплоизоляционного назначения.

Ключевые слова: минеральное вяжущее, плитный древесно-минеральный композиционный материал теплоизоляционного назначения.

Для цитирования: Дубовская Л. Ю., Игнатович Л. В., Дубоделова Е. В. Оптимизация технологических режимов получения плитного древесно-минерального композиционного материала теплоизоляционного назначения // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 169–175.

L. Yu. Dubovskaya¹, L. V. Ignatovich², Ye. V. Dubodelova²¹Belarusian State Academy of Arts²Belarusian State Technological University**OPTIMIZATION OF PRODUCTION TECHNOLOGY
MODES PLATE WOOD-MINERAL COMPOSITE MATERIAL
FOR THERMAL INSULATION PURPOSE**

Hot pressing is a critical technological operation in the production of composite board materials. The study of technological parameters that determine the modes of pressing of panel materials provide not only the effectiveness of the technology application, but also their quality and safety indicators.

The article discusses the modes of pressing the board wood-mineral composite material for thermal insulation purposes. Modified liquid glass was used as a binder. Two methods of obtaining heat-insulating material are considered: by heat treatment of the initial mass and at room temperature. Particular attention is paid to such parameters as the duration of pressing and the heating temperature of the plates, which are the necessary conditions for obtaining a high-quality final product. The dependence of the temperature change in the center of the sample on the heating time, the effect of holding parameters on the setting time of the mass when obtaining a wood-mineral composite material for thermal insulation purposes, the effect of the temperature of obtaining a composite on its strength, and also, in order to save energy, the dynamics of hardening of samples at room temperature.

The effect of temperature on the setting time of the samples was established: at a temperature of 150°C, the setting time of a wood-mineral composite material is 60 minutes, at 100°C – 140 minutes,

at 20°C – 220 minutes. In this case, the samples obtained at a temperature of (20±2)°C reached constant humidity (9.5%) in 4 days. On the basis of the results obtained, an opinion was expressed on the optimal technological modes of obtaining a wood-mineral composite material for thermal insulation purposes.

Key words: mineral binder, wood-mineral composite board for thermal insulation purposes.

For citation: Dubovskaya L. Yu., Ignatovich L. V., Dubodelova Ye. V. Optimization of production technology modes plate wood-mineral composite material for thermal insulation purpose. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no 1 (240), pp. 169–175 (In Russian).

Введение. Критической технологической операцией, согласно теории планирования и управления в производстве плитных композиционных материалов, является горячее прессование [1]. В результате воздействия температуры и давления опилочный брикет превращается в материал с заданными плотностью и свойствами. Для достижения предъявляемых к материалу технических требований, согласно действующим техническим нормативным правовым актам, необходимо, чтобы режим прессования обеспечивал решение такой задачи, как сближение древесных частиц и их контакт на время, необходимое для образования клеевых соединений.

Эта задача решается созданием не только необходимого удельного давления прессования, но и быстрого смыкания нагревательных плит прессового оборудования до толщины дистанционных прокладок и стабильного удержания их в этом положении на протяжении всего цикла прессования. Кроме того, необходимо создавать условия для быстрого и полного отверждения связующего путем прогрева всего объема опилочного брикета до температуры, достаточной для протекания реакции отверждения связующего, испарения избыточной влаги и удаления парогазовой смеси через торцы и пласти брикета [2, 3]. Решающими факторами, определяющими режимы прессования плитных материалов, являются продолжительность прессования и температура прогрева плит прессового оборудования [4, 5].

Под продолжительностью прогрева подразумевается время, в течение которого температура в середине плиты достигает такого значения, при которой происходит отверждение связующего (вяжущего), а также перераспределение и удаление из брикета влаги в виде пара.

С увеличением скорости нагрева уменьшается время выдержки плит в прессовом оборудовании и, следовательно, повышается его производительность, что приводит к снижению себестоимости продукции. В работе И. Г. Корчаго [6] отмечается, что время прогрева плит зависит от многих факторов, и в частности от типа применяемых древесных частиц.

Наиболее быстро прогреваются плиты из мелкой станочной стружки и опилок, более медленно – плиты из специально резанной стружки [6]. Мелкие древесные частицы более плотно компонуются в опилочном брикете, препятствуя, тем самым, перемещению в нем влаги в виде пара. Это вызывает более быстрый прогрев внутренних слоев, но увеличивает время прессования. Такой характер прогрева брикета может быть связан с тем, что плотно скомпанованные мелкие частицы препятствуют выходу парогазовой смеси из него.

Установлено, что при использовании в качестве вяжущего жидкого стекла значительно повышается влажность получаемого брикета по сравнению с традиционно достигаемой влажностью в технологии древесностружечных плит. Так, влажность осмоленной стружки при использовании карбамидоформальдегидных смол составляет порядка 9–12%, а в случае жидкого стекла – 40–45% [7–10].

Исследованию влияния влажности древесных частиц на свойства древесностружечных плит посвящены работы многих авторов [11–14]. Влажность древесных частиц оказывает существенное влияние не только на свойства получаемых плит, но и на технологические режимы процесса прессования. Важно отметить, что с ростом влажности увеличивается избыточное давление пара внутри плиты, а это приводит к разрушению некоторого количества образовавшихся связей и, следовательно, снижению прочности плит. Существенное влияние на процесс прессования и свойства получаемых плитных материалов оказывает также температура прессования. Согласно исследованиям Г. М. Шварцмана [15], с повышением температуры прессования, т. е. с увеличением градиента температуры, увеличивается и градиент избыточного давления пара, что ускоряет прогрев пакета за счет массопереноса. По мере прогрева брикета влажность его наружного слоя резко падает в результате продвижения образующегося пара во внутрь брикета. При этом влажность внутреннего слоя брикета постепенно возрастает, затем достигает максимума и только потом начинает снижаться

вследствие частичного выхода пара через торцы, что приводит к понижению общей влажности плиты [15].

Одним из способов ускорения прогрева прессуемого пакета является повышение температуры плит пресса. Однако повышение их температуры ограничено из-за возможности преждевременного отверждения связующего в поверхностных слоях брикета [16]. Согласно данным Э. А. Шахзадяна, на большинстве предприятий температура плит пресса при прессовании древесностружечных плит принята в пределах 145–185°C.

Основная часть. Отличительной особенностью теплоизоляционных материалов является их низкая плотность. К таким материалам на минеральном вяжущем относятся материалы со средней плотностью до 500 кг/м³ [17].

Для получения плитных материалов низкой плотности прессование в полочных прессах не требуется, достаточно укладки массы в формы и ее дальнейшей выдержки при комнатной или повышенной температуре до достижения транспортировочной прочности.

Для разработки режима формования теплоизоляционного материала было проверено два способа его получения: при термообработке исходной массы и при комнатной температуре.

Предварительными опытами было установлено соотношение опилок и модифицированного жидкого стекла, необходимое для равномерного смачивания опилок [7]. С учетом их результатов были изготовлены образцы размерами 100×100 мм и толщиной 50 мм по рецептуре, приведенной в источниках [7, 18, 19]. Плотность получаемых образцов составила (360 ± 20) кг/м³.

При загрузке массы из опилок и вяжущего в формы, в центр ее вводили предварительно от-

тарированную термопару, подключенную к цифровому вольтметру В7-27А/1. Форму помещали в нагретый до 150°C термошкаф. Температура термообработки массы была принята аналогичной температуре, используемой при получении конструкционного материала [7]. Изменение температуры в центре образца во времени показано на рис. 1.

Как видно из рис. 1, в первые тридцать минут выдержки температура в центре образца возрастает незначительно, что можно объяснить некоторым остыванием термошкафа во время помещения в него форм. По достижении термошкафом 100°C температура внутри образца практически не меняется в течение 70 мин, что связано с переходом влаги в парообразное состояние и перераспределением ее по толщине образца. Затем температура начинает достаточно быстро возрастать и достигает 150°C через 230 мин с начала эксперимента, что связано с удалением физической и кристаллогидратной воды. Согласно источнику [20], при увеличении температуры от 20 до 300°C из раствора Na₂O · SiO₂ удаляется 84,5% воды от общего ее содержания (для трехмодульного жидкого стекла).

Для определения сроков схватывания массы в формах с нагревом и без нагрева был использован прибор Вика, позволяющий достаточно просто и с большой степенью точности оценивать изменение вязкости массы. Форму с исследуемой массой периодически помещали под иглу, которая под действием груза погружалась в массу, и при этом фиксировали глубину погружения иглы. Эксперимент проводили на образцах, которые были приготовлены по той же рецептуре, что и в вышеописанном исследовании. Температура, при которой определяли сроки схватывания композиции, составляла (20 ± 2)°C, (100 ± 2)°C и (150 ± 2)°C. Результаты исследований представлены на рис. 2.

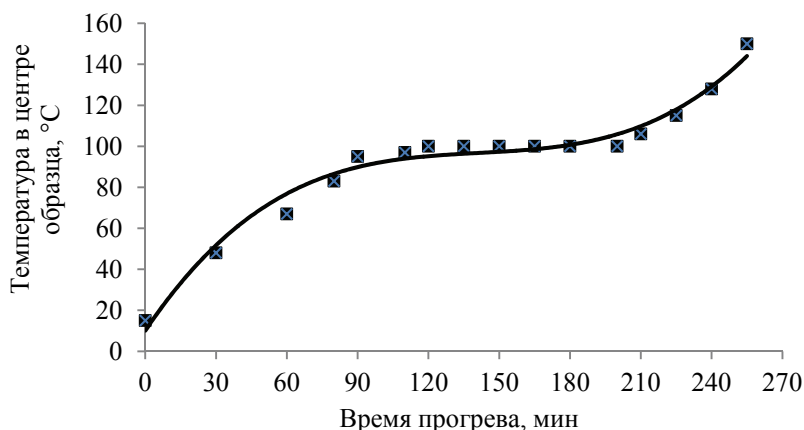


Рис. 1. Зависимость изменения температуры в центре образца от времени прогрева

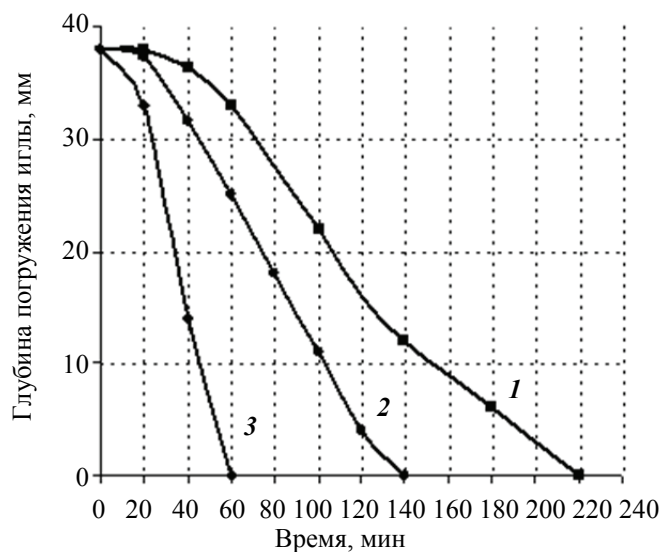


Рис. 2. Влияние параметров выдержки на сроки схватывания массы при получении теплоизоляционного материала:
1 – $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$; 2 – $(100 \pm 2)^\circ\text{C}$; 3 – $(150 \pm 2)^\circ\text{C}$

Как видно из рис. 2, в случае испытаний образцов, выдерживаемых при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, в течение первых 45 мин с момента введения в опилки вяжущего игла полностью проходила сквозь образец. После 45-минутной выдержки началось схватывание смеси, вязкость образцов стала возрастать, а глубина погружения иглы уменьшаться. Через 220 мин с начала эксперимента наступило окончание схватывания.

Таким образом, можно считать, что через 4 ч после приготовления теплоизоляционный материал набирает достаточную прочность, позволяющую извлекать его из формы и транспортировать к месту использования. Схватывание образцов, выдерживаемых при температуре 100°C ,

началось через 22 мин, а время достижения окончания схватывания, когда прочность материала позволила извлечь его из формы, составляло 140 мин. Схватывание для образцов, выдерживаемых при температуре 150°C , началось через 14 мин, а время окончания процесса составляло 60 мин. Для определения влияния температуры на прочностные характеристики были изготовлены 4 партии образцов по следующим рецептурам: к 100 мас. ч. опилок добавляли 150 мас. ч., 200 мас. ч., 250 мас. ч. и 300 мас. ч. модифицированного жидкого стекла. Температуру термообработки меняли в диапазоне от 20 до 160°C с интервалом 20°C . Полученные образцы испытывали на прочность на сжатие. Результаты исследований представлены на рис. 3.

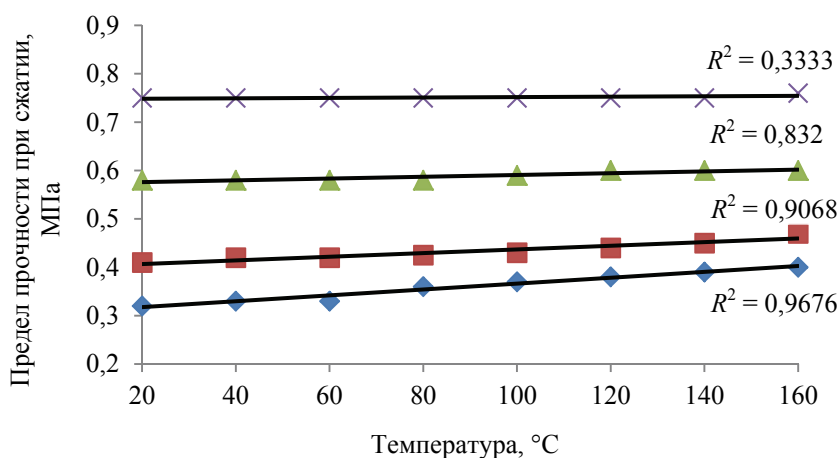


Рис. 3. Влияние температуры получения теплоизоляционного материала на его прочность:
Содержание вяжущего, мас. ч.:
♦ – 150; ■ – 200; ▲ – 250; × – 300

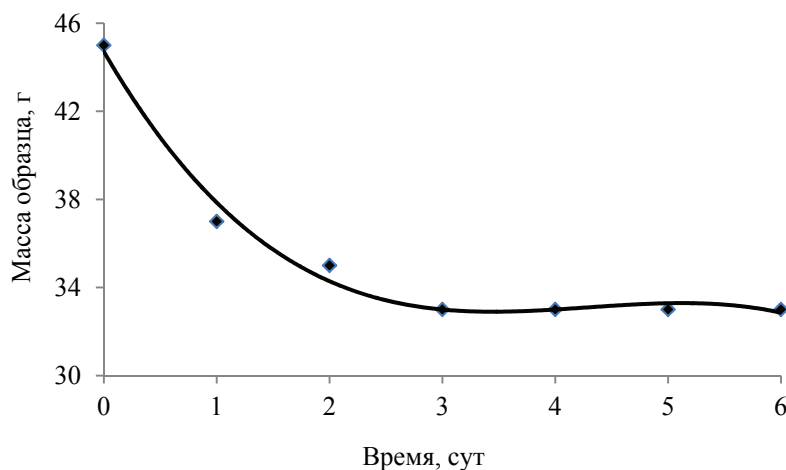


Рис. 4. Динамика высыхания теплоизоляционного материала при комнатной температуре

Как видно из рис. 3, на прочность в большей степени влияет количество вяжущего. Температура формования существенного воздействия на прочность образцов не оказывает, однако влияет на время схватывания массы и влажность получаемых образцов. Важнейшим условием упрочнения пленок жидкого стекла является его дегидратация под воздействием тепла [21, 22]. Однако температура, принятая для получения материала, является недостаточной для окончательной дегидратации жидкого стекла, в результате чего прочность образцов существенно не возрастала. Образцы, полученные без термообработки, имели высокую влажность, и потребовалось дополнительное время для их окончательного высыхания. Динамика изменения массы образцов от времени выдержки при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ представлена на рис. 4.

Как видно из рис. 4, для достижения образцами постоянной массы потребовалось 4 дня. Конечная влажность образцов составила 9,5%.

Заключение. В результате выполненных исследований установлено влияние температуры на

сроки схватывания образцов древесно-минерального композиционного материала теплоизоляционного назначения. При температуре 150°C оно составляет 60 мин, при 100°C – 140 мин, при 20°C – 220 мин. Постоянной влажности (9,5%) образцы, полученные при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, достигли за 4 дня. Учитывая высокую стоимость энергоносителей, можно рекомендовать получение древесно-минерального композиционного материала теплоизоляционного назначения при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

При изготовлении древесно-минерального композиционного материала теплоизоляционного назначения температура оказывает влияние только на продолжительность выдержки и влажность материала. На прочность плит влияет количество вяжущего: с его увеличением прочность возрастает. В связи с этим за оптимальные технологические параметры изготовления плитного композиционного материала теплоизоляционного назначения приняты те, которые обеспечивают достаточные прочностные свойства плит при минимальных затратах на их производство.

Список литературы

1. Еспаева А. С. Технология плитных материалов. Алматы: ТОО РПИК «Дэуір», 2011. 488 с.
2. Угрюмов С. А., Смирнов Д. А. Композиционные материалы на основе отходов деревообработки // Костромской государственный технологический университет. 2012. URL: <http://rae.ru/forum2012/pdf/1958.pdf> (дата обращения 10.10.2020).
3. Чубинский А. Н., Варанкина Г. С., Русаков Д. С. Технология древесных плит. СПб.: СПбГЛТУ, 2019. 37 с.
4. Отлев И. А., Дыскин И. М. Динамика изменения температуры и избыточного давления парогазовой смеси в стружечном брикете // Деревообрабатывающая промышленность. 1984. № 10. С. 7–8.
5. Справочник по производству древесностружечных плит / И. А. Отлев [и др.]. М.: Лесная пром-сть, 1990. 384 с.
6. Корчаго И. Г. Древесностружечные плиты из мягких отходов. М.: Лесная пром-сть, 1971. 104 с.
7. Дубовская Л. Ю. Композиционные материалы на основе мягких древесных отходов и модифицированного жидкого стекла. Минск: Белпринт, 2010. 188 с.
8. Дубовская Л. Ю., Янушкевич А. А. Композиционный материал на основе древесных отходов и минерального вяжущего // Известия Белорусской инженерной академии. 2004. № 2. С. 29–30.

9. Дубовская Л. Ю., Игнатович Л. В., Бахар Л. М. Теплоизоляционный материал на основе древесных опилок и минерального вяжущего // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2005. Вып. XIII. С. 169–170.
10. Дубовская Л. Ю. Теплоизоляционный материал на основе древесных отходов и минерально-связующего // Деревообрабатывающая промышленность. 2005. № 3. С. 13–14.
11. Методы исследования древесины и ее производных / Н. Г. Базарнова [и др.]. Барнаул: Алт. гос. ун-т, 2002. 160 с.
12. Исследование взаимодействия компонентов древесины в процессе ее термической обработки. Особенности термических превращений целлюлозы в комплексе с другими компонентами / Г. Э. Домбург [и др.] // Химия древесины. 1983. № 3. С. 62–79.
13. Чельшева И. Н. Использование отходов переработки древесины при производстве древесноволокнистых плит // ЭКиП: Экология и промышленность России. 2006. № 12. С. 22–25.
14. Композиционный материал на минеральном вяжущем: заявка на пат. Респ. Беларусь / Л. Ю. Дубовская; заявитель УО «Белорусский государственный технологический университет». № а 20050936; заявл. 20.09.2005; положительное решение 21.06.07.
15. Шварцман Г. М. Производство древесностружечных плит. М.: Лесная пром-сть, 1977. 312 с.
16. Шахзадян Э. А., Квачев Ю. А., Попков В. С. Температурные переходы в древесине и ее композитах // Высокомолекулярные соединения 1992. Т. 34А, № 9. С. 3–14.
17. Сулименко Л. М. Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе. М.: Высшая школа, 2005. 334 с.
18. Дубовская Л. Ю. Теплоизоляционный материал на основе древесных отходов и минерально-связующего // Деревообрабатывающая промышленность. М., 2005. № 3. С. 13–14.
19. Дубовская Л. Ю., Игнатович Л. В., Бахар Л. М. Теплоизоляционный материал на основе древесных опилок и минерального вяжущего // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2005. Вып. XIII. С. 169–170.
20. Корнеев В. И., Данилов В. В. Производство и применение растворимого стекла. Жидкое стекло. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1991. 176 с.
21. Сычев М. М. Твердение вяжущих веществ. Л.: Стройиздат, 1974. 80 с.
22. Кудина Е. Ф. Разработка органосиликатных связующих и гибридных наполнителей для композиционных материалов машиностроительного назначения: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.02.01. Гомель, 2001. 21 с.

References

1. Yespayeva A. S. *Tekhnologiya plitnykh materialov* [Technology of plate materials]. Almaty, TOO RPIK «Дәуір» Publ., 2011. 488 p.
2. Ugryumov S. A., Smirnov D. A. Composite materials based on woodworking waste. *Kostromskoy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet* [Composite materials based on woodworking waste]. Kostroma State Technological University, 2012. Available at. <http://rae.ru/forum2012/pdf/1958.pdf> (accessed 10.10.2020)
3. Chubinsky A. N., Varankina G. S., Rusakov D. S. *Tekhnologiya drevesnykh plit* [Technology of wood-based panels]. St. Petersburg, SPbGLTU Publ., 2019. 37 p.
4. Otlev I. A., Dyskin I. M. Dynamics of temperature change and excess pressure of a steam-gas mixture in a chip briquette. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 1984, no. 10, pp. 7–8 (In Russian).
5. *Spravochnik po proizvodstvu drevesnostruzhechnykh plit* [Reference book on the production of particle boards]. I. A. Otlev [et al.]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 384 p.
6. Korchago I. G. *Drevesnostruzhechnyye plity iz myagkikh otkhodov* [Wood chip plates from soft wastes]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 104 p.
7. Dubovskaya L. Yu. *Kompozitsionnyye materialy na osnove myagkikh drevesnykh otkhodov i modifitsirovannogo zhidkogo stekla* [Composite materials based on soft wood waste and modified liquid glass]. Minsk, Belprint Publ., 2010. 188 p.
8. Dubovskaya L. Yu., Yanushkevich A. A. Composite material based on wood waste and mineral binders. *Izvestiya Belorusskoy inzhenernoy akademii* [Bulletin of the Belarusian Engineering Academy], 2004, no. 2, pp. 29–30 (In Russian).
9. Dubovskaya L. Yu., Ignatovich L. V., Bakhar L. M. Thermal insulation material based on sawdust and mineral binder. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2005, issue XIII, pp. 169–170 (In Russian).
10. Dubovskaya L. Yu. Thermal insulation material based on wood waste and mineral binder. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2005, no. 3, pp. 13–14 (In Russian).

11. *Metody issledovaniya drevesiny i yeye proizvodnykh* [Methods for the study of wood and its derivatives]. N. G. Bazarnova [et al.]. Barnaul, Izdatel'stvo Altayskogo gosudarstvennogo universiteta Publ., 2002. 160 p.

12. Study of the interaction of wood components in the process of its heat treatment. Features of thermal transformations of cellulose in a complex with other components. G. E. Domburg [et al.]. *Khimiya drevesiny* [Wood Chemistry], 1983, no. 3, pp. 62–79 (In Russian).

13. Chelysheva I. N. The use of wood processing waste in the production of fibreboard. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2006, no. 12, pp. 22–25 (In Russian).

14. Dubovskaya L. Yu. *Kompozitsionnyy material na mineral'nom vyazhushchem* [Composite material based on mineral binder]. Application for US Pat. Rep. Belarus, no. a 20050936, declared 20.09.2005, positive decision on 21.06.07.15.

15. Shvartsman G. M. *Proizvodstvo drevesnostruzhechnykh plit* [Production of particle boards]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 312 p.

16. Shakhzadyan E. A., Kvachev Yu. A., Popkov V. S. Temperature transitions in wood and its composites. *Vysokomolekulyarnyye soyedineniya* [High-molecular compounds], 1992, vol. 34A, no. 9, pp. 3–14 (In Russian).

17. Sulimenko L. M. *Tekhnologiya mineral'nykh vyazhushchikh materialov i izdeliy na ikh osnove* [Technology of mineral binding materials and products based on them]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2005. 334 p.

18. Dubovskaya L. Yu. Thermal insulation material based on wood waste and mineral binder *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2005, no. 3, pp. 13–14 (In Russian).

19. Dubovskaya L. Yu., Ignatovich L. V., Bakhar L. M. Thermal insulation material based on sawdust and mineral binder. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry. Minsk, 2005, issue XIII, pp. 169–170 (In Russian).

20. Korneyev V. I., Danilov V. V. *Proizvodstvo i primeneniye rastvorimogo stekla. Zhidkoye steklo* [Production and application of soluble glass. Liquid glass]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1991. 176 p.

21. Sychev M. M. *Tverdeniye vyazhushchikh veshchestv* [Hardening of binders]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1974. 80 p.

22. Kudina Ye. F. *Razrabotka organosilikatnykh svyazuyushchikh i gibridnykh napolniteley dlya kompozitsionnykh materialov mashinostroitel'nogo naznacheniya. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Development of organosilicate binders and hybrid fillers for composite materials for machine-building purposes. Abstract of thesis cand. of engineer. sci.]. Gomel, 2001. 21 p.

Информация об авторах

Дубовская Людмила Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры ин-терьера и оборудования. Белорусская государственная академия искусств (220012, г. Минск, пр. Независимости, 81а, Республика Беларусь). E-mail: luda.dubovskaya@tut.by

Игнатович Людмила Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ignatovich@belstu.by, lignatovich6@gmail.com

Дубоделова Екатерина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: katedubodelova@tut.by

Information about the authors

Dubovskaya Lyudmila Yurievna – PhD (Engineering), Associate Professor, Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Academy of Arts (220012, Minsk, Independence Avenue, 81a, Republic of Belarus). E-mail: luda.dubovskaya@tut.by

Ignatovich Lyudmila Vladimirovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (220006, Minsk, Sverdlova str., 13a, Republic of Belarus). E-mail: ignatovich@belstu.by, lignatovich6@gmail.com

Dubodelova Yekaterina Vladimirovna – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (220006, Minsk, Sverdlova str., 13a, Republic of Belarus). E-mail: katedubodelova@tut.by

Поступила 18.10.2020

УДК 674.048

С. С. Утгоф, В. О. Куневич

Белорусский государственный технологический университет

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ**

Мягколиственные породы древесины являются одним из основных ресурсов для деревообрабатывающей промышленности, но низкая прочность и жесткость, небольшой срок службы, невыразительные цвет и текстура ограничивают их применение в качестве облицовочных материалов. Большинство мягколиственных пород отличаются быстрым ростом, следствием чего является высокий процент возобновляемости. В связи с этим проводятся исследования по улучшению эстетических, физических и механических свойств, таких как твердость и прочность древесины, без применения химических составов. В качестве способа улучшения физико-механических свойств древесины широко применяется метод термомеханического модифицирования.

В данной работе обоснована необходимость исследования и развития технологий термомеханической модификации древесины. Рассмотрены уже существующие и применяемые способы модификации. Проведен анализ исследований на тему модифицирования древесины термомеханическим путем, описаны методики и применяемое оборудование. Целью данного анализа является необходимость нахождения оптимальных режимов обработки мягколиственных пород древесины для получения деталей, по физико-механическим свойствам не уступающих аналогичным деталям из твердолиственных пород древесины. Выбор оптимальных режимов может обеспечить применение высокопроизводительного оборудования.

В ходе проведения анализа информации из литературных источников установлены оптимальные диапазоны значений технологических факторов, таких как давление (P , МПа), температура (t , °С) и время (τ , с), для проведения дальнейших испытаний.

Ключевые слова: прессование древесины, термическая обработка, физико-механические свойства, прочность.

Для цитирования: Утгоф С. С., Куневич В. О. Анализ современных технологий термомеханического модифицирования древесины // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 176–181.

S. S. Utgof, V. O. Kunevich

Belarusian State Technological University

**THE ANALYSIS OF MODERN TECHNOLOGIES
OF THERMO-MECHANICAL MODIFICATION OF WOOD**

Soft-leaved wood species are one of the main resources for the wood-processing industry, but their low strength and rigidity, short service life, and inexpressive color and texture limit their use as facing materials. Most soft-leaved species are characterized by rapid growth, resulting in a high percentage of renewability. In this regard, research is being conducted to improve the aesthetic, physical and mechanical properties, such as the hardness and strength of wood, without the use of chemical compounds. Thermomechanical modification is widely used as a method for improving the physical and mechanical properties of wood.

This paper substantiates the need for research and development of technologies for thermo-mechanical modification of wood. Existing and applied modification methods were considered. The analysis of research on the topic of modification of wood by thermomechanical means is carried out, the methods and equipment used are described. The purpose of this analysis is the need to find optimal processing modes for softwood to obtain parts with physical and mechanical properties that are not inferior to those of hardwoods. The choice of optimal modes can provide a choice of high-performance equipment.

During the analysis of information from the literature, optimal ranges of values of technological factors, such as pressure (P , МПа), temperature (t , °С) and time (τ , С), were established for further testing.

Key words: wood pressing, heat treatment, physical and mechanical properties, strength.

For citation: Utgof S. S., Kunevich V. O. The analysis of modern technologies of thermo-mechanical modification of wood. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 179–181 (In Russian).

Введение. Древесина используется на протяжении всей истории благодаря своим прочностным характеристикам, стоимости и возобновляемости. В настоящее время наблюдается рост спроса на древесину в связи с демографическим и экономическим ростом в мире. Считается, что в будущем лесное хозяйство не сможет удовлетворить потребности производства по переработке древесины. В связи с этим большое внимание уделяется лесопосадкам и быстрорастущим древесным породам с низкой плотностью. Для улучшения существующих свойств или придания новых используют такие технологические методы модификации, как пропитка, прессование и термообработка. Использование одного из способов или совместная комбинация позволяет повысить прочность, формоизменяемость, антифрикционные свойства и др. Так, в процессе пропитки вещества, проникающие в полость клеточной стенки древесины, увеличивают прочность и стабильность размеров, а проведение процесса прессования способствует повышению плотности. Термическая обработка во всех случаях способствует закреплению приобретенных свойств. Интересным является изучение совместного действия двух или нескольких методов модификации древесины. Актуальным остается вопрос о получении модифицированной древесины, по стоимости дешевле древесины твердых лиственных пород, при этом способной стать полноценным ее заменителем. Помимо данных задач, необходимо реализовывать повышение спроса и более широкое применение древесины быстрорастущих лиственных пород в производстве. Поэтому для каждой исследуемой породы и под каждую поставленную задачу требуется разрабатывать индивидуальные оптимальные режимы обработки.

Основная часть. Целью данной работы является анализ собранных сведений о режимах термомеханической обработки древесины лиственных пород. Для исследования в качестве метода модификации было выбрано термомеханическое модифицирование, так как этот метод экологически чистый и в дальнейшем полученный материал может считаться безопасным.

К настоящему времени известно несколько способов термомеханического модифицирования древесины. К ним относятся: непрерывная усадка под давлением, модификация со ступенчатым прессованием, с предварительным нагревом, с предварительным пропариванием [1, 2].

При первом методе древесина нагревается и уплотняется между плитами пресса при давлении 15–35 МПа и температуре $t = 140\text{--}160^\circ\text{C}$. Образцы выдерживают в прессе до 14 400 с.

При ступенчатом методе прессования образцы влажностью $W = 8\%$ и температуре $t = (20 \pm 2)^\circ\text{C}$ подвергаются ступенчатому прессованию с давлением плит пресса в диапазоне от 1,5 до 5,0 МПа. Затем, с увеличением температуры до 135°C , образцы выдерживаются под давлением $P = 5$ МПа в течение 2400 с. Охлаждение происходит в сжатых плитах пресса до полного остывания. Данный метод позволяет сократить время уплотнения, но количество плит пресса должно соответствовать количеству ступеней прессования.

Для автоматизации данного процесса необходима сложная система передачи образцов от одного объекта к другому.

При методе прессования с предварительным нагревом образцы влажностью $W = 8\%$ помещаются в камеру при температуре $t = 100^\circ\text{C}$ и влажности $W = 87\%$ для нагрева в течение 1200 с. После этого уплотняются в прессе при температуре $t = 135^\circ\text{C}$ и постоянном удельном давлении $P = 5$ МПа. Далее, при сохранении давления, температура плит пресса увеличивается до $t = 140^\circ\text{C}$ и образцы прессуются в течение 1200 с. Охлаждение также происходит в плитах пресса до полного остывания. Предварительное нагревание в сушильных камерах заготовок позволяет значительно сократить время дальнейшего прессования, которое составляет 2700–4200 с, в зависимости от толщины образцов. Это делает возможным применение прессования древесины в производственных масштабах с применением многоэтажных гидравлических прессов [3, 4].

Метод уплотнения древесины с предварительным пропариванием отличается от предыдущего метода тем, что заготовки, высушенные до влажности $W = 15\%$, предварительно пропариваются при температуре водяного пара $t = 100\text{--}105^\circ\text{C}$ в специальных камерах под давлением до 0,101 МПа в течение 2400–3600 с в зависимости от размера заготовок. Прессование происходит при температуре $t = 100\text{--}105^\circ\text{C}$ и удельном давлении $P = 15\text{--}29$ МПа. Заготовки после прессования подвергаются сушке в сушильных камерах, а затем охлаждаются. Достоинством этого метода являются меньшие усилия при прессовании, так как пропаренная древесина пластична и требует меньших усилий для упрессовки, соответственно, возможно применение прессов с меньшей мощностью. Однако главный минус данного метода заключается в необходимости большого количества прессформ, что усложняет организацию пространства производства модифицированной древесины и удорожает конечную продукцию.

Таблица 1

Параметры режимов уплотнения древесины

Вид модификации	P , МПа	t , °С	τ , с
Непрерывная усадка под давлением	15–35	140–160	14 400
Модификация со ступенчатым прессованием	1,5–5	135	2 400
Модификация с предварительным нагревом	5	135–140	1 200
Модифицирование с предварительным пропариванием	15–29	100–105	2 400–3 600
Модификация с предварительной пропиткой льняным маслом и воском	15	140–160	240

В последнее время становится актуальным метод, при котором образцы древесины пропитываются экологически чистыми веществами, такими как льняное масло и воск. Для этого заготовки влажностью $W = 15\%$ пропитываются при комнатной температуре льняным маслом или раствором воска в льняном масле. Образцы пропитываются в 2 слоя, после каждого слоя происходит выдержка в течение суток. Далее образцы нагреваются в прессе до температуры $t = 140\text{--}160^\circ\text{C}$ и уплотняются в течение 240 с при удельном давлении $P = 5$ МПа. На конечном этапе происходит выдержка в плитах пресса до полного остывания. Достоинством данного метода является значительное сокращение времени прессования. Но при этом большую часть времени занимает пропитка образцов [2, 4–6].

Все показатели режимов обработки сведены в табл. 1.

Уплотнение древесины может быть поверхностным и объемным. Объемное уплотнение проводится для пропаренной или увлажненной до насыщения древесины, вследствие которого получается однородный по всему объему материал. Для проведения такого испытания расходуются большие количество времени и объем энергии. Преимуществом поверхностного метода прессования является то, что древесину необходимо нагревать только с той стороны, улучшение свойств которой требуется. Недостатками такого метода являются уменьшение степени уплотнения образцов со временем во влажных условиях, внутренние напряжения, возникающие при прессовании, которые приводят к короблению заготовок. Для уменьшения внутренних напряжений проводят термическую обработку образцов. Высокие температуры приводят к необратимому изменению химической структуры древесины. Данный процесс является экологически чистым, так как применяется только пар, воздух и тепло. Таким образом, данная технология может быть использована для значительного уменьшения степени распрессовки древесины.

Уплотнение древесины можно проводить как в позиционном оборудовании, так и в оборудовании проходного типа. Позиционное оборудование позволяет прессовать заготовки значительной толщины, в то время как на прокатных станках проходного типа удобно использовать образцы с малой толщиной.

Одним из самых механизированных методов является метод прокатки. Образцы предварительно нагревают до температуры $90\text{--}95^\circ\text{C}$, после чего они проходят через несколько пар нагретых цилиндрических роликов с постепенным нарастанием уплотнения. Преимуществом данного метода является непрерывный процесс прессования, что в значительной степени увеличивает производительность оборудования и сокращает трудозатраты.

Известен способ, при котором образцы помещаются в пресс-формы, усыхают за счет чередования процессов увлажнения заготовок при погружении пресс-формы в воду и дальнейшей сушки в сушильной камере. Этот способ не позволяет достичь высокой степени уплотнения и является длительным и трудоемким.

Разновидностью уплотнения заготовок является поверхностное уплотнение вибрирующими нагретыми роликами. Такой метод позволяет получить поверхности высокого качества с глянцевым блеском. Уплотненная древесина данным способом плохо смачивается. Недостатками данного метода считается дорогостоящее оборудование.

Один из распространенных методов прессования древесины осуществляется с помощью гидравлических прессов. Образцы, предварительно высушенные до влажности $W = 10 \pm 2\%$, помещаются между нагретыми плитами пресса. В течение времени τ образцы находятся под давлением P . После снятия напряжения охлаждаются.

Для испытаний выбирают наиболее распространенные лиственные породы древесины. В лабораторных условиях заготовки получают из обрезной доски, соответствующей требованиям СТБ 1714-2007. В образцах не допускается наличие косослойности, свилеватости,

сучков, трещин и других дефектов, способных оказать влияние на качество получаемой продукции. Строго регламентируется влажность древесины. Перед проведением испытаний образцы взвешиваются и замеряются их линейные размеры. Находится плотность каждого образца.

Для исследования будут рассмотрены методы только с применением непрерывной усадки под давлением или термического сжатия. Термическое сжатие – это метод модификации древесины, который сочетает в себе термические и механические процессы и приводит к уплотнению древесины. Основной целью комбинирования сжатия и нагрева древесины является улучшение физико-механических свойств древесины. Основной целью термомеханической модификации является преобразование химического состава древесины с помощью тепла, что приводит к изменению физической характеристики. Как известно, свойства модифицированной древесины можно регулировать в зависимости от режимов обработки, породы и начальной влажности.

В сводной табл. 2 приведены основные показатели режимов термомеханического модифицирования [7, 8–11].

Основой для выбора режима термомеханического модифицирования древесины являются показатели свойств, получаемые после обработки древесины. Необходимо учитывать, что при изменении одних свойств могут ухудшаться другие. Таким образом, стоит задача получения такого режима, при котором все свойства будут иметь оптимальные значения. Полученные образцы испытывают для нахождения твердости, износостойкости, влагопоглощения и шероховатости. Данные показатели являются основными при определении качества облицовочного покрытия.

Испытание твердости производится в соответствии с ГОСТ 16483.17-81. Приспособлении, состоящем из корпуса, пуансона с наконечником в виде полусферы радиусом $(5,64 \pm 0,01)$ мм. Образец помещают в приспособление, в него на

определенную глубину вдавливается пуансон. При достижении заданной глубины вдавливания в образец определялась нагрузка F с погрешностью не более 1%. Статическая твердость образца H_w^n , Н/мм², вычисляется по формуле

$$H_w^n = \frac{4F}{3\pi r^2}. \quad (1)$$

Результаты исследований показывают, что уплотнение древесины и изменение твердости приводит к значительному увеличению плотности материала. Чем выше плотность, тем выше твердость и наоборот, данная зависимость имеет линейный характер.

Для измерения шероховатости можно использовать полуавтоматический профилограф-профилометр. На профилометрах с помощью шупа воспроизводят профиль поверхности. В шуп прибора устанавливается игла и располагается на испытываемом образце. Шероховатость определяют по шкале прибора, цифровому табло или по профилограмме и выводят данные на экран компьютера.

Испытание модифицированных образцов на влагопоглощение можно произвести с помощью эксикатора и взвешивания в соответствии с ГОСТ 16483.19–72. Вначале образцы взвешивают и отправляют в эксикатор, в который наливают насыщенный раствор соды. Периодически происходит взвешивание образцов. Минимальная продолжительность выдерживания образцов составляет 30 сут. Испытание заканчивается, когда разность между двумя последними взвешиваниями будет не более 0,002 г. Количество поглощенной влаги вычисляется по формуле

$$w = \frac{m_n - m_1}{m_1 - m} 100, \quad (2)$$

где m_n – масса бюксы с образцом, взвешенной через n суток с момента первоначального помещения образца в эксикатор, г; m_1 – масса бюксы с образцом в абсолютно сухом состоянии, г; m – масса бюксы, г.

Таблица 2

Режимы термомеханического модифицирования древесины лиственных пород

Тема исследования	P , МПа	t , °C	τ , с
Влияние ультрафиолетового излучения на термомеханически модифицированную древесину	80	100–200	180
Особенности структурных изменений при термомеханическом модифицировании древесины	19,0–19,5	100–110	120–180
Микроскопическое исследование дефектов в термически спрессованных древесных панелях	2	170	2700
Влияние термической модификации на физические свойства древесины	5	120	1800

За показатель влагопоглощения принимается максимальная влажность древесины, выдержанной до прекращения влагопоглощения, но не менее 30 сут. [9, 12–15].

Заключение. Таким образом, для дальнейшего исследования модификации древесины лиственных пород необходимо на основе полученных данных сформировать диапазон каждого пара-

метра для дальнейшего нахождения оптимального режима. В данном случае оптимальными параметрами будут следующие диапазоны: $P = 5–15$ МПа, $t = 100–140$ °С, $\tau = 120–180$ с. Выбор диапазона обоснован необходимостью разработки технологического режима термомеханического модифицирования для производства облицовочных панелей в промышленных масштабах.

Список литературы

1. Игнатович Л. В., Утгоф С. С. Особенности структурных изменений при термомеханическом модифицировании древесины сосны и ольхи // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообрабатывающая промышленность. С. 130–136.
2. Хухрянский П. Н. Прессование древесины // Лесная промышленность. 1964. С. 351.
3. Тарбеева Н. А., Рублева О. А. Влияние режимов упрочняющей декоративной обработки на эксплуатационные характеристики изделий из древесины сосны // Сб. ст. XVIII Всерос. науч.-практ. конф.: в 3 т. Вятка: Вятский гос. ун-т, 2018. Т. 2. С. 993–1000.
4. Шамаев В. А. Перспективы производства и применения модифицированной древесины // Научный журнал КубГАУ. 2012. № 78. URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/14.pdf> (дата обращения: 20.10.2020).
5. Николин М. Е., Шейкман Д. В., Кошелева Н. А. Улучшение эксплуатационных свойств мягколиственных пород древесины модифицированием // VIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. М.: УГЛТУ. 2012. Ч. 1. С. 260–262.
6. Фомина О. А. Способы модифицирования древесины лиственных пород: отечественный и зарубежный опыт // Дневник науки. 2017. № 9. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30360480> (дата обращения: 18.10.2020).
7. Dogu D., Tirak Hizal K., Bakir D., Tuncer F. D., Candan Z., Ünsal Ö. Anatomical Structures of Thermally Compressed Paulownia Wood // Proceedings of the 58th International Convention of Society of Wood Science and Technology, Wyoming. 2015. P. 304–304.
8. Dilek D., Davut B., Tuncer F. D., Hizal K. T., Unsal O., Candan Z. Microscopic investigation of defects in thermally compressed poplar wood panels // Woods: Science and Technology. 2016. No. 18. P. 337–348.
9. Gonca Düzkale Sözbir, İbrahim Bektaş. The Effect of Heat Modification and Densification on Physical Properties of Poplar Wood // Wood industry. 2017. No. 68. P. 315–321.
10. Бекешива М. А., Колесникова А. А. Сравнительный анализ прочности древесины тополя, модифицированной различными способами // Технические науки. 2018. № 13. URL: <http://novauu.ru/public/p738> (дата обращения: 18.10.2020).
11. Batista D. C., Paes J. B., Bolzón De Muñiz G. I., Nisgoski S., Da Silva Oliveira J. T. Microstructural aspects of thermally modified Eucalyptus grandis wood // Woods: Science and Technology. 2015. No. 17. P. 525–532.
12. Laskowska A. The influence of ultraviolet radiation on the colour of thermo-mechanically modified beech and oak wood // Woods: Science and Technology. 2020. Vol. 22. No. 1. P. 55–68.
13. Candan Z., Korkut S., Unsal O. Thermally compressed Poplar wood. Physical and mechanical properties // Wood industry. 2013. No. 64. P. 107–211.
14. Kutnar A., Widmann R., Kamke F. A. Density, mechanical properties, and morphology of densified wood in relation to compression temperature and steam environments // Proc. of 8th European Conference on Wood Modification, Ljubljana, Slovenia. 2012. P. 167–174.

References

1. Ignatovich L. V., Utgof S. S. Features of structural changes during thermomechanical modification pine and alder wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 130–136 (In Russian).
2. Khukhryanskiy P. N. Pressing wood. *Lesnaya promyshlennost'* [Forest industry], 1964, pp. 351 (In Russian).
3. Torbееva N. A., Rubleva O. A. Influence of modes of strengthening decorative processing on operational characteristics of products made of pine wood. *Sbornik statey XVIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 3 t.* [Collection of articles of the XVIII all-Russian scientific and practical conference: in 3 vol.]. Vyatka, 2018, vol. 2, pp. 993–1000 (In Russian).

4. Shamaev V. A. Prospects of production and application of modified wood. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*, 2012, no. 78 (In Russian). Available at: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/14.pdf> (accessed 20.10.2020).
5. Nikolin M. E., Shyekman D. V., Kosheleva N. A. Improvement of operational properties of soft-leaved wood species by modification. *VIII Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov i aspirantov* [VIII all-Russian scientific and technical conference of undergraduate and graduate students]. Moscow, 2012, part 1, pp. 260–262 (In Russian).
6. Fomina O. A. Methods of modifying hardwood: domestic and foreign experience. *Dnevnik nauki*, 2017, no. 9 (In Russian). Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30360480> (accessed 18.10.2020).
7. Dogu D., Tirak Hizal K., Bakir D., Tuncer F. D., Candan Z., Ünsal Ö. Anatomical Structures of Thermally Compressed Paulownia Wood. *Proceedings of the 58th International Convention of Society of Wood Science and Technology*. Wyoming, 2015, pp. 304–304.
8. Dilek D., Davut B., Tuncer F. D., Hizal K. T., Unsal O., Candan Z. Microscopic investigation of defects in thermally compressed poplar wood panels. *Woods: Science and Technology*, 2016, no. 18, pp. 337–348.
9. Gonca Düzkale Sözbir, İbrahim Bektaş. The Effect of Heat Modification and Densification on Physical Properties of Poplar Wood. *Wood industry*, 2017, no. 68, pp. 315–321.
10. Bekisheva M. A., Kolesnikova A. A. Comparative analysis of the strength of poplar wood modified in various ways. *Tekhnicheskiye nauki*, 2018, no. 13 (In Russian). Available at: <http://novaum.ru/public/-p738> (accessed 18.10.2020).
11. Batista D. C., Paes J. B., Bolzón De Muñiz G. I., Nisgoski S., Da Silva Oliveira J. T. Microstructural aspects of thermally modified Eucalyptus grandis wood. *Maderas. Woods: Science and Technology*, 2015, no. 17, pp. 525–532.
12. Laskowska A. The influence of ultraviolet radiation on the colour of thermo-mechanically modified beech and oak wood. *Woods: Science and Technology*, 2020, vol. 22, no. 1, pp. 55–68.
13. Candan Z., Korkut S., Unsal O. Thermally compressed Poplar wood. Physical and mechanical properties. *Wood industry*, 2013, no. 64, pp. 107–211.
14. Kutnar A., Widmann R., Kamke F.A. Density, mechanical properties, and morphology of densified wood in relation to compression temperature and steam environments. *Proc. of 8th European Conference on Wood Modification*. Ljubljana, Slovenia, 2012, pp. 167–174.

Информация об авторах

Утгоф Светлана Сергеевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: utgof@belstu.by

Куневич Валерия Олеговна – магистрант кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь).

Information about the authors

Utgof Svetlana Sergeevna – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: utgof@belstu.by

Kunevich Valeria Olegovna – Master's degree student, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

Поступила 19.10.2020

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО	5
Климчик Г. Я., Бельчина О. Г. Влияние сплошнолесосечных и равномерно-постепенных рубок главного пользования на возобновление и живой напочвенный покров ельников орляковых и кисличных в первые годы после рубок.....	5
Прищепов А. А. Сравнительный анализ показателей линейного прироста подроста сосны до и после проведения рубки обновления.....	13
Прищепов А. А., Лабоха К. В. Изменения в живом напочвенном покрове сосняков мшистых после проведения первого приема рубки обновления.....	20
Углянец А. В., Гарбарук Д. К. Естественное возобновление леса в отселенных деревнях, расположенных на песчаных почвах в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции.....	26
Юшкевич М. В., Шиман Д. В., Климчик Г. Я., Бельчина О. Г., Клыш А. С. Некоторые особенности влияния рубок леса на содержание химических элементов в хвойных фитоценозах и почве в условиях Негорельского учебно-опытного и Минского лесхозов.....	42
ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ	52
Крук Н. К., Якимов Н. И., Тупик П. В., Юрениа А. В. Морфометрические показатели шишек и качество семян на лесосеменных плантациях лиственницы европейской.....	52
Поплавская Л. Ф., Ребко С. В., Тупик П. В. Результаты районирования сосны обыкновенной сорта Негорельская в Республике Беларусь.....	58
Селищева О. А., Веремейчик Л. А., Носников В. В. Оптимизация сроков посадки однолетних сеянцев липы мелколистной с открытой корневой системой.....	68
Юрениа А. В., Якимов Н. И., Соколовский И. В., Веремейчик Л. А. Приживаемость древесных и кустарниковых пород в санитарно-защитной зоне илового хозяйства УП «Минск-водоканал».....	74
	79
ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО	
Каплич В. М., Власенко А. Д. Эколого-фаунистическая оценка насекомых-вредителей городских зеленых насаждений северного и северо-центрального районов интродукции Беларуси.....	79
ТУРИЗМ И ЛЕСОХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО	88
Бессараб Д. А. К вопросу о развитии кемпингов и караванинга на территории Республики Беларусь.....	88
Страх Я. Л., Феськова Е. В., Игнатовец О. С. Популяционные различия макро-, микро-элементного состава растений и жирнокислотного состава липидов семян морошки приземистой (<i>Rubus chamaemorus</i> L.).....	94
Юшкевич Н. Т., Шумский Ю. И., Неверов А. В., Рубис А. В. Цифровая трансформация как механизм рационального использования лесных и охотничьих ресурсов.....	101
ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ	107
Вавилов А. В., Дашко А. Л., Замула А. А. О применении отходов строительства для устройства покрытий внутрихозяйственных дорог.....	107
Вавилов А. В., Грецкий А. А. К методике испытания мостовых кранов лесопромышленного комплекса.....	113
Германович А. О., Терешко Е. В. Методика обоснования параметров технологического процесса измельчения стволовой древесины в барабанной рубильной установке.....	118

Насковец М. Т., Хорошун Н. В. Перспективы развития контейнерных грузоперевозок в лесной отрасли Республики Беларусь	126
Мисуно Ю. И. Методика экспериментальных исследований по оценке эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами	132
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	141
Pásztory Z., Börcsök Z., Bazhelka I. K., Kanavalava A. A., Meleshko O. V. Thermal insulation panels from tree bark	141
Леонович О. К., Дупанов С. А. Исследование химических и структурных свойств натурального мореного дуба методом сканирующей микроскопии	150
Чуйков А. С., Игнатович Л. В. Особенности проектирования трехмерных моделей и конструкций декоративных элементов мебели и их изготовления	156
Рудак О. Г., Короб А. Ю. Исследование характера изменения влажности поверхностных и внутренних слоев древесины сосны при прогреве в ненасыщенной среде	162
Дубовская Л. Ю., Игнатович Л. В., Дубоделова Е. В. Оптимизация технологических режимов получения плитного древесно-минерального композиционного материала теплоизоляционного назначения	169
Утгоф С. С., Куневич В. О. Анализ современных технологий термомеханического модифицирования древесины.....	176

CONTENTS

FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE	5
Klimchik G. Ya., Bel'china O. G. Influence of continuous cutting and uniformly gradual main use cuttings on restoration and living soil cover of earlyakov and acid spirits in the first years after the cutting.....	5
Prishchepov A. A. Comparative analysis of indicators of linear growth of pine undergrowth before and after the regeneration felling.....	13
Prishchepov A. A., Labokha K. V. Changes in the field layer of <i>Pinetum pleuroziosum</i> after the first reception of regeneration felling.....	20
Uglyanets A. V., Garbaruk D. K. Natural forests regeneration in evicted villages located on sandy soils of the Chernobyl Nuclear Power Plant Exclusion Zone.....	26
Yushkevich M. V., Shiman D. V., Klimchik G. Ya., Bel'china O. G., Klysh A. S. Some features of the influence of logging on the content of chemical elements in coniferous phytocenoses and soil in the conditions of the Negorelsky educational-experimental and Minsk forestry enterprises.....	42
FOREST REGENERATION AND FOREST GROWING.....	52
Kruk N. K., Yakimov N. I., Tupik P. V., Yurenaya A. V. Morphometric indicators of cones and quality of seeds on European larch plantations.....	52
Poplavskaya L. F., Rabko S. U., Tupik P. V. Results zoning of Scots pine of sort Negorelskaya in the Republic of Belarus.....	58
Selishcheva O. A., Verameychyk L. A., Nosnikov V. V. Optimization of the planting time of one-year old seedlings of small-leaved linden with an open root system.....	68
Yurenaya A. V., Yakimov N. I., Sokolovskiy I. V., Verameychyk L. A. Survival of wood and shrubs in sanitary protection area of the silter facility UE "Minskvodokanal".....	74
FOREST PROTECTION AND LANDSCAPING	79
Kaplich V. M., Vlasenko A. D. Ecological and faunistic assessment of insects-pests of urban green stands of the northern and northern-central regions of introduction of Belarus.....	79
TOURISM AND FOREST HUNTING	88
Bessarab D. A. On the development of camping and caravanning on the territory of the Republic of Belarus.....	88
Strakh Ya. L., Feskova A., Ignatovets O. S. Population differences in macro-, microelemental composition of plants and fatty acid composition of seed lipids of cloudberry (<i>Rubus chamaemorus</i> L.).....	94
Yushkevich N. T., Shumski Yu. I., Neverov A. V., Rubis A. V. Digital transformation as a mechanism for rational use of forest and hunting resources.....	101
TIMBER PROCESSING COMPLEX. TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL QUESTIONS....	107
Vavilov A. V., Dashko A. L., Zamula A. A. About the use of construction waste for coating on-farm roads.....	107
Vavilov A. V., Gretski A. A. To the methods of testing overhead cranes of the timber industry complex.....	113
Hermanovich A. O., Tereshko Ye. V. Methodology justification process parameters grinding stem wood in the drum chipper.....	118
Naskovets M. T., Khoroshun N. V. Prospects for the development of container transportation in the forest industry of the Republic of Belarus.....	126
Misuno Yu. I. Methodology for experimental studies to assess the operational and environmental compatibility of forest machines with soil.....	132

WOODWORKING INDUSTRY	141
Pásztory Z., Börcsök Z., Bazhelka I. K., Kanavalava A. A., Meleshko O. V. Thermal insulation panels from tree bark	141
Leonovich O. K., Dupanov S. A. Research of the chemical and structural properties of natural sea oak by scanning microscopy	150
Chuikov A. S., Ignatovich L. V. Features of designing three-dimensional models and structures of decorative furniture elements and their manufacturing	156
Rudak O. G., Korob A. Yu. Study of the character of moisture change in surface and inner layers of pine wood during heating in a unsaturated environment	162
Dubovskaya L. Yu., Ignatovich L. V., Dubodelova Ye. V. Optimization of production technology modes plate wood-mineral composite material for thermal insulation purpose	169
Utgof S. S., Kunevich V. O. The analysis of modern technologies of thermo-mechanical modification of wood.....	176

Редакторы: *Т. Е. Самсанович, Р. М. Рябая*
Компьютерная верстка: *Е. В. Ильченко, Д. С. Жих, А. А. Селиванова*
Корректоры: *Т. Е. Самсанович, Р. М. Рябая*

Подписано в печать 14.01.2021. Формат 60×84¹/₈.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 21,6. Уч.-изд. л. 23,2.
Тираж 100 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.